



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA
2024

Panduan Guru

TEKNIK ENERGI SURYA, HIDRO, DAN ANGIN

**Zainul M. Pulungan
Feviana Idarrani
Amin Wahyono**

SMK/MAK Kelas XI

Hak Cipta pada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia
Dilindungi Undang-Undang

Penafian: Buku ini disiapkan oleh Pemerintah dalam rangka pemenuhan kebutuhan buku pendidikan yang bermutu, murah, dan merata sesuai dengan amanat dalam UU No. 3 Tahun 2017. Buku ini disusun dan ditelaah oleh berbagai pihak di bawah koordinasi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. Buku ini merupakan dokumen hidup yang senantiasa diperbaiki, diperbarui, dan dimutakhirkan sesuai dengan dinamika kebutuhan dan perubahan zaman. Masukan dari berbagai kalangan yang dialamatkan kepada penulis atau melalui alamat surel buku@kemdikbud.go.id diharapkan dapat meningkatkan kualitas buku ini.

Panduan Guru Teknik Energi, Surya, Hidro dan Angin
untuk SMK/MAK Kelas XI

Penulis

Zainul M. Pulungan
Feviana Idarrani
Amin Wahyono

Penelaah

Tatyantoro Andrasto
Eka Cahya Prima

Penyelia/Penyelaras

Supriyatno
Wijanarko Adi Nugroho
Ria Triyanti
Wuri Prihantini

Kontributor

Ahmad
Chudhori
Didik Harjogi

Ilustrator

Rizki Arif Maulana

Editor

Christina Tulalessy
Ria Triyanti

Editor Visual

Maya Lestari

Desainer

Erwin

Penerbit

Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi

Dikeluarkan oleh

Pusat Perbukuan
Kompleks Kemdikbudristek Jalan RS. Fatmawati, Cipete, Jakarta Selatan
<https://buku.kemdikbud.go.id>

Cetakan Pertama, 2024

ISBN 978-634-00-0200-3 (no.jil.lengkap)
ISBN 978-634-00-0201-0 (jil.1 PDF)

Isi buku ini menggunakan huruf Noto Serif 10/18 pt., SIL Open Font License & Apache License.
xiv, 290 hlm.: 21 × 27 cm.

Kata Pengantar

Pusat Perbukuan, Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi memiliki tugas mengembangkan buku pendidikan di tingkat Pendidikan Anak Usia Dini, Pendidikan Dasar, dan Pendidikan Menengah. Penyusunan Buku Teks Utama ini mengacu pada Kurikulum Merdeka. Kurikulum tersebut memberikan keleluasaan kepada satuan pendidikan dalam melaksanakan pembelajaran sesuai dengan prinsip diversifikasi, memperhatikan kondisi masing-masing satuan pendidikan, potensi daerah, dan kebutuhan peserta didik.

Dalam mendukung implementasi Kurikulum Merdeka, pemerintah, melalui Pusat Perbukuan, mengembangkan buku siswa dan buku panduan guru sebagai sumber bahan pembelajaran. Buku-buku ini dapat dijadikan referensi atau inspirasi yang dapat dimodifikasi atau digunakan sebagai contoh, maupun rujukan dalam merancang dan mengembangkan pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik, potensi, dan kebutuhan peserta didik. Buku ini disusun untuk mendukung siswa SMK agar memiliki pengetahuan, keterampilan, dan karakter yang relevan dan siap menghadapi tantangan dunia kerja. Buku ini berisi muatan/materi yang sesuai dengan kurikulum dan kebutuhan industri, sehingga peserta didik tidak hanya mendapatkan pengetahuan teori, tetapi juga mampu mengaplikasikan keterampilan secara langsung dalam kehidupan.

Sebagai dokumen yang terus berkembang, buku ini dapat diperbaiki dan disesuaikan dengan perkembangan keilmuan dan teknologi. Oleh karena itu, saran dan masukan dari guru, peserta didik, orang tua, dan masyarakat sangat diharapkan untuk pengembangan buku ini di masa mendatang. Buku ini diharapkan dapat memberikan inspirasi dan motivasi bagi seluruh pembaca untuk bersama-sama membangun pendidikan kejuruan yang berkualitas dan relevan dengan kebutuhan zaman. Pusat Perbukuan mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan buku ini, dan semoga buku ini bermanfaat, khususnya bagi peserta didik dan guru, dalam meningkatkan mutu pembelajaran.

Jakarta, Agustus 2024

Kepala Pusat,

Supriyatno

NIP 196804051988121001

Prakata

Buku ini disusun sebagai panduan bagi pendidik dalam menyampaikan materi pembelajaran terkait energi terbarukan, khususnya energi surya, hidro, dan angin, kepada siswa Sekolah Menengah Kejuruan (SMK).

Dalam Buku Panduan Guru ini, kami menyajikan materi yang komprehensif, mulai dari konsep dasar energi terbarukan hingga aplikasi praktis dari teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Selain itu, teknik perancangan dan instalasi dari setiap sistem pembangkit dijelaskan secara sistematis untuk memudahkan pendidik dalam mengarahkan peserta didik dalam mengembangkan keterampilan yang relevan dengan kebutuhan dunia industri dan kerja di sektor energi terbarukan.

Buku ini diharapkan dapat menjadi referensi yang efektif dalam proses pembelajaran mata pelajaran Teknik Energi Surya, Hidro, dan Angin di kelas XI. Dengan adanya buku ini, kami berharap pendidik dapat lebih mudah menyampaikan materi pembelajaran, dan peserta didik dapat menguasai kompetensi yang diperlukan untuk menghadapi tantangan di masa depan, khususnya dalam bidang energi terbarukan yang makin berkembang.

Kami menyadari bahwa buku ini masih memerlukan penyempurnaan di beberapa bagian. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi perbaikan di masa mendatang.

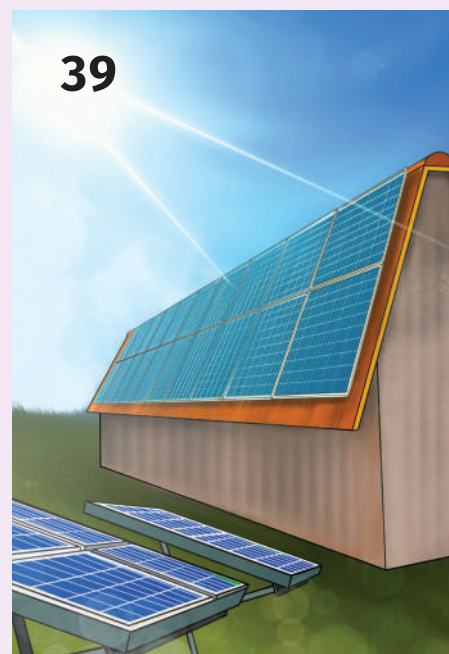
Semoga Buku Panduan Guru ini menjadi langkah awal yang baik dalam mendukung pembelajaran Teknik Energi Surya, Hidro, dan Angin di kelas XI dan pengembangan energi terbarukan di Indonesia.

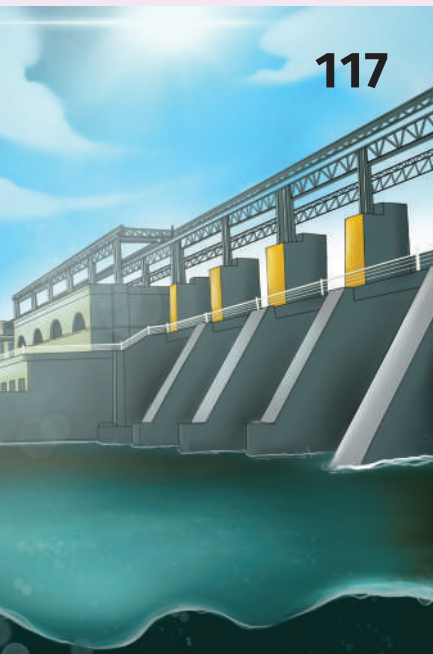
___, Agustus 2024

Penyusun

Daftar Isi

Kata Pengantar	iii
Prakata	iv
Daftar Isi	v
Daftar Tabel	viii
Petunjuk Penggunaan Buku	xii
Panduan Umum	1
A. Pendahuluan	2
B. Capaian Pembelajaran Fase F	9
C. Tujuan Pembelajaran	9
D. Alur Tujuan Pembelajaran	12
E. Strategi Pembelajaran	23
F. Asesmen	30
G. Penjelasan Komponen Buku Peserta Didik	37
Panduan Khusus	
Bab 1 Teknik Energi Surya	39
A. Pendahuluan	40
B. Apersepsi	50
C. Konsep dan Keterampilan Prasyarat	50
D. Penilaian Sebelum Pembelajaran	50
E. Panduan Pembelajaran	51
F. Tindak Lanjut	66
G. Asesmen	67
H. Kunci Jawaban	91
I. Refleksi	114
J. Sumber Belajar	116





Panduan Khusus

Bab 2 Teknik Energi Hidro 117

- A. Pendahuluan 118
- B. Apersepsi 125
- C. Konsep dan Keterampilan Prasyarat 125
- D. Penilaian Sebelum Pembelajaran 126
- E. Panduan Pembelajaran 126
- F. Tindak Lanjut 140
- G. Asesmen 141
- H. Kunci Jawaban 155
- I. Refleksi 167
- J. Sumber Belajar 168



Panduan Khusus

Bab 3 Teknik Energi Angin 169

- A. Pendahuluan 170
- B. Apersepsi 178
- C. Konsep dan Keterampilan Prasyarat 178
- D. Penilaian Awal Pembelajaran 178
- E. Panduan Pembelajaran 179
- F. Tindak Lanjut 189
- G. Asesmen 190
- H. Kunci Jawaban 198
- I. Refleksi 214
- J. Sumber Belajar 215

Panduan Khusus

Bab 4 Teknik Energi Hibrida 217

A. Pendahuluan 218

B. Apersepsi 227

C. Konsep dan Keterampilan Prasyarat 227

D. Penilaian Sebelum Pembelajaran 227

E. Panduan Pembelajaran 228

F. Tindak Lanjut 237

G. Asesmen 238

H. Kunci Jawaban 245

I. Refleksi 272

J. Sumber Belajar 273

Glosarium 275

Daftar Pustaka 277

Indeks 278

Pelaku Perbukuan 281



Daftar Tabel

Tabel 1	Distribusi Dimensi Profil Pelajar Pancasila dalam Proses Pembelajaran Teknik Energi Surya Hidro dan Angin	5
Tabel 2	Elemen dan Deskripsi Mata Pelajaran	8
Tabel 3	Capaian Pembelajaran Setiap Elemen	9
Tabel 4	Analisis Capaian Pembelajaran dan Perumusan Tujuan Pembelajaran	10
Tabel 5	Indikator Pencapaian Kompetensi Teknik Energi Surya	14
Tabel 6	Indikator Pencapaian Kompetensi Teknik Energi Hidro	16
Tabel 7	Indikator Pencapaian Kompetensi Teknik Energi Angin	19
Tabel 8	Indikator Pencapaian Kompetensi Teknik Energi Hibrida	21
Tabel 9	Rubrik Asesmen Awal	32
Tabel 10	Rubrik Asesmen Diskusi	34
Tabel 11	Rubrik Asesmen Presentasi	35
Tabel 12	Rubrik Asesmen Praktik	36
Tabel 13	Rubrik Asesmen Proyek	36
Tabel 14	Penjelasan Komponen Buku Siswa	37
Tabel 1.1	CP Elemen Teknik Energi Surya dan Tujuan Pembelajarannya di Kelas XI	41
Tabel 1.2	Indikator Tujuan Pembelajaran Teknik Energi Surya Kelas XI	41
Tabel 1.3	Rubrik Penilaian Aktivitas 1.1	68
Tabel 1.4	Rubrik Penilaian Aktivitas 1.2	68
Tabel 1.5	Rurbik Penilaian Aktivitas 1.3	69
Tabel 1.6	Rubrik Penilaian Aktivitas 1.4	70
Tabel 1.7	Rubrik Penilaian Aktivitas 1.5	71
Tabel 1.8	Rubrik Penilaian Aktivitas 1.6	72
Tabel 1.9	Rubrik Penilaian Aktivitas 1.7	73
Tabel 1.10	Rubrik Penilaian Aktivitas 1.8	74
Tabel 1.11	Rubrik Penilaian Aktivitas 1.9	76
Tabel 1.12	Rubrik Penilaian Aktivitas 1.10	77
Tabel 1.13	Rubrik Penilaian Aktivitas 1.11	78
Tabel 1.14	Rubrik Penilaian Aktivitas 1.12	80
Tabel 1.15	Rubrik Penilaian Aktivitas 1.13	81

Tabel 1.16	Rubrik Penilaian Aktivitas 1.14	81
Tabel 1.17	Rubrik Penilaian Aktivitas 1.15	82
Tabel 1.18	Rubrik Penilaian Aktivitas 1.16	83
Tabel 1.19	Rubrik Penilaian Aktivitas 1.17	84
Tabel 1.20	Rubrik Penilaian Aktivitas 1.18	85
Tabel 1.21	Rubrik Penilaian: Prinsip Kerja Sel Surya	86
Tabel 1.22	Rubrik Penilaian: Inverter	87
Tabel 1.23	Rubrik Penilaian: Konsep Perencanaan Lokasi Pemasangan PLTS	88
Tabel 1.24	Rubrik Penilaian: Pemasangan PJUTS	89
Tabel 1.25	Rubrik Penilaian: Instalasi Kelistrikan PLTS Hibrida	90
Tabel 2.1	CP Elemen Teknik Energi Hidro dan Tujuan Pembelajarannya di Kelas XI	118
Tabel 2.2	Indikator Tujuan Pembelajaran Teknik Energi Hidro Kelas XI	119
Tabel 2.3	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.1	141
Tabel 2.4	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.2	142
Tabel 2.5	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.3	142
Tabel 2.6	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.4	143
Tabel 2.7	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.5	144
Tabel 2.8	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.6	145
Tabel 2.9	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.7	146
Tabel 2.10	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.8	147
Tabel 2.11	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.9	147
Tabel 2.12	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.10	148
Tabel 2.13	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.11	148
Tabel 2.14	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.12	149
Tabel 2.15	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.13	149
Tabel 2.16	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.14	149
Tabel 2.17	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.15	150
Tabel 2.18	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.16	150
Tabel 2.19	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.17	150
Tabel 2.20	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.18	151
Tabel 2.21	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.19	151
Tabel 2.22	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.20	152

Tabel 2.23	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.21	152
Tabel 2.24	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.22	152
Tabel 2.25	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.23	153
Tabel 2.26	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.24	153
Tabel 2.27	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.25	153
Tabel 2.28	Rubrik Penilaian Aktivitas 2.26	154
Tabel 2.29	Rubrik Penilaian Pilihan Ganda dan Esai	154
Tabel 2.30	Rubrik Penilaian Menjodohkan	154
Tabel 2.31	Rubrik Penilaian Tugas Kelompok	155
Tabel 3.1	CP Elemen Teknik Energi Angin dan Tujuan Pembelajarannya di Kelas XI	171
Tabel 3.2	Indikator Tujuan Pembelajaran Teknik Energi Angin Kelas XI	171
Tabel 3.3	Rubrik Penilaian Aktivitas 3.1	190
Tabel 3.4	Rubrik Penilaian Aktivitas 3.2	191
Tabel 3.5	Rubrik Penilaian Aktivitas 3.3	192
Tabel 3.6	Rubrik Penilaian Aktivitas 3.4	193
Tabel 3.7	Rubrik Penilaian Aktivitas 3.5	193
Tabel 3.8	Rubrik Penilaian Aktivitas 3.6	194
Tabel 3.9	Rubrik Penilaian Aktivitas 3.7	195
Tabel 3.10	Rubrik Penilaian Aktivitas 3.8	196
Tabel 3.11	Rubrik Penilaian Aktivitas 3.9	197
Tabel 3.12	Rubrik Penilaian Aktivitas 3.10	197
Tabel 3.13	Komponen, Perkiraan Harga, dan Tempat Pembelian Peralatan PLTB	201
Tabel 3.14	Estimasi Material dan Biaya	209
Tabel 4.1	CP Elemen Teknik Energi Hibrida dan Tujuan Pembelajarannya di Kelas XI	218
Tabel 4.2	Indikator Tujuan Pembelajaran Teknik Energi Hibrida Kelas XI	219
Tabel 4.3	Rubrik Penilaian Aktivitas 4.1	238
Tabel 4.4	Rubrik Penilaian Aktivitas 4.2	239
Tabel 4.5	Rubrik Penilaian Aktivitas 4.3	239
Tabel 4.6	Rubrik Penilaian Aktivitas 4.4	240
Tabel 4.7	Rubrik Penilaian Aktivitas 4.5	240
Tabel 4.8	Rubrik Penilaian Aktivitas 4.6	241
Tabel 4.9	Rubrik Penilaian Aktivitas 4.7	241

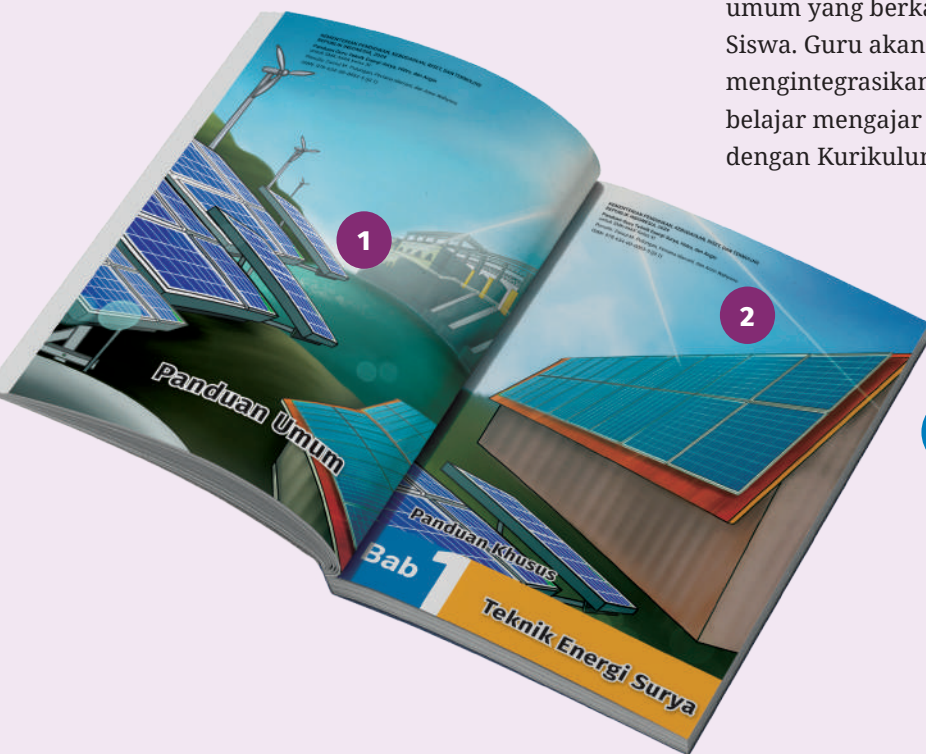
Tabel 4.10	Rubrik Penilaian Aktivitas 4.8	242
Tabel 4.11	Rubrik Penilaian Aktivitas 4.9	242
Tabel 4.12	Rubrik Penilaian Uji Kompetensi	243
Tabel 4.13	Tabel Pengamatan Sumber Energi Hibrida di Sekitar	246
Tabel 4.14	Kebutuhan Komponen untuk Sistem Energi Hhibrida PLTS-PLTD	246
Tabel 4.15	Peralatan Sinkronisasi: Phasa, Frekuensi, dan Tegangan serta Fungsinya	247
Tabel 4.16	Rencana Anggaran Biaya Barang untuk Fondasi Generator Set 2.250 × 960 × 1.450 mm	248
Tabel 4.17	Rencana Anggaran Biaya Tenaga Kerja untuk Fondasi Generator Set 2.250 × 960 × 1.450 mm	249
Tabel 4.18	Rencana Total Anggaran untuk Fondasi Generator Set 2.250 × 960 × 1.450 mm	249
Tabel 4.19	Konsumsi Bahan Bakar Generator Biodiesel	251
Tabel 4.20	Daftar Kebutuhan Peralatan	252
Tabel 4.21	Ringkasan Kapasitas yang Dibutuhkan	255
Tabel 4.22	Komponen yang Memiliki Sistem Mekanik	257
Tabel 4.23	Komponen yang Tidak Memiliki Sistem Mekanik	257
Tabel 4.24	Contoh Informasi Harga Sewa Alat Bantu Angkat Area Jawa Timur	257
Tabel 4.25	Peran Komponen dalam Instalasi Sistem Energi Hibrida	259
Tabel 4.26	Interaksi dalam Kondisi Operasi yang Berbeda	259
Tabel 4.27	Cara Kerja Inverter Terintegrasi dengan Komponen Lain	260
Tabel 4.28	Cara Inverter Menangani Kondisi Beban yang Berbeda dan Pergantian Sumber Daya	261
Tabel 4.29	<i>Backup</i> Genset	266
Tabel 4.30	Arsitektur Sistem SEMS	267
Tabel 4.31	Manfaat Integrasi SEMS	267
Tabel 4.32	Tantangan dan Cara Mengatasinya	268
Tabel 4.33	Contoh Implementasi <i>Smart Energy Management</i>	269
Tabel 4.34	Pelatihan Bertahap	270
Tabel 4.35	Keuntungan Partisipasi Masyarakat	271
Tabel 4.36	Tantangan dan Solusi	271

Petunjuk Penggunaan Buku

Buku Panduan Guru ini dikembangkan untuk memberikan panduan bagi guru dalam menggunakan Buku Siswa sesuai dengan Kurikulum Merdeka. Buku ini diharapkan dapat mempermudah pelaksanaan proses pembelajaran dengan memanfaatkan fitur-fitur yang ada dalam Buku Siswa secara optimal. Berikut ini adalah panduan dalam menggunakan buku ini secara efektif:

1. Panduan Umum

Panduan ini mencakup kegiatan pembelajaran secara umum yang berkaitan dengan materi pada Buku Siswa. Guru akan mendapatkan gambaran bagaimana mengintegrasikan materi yang ada ke dalam proses belajar mengajar dengan pendekatan yang sesuai dengan Kurikulum Merdeka.



2. Panduan Khusus

Setiap bab dalam Buku Panduan Guru dilengkapi dengan panduan pembelajaran yang terperinci. Ini mencakup langkah-langkah konkret dalam kegiatan belajar mengajar, mulai dari awal hingga akhir, sesuai dengan alur tujuan pembelajaran yang ingin dicapai pada setiap bab.

3. Pendahuluan

Bagian ini memberikan penjelasan singkat tentang setiap bab yang akan dipelajari oleh peserta didik. Termasuk di dalamnya ialah peta konsep yang memetakan materi-materi yang perlu dipelajari dan kaitannya satu sama lain sehingga guru dan siswa dapat melihat gambaran utuh dari materi yang disampaikan.



4. Apersepsi

Apersepsi adalah kegiatan yang bertujuan untuk menghubungkan pengetahuan atau pengalaman sebelumnya dengan materi yang akan dipelajari. Guru dapat menemukan penjelasan mengenai apersepsi yang ada pada Buku Siswa atau yang berkaitan dengan materi pembelajaran, untuk membantu peserta didik lebih siap menerima pelajaran baru.

B. Apersepsi

Pada Buku Siswa, terdapat Apersepsi. Sebelum pembelajaran dimulai, guru memberikan tautan video mengenai PLTS terbesar di Indonesia.

Setelah peserta didik menyimak video tersebut, guru memberikan pertanyaan-pertanyaan yang berkaitan dengan video tersebut, yakni seperti berikut.

- Bagaimana cara kerja PLTS?
- Bagaimana perkembangan PLTS di Indonesia?

Sebagai pengayaan bahan apersepsi, guru dapat menggunakan QR Code atau linknya berikut ini.



C. Konsep dan Keterampilan Prasyarat

Sebelum mempelajari materi bab ini, peserta didik harus telah memiliki kompetensi berikut.

1. Menerapkan Alat Pelindung Diri (APD) dalam Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3)
2. Menerapkan perkakas praktik terutama perkakas tangan dan bertengga
3. Membaca gambar teknik esensial sederhana
4. Menerapkan alat ukur dan ukur
5. Menerapkan perhitungan konversi energi surya
6. Menerapkan dasar energi terbarukan

Guru dapat memastikan peserta didik telah menguasai kompetensi-kompetensi di atas agar proses pembelajaran dapat berjalan dengan baik dan lancar.

D. Penilaian Sebelum Pembelajaran

Penilaian sebelum pembelajaran diberikan untuk mengetahui kemampuan awal peserta didik terhadap materi yang akan disampaikan. Bentuk penilaian sebelum pembelajaran

5. Konsep dan Keterampilan Prasyarat

Pada bagian ini, guru dapat mengidentifikasi konsep dan keterampilan yang sudah dipelajari peserta didik pada fase sebelumnya yang mendukung pemahaman materi baru. Ini berguna sebagai pengingat bagi peserta didik dan landasan untuk memperkuat materi yang akan dipelajari.

berupa soal yang dapat dilakukan secara lisan. Peserta didik diminta mengangkat tangan pada jawaban yang dipilih. Dari sini, guru dapat langsung melihat berapa banyak peserta didik yang mempunyai pemahaman dasar tentang materi yang akan diberikan.

Di Buku Siswa, penilaian sebelum pembelajaran diberikan setelah peserta didik mengamati video yang diberikan QR Code dan tautan di Buku Siswa. Guru dapat mengembangkan berbagai pertanyaan-pertanyaan berkaitan video tersebut. Guru juga dapat mengembangkan pertanyaan-pertanyaan di luar materi video, tetapi harus tetap berkaitan dengan materi yang akan dipelajari.

Berikut contoh pertanyaan yang dapat disampaikan guru untuk melakukan penilaian sebelum pembelajaran.

- Apa yang dimaksud dengan energi surya dan bagaimana cara kerjanya?
- Bagaimana proses konversi energi matahari menjadi listrik pada panel surya?
- Apa saja komponen utama dari sistem pembangkit listrik tenaga surya?
- Apa saja alat ukur yang biasa digunakan dalam instalasi sistem PLTS?

E. Panduan Pembelajaran

Kegiatan pembelajaran merupakan tahapan yang sangat penting. Oleh sebab itu, perlu direncanakan secara serius. Bab ini terdiri dari subbab. Proses pembelajaran pada setiap subbab akan dijelaskan seperti berikut. Kegiatan pembelajaran ini merupakan inspirasi bagi guru. Guru disarankan untuk mengembangkan proses pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik peserta didik, sarana dan prasarana serta lingkungan sekolahnya.

1. Konsep Dasar dan Komponen PLTS

Subbab ini merupakan implementasi dari Tujuan Pembelajaran 1, yaitu Menerapkan konsep dasar dan komponen PLTS. Tujuan Pembelajaran ini diturunkan menjadi 10 indikator. Di dalam Buku Siswa, subbab Konsep Dasar dan Komponen PLTS terdiri atas Konsep Dasar PLTS, Komponen PLTS, Sistem PLTS.

Tujuan	: Menerapkan konsep dasar dan komponen PLTS
Subpokok Materi	: Konsep Dasar dan Komponen PLTS
Alokasi Waktu	: 72 JP (disajikan dalam 12 minggu) Rancangan pembelajaran pada contoh ini disajikan dalam 12 kali pertemuan. Alokasi waktu dapat dikembangkan sesuai kebutuhan di sekolah.

6. Penilaian Sebelum Pembelajaran

Panduan ini menyajikan asesmen diagnostik untuk menilai pemahaman awal peserta didik terhadap materi yang akan dipelajari. Asesmen ini membantu guru mengetahui sejauh mana pengetahuan awal peserta didik sehingga pembelajaran dapat lebih efektif.

7. Panduan Pembelajaran

Bagian ini berisi panduan rinci bagi guru untuk memandu aktivitas belajar peserta didik, mulai dari kegiatan awal, inti, hingga penutup. Guru dapat menggunakan panduan ini untuk merancang pembelajaran yang interaktif dan berpusat pada peserta didik, sesuai dengan kebutuhan kelas.

8. Tindak Lanjut

Setelah proses pembelajaran utama, guru perlu melaksanakan proses pengayaan dan remedial bagi peserta didik. Buku panduan ini memberikan arahan bagaimana melakukan kegiatan tindak lanjut untuk memastikan pemahaman siswa terhadap materi.

9. Asesmen

Bagian asesmen ini menyajikan rubrik penilaian yang dapat digunakan guru untuk mengevaluasi setiap aktivitas peserta didik, baik dari aspek kognitif, afektif, maupun psikomotor. Rubrik ini dirancang untuk membantu guru menilai ketercapaian tujuan pembelajaran secara objektif.

10. Refleksi

Refleksi dibagi menjadi dua jenis:

- Refleksi bagi peserta didik: Guru dapat mengajukan pertanyaan reflektif kepada peserta didik untuk mengukur pemahaman dan pembelajaran yang mereka alami.
- Refleksi bagi guru: Guru juga didorong untuk melakukan refleksi terhadap proses pembelajaran yang telah dilakukan. Ini berguna sebagai alat untuk penilaian diri dalam upaya meningkatkan kualitas pengajaran ke depannya.



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2024

Panduan Guru Teknik Energi Surya, Hidro, dan Angin
untuk SMK/MAK Kelas XI

Penulis: Zainul M. Pulungan, Feviana Idarrani, dan Amin Wahyono

ISBN: 978-634-00-0201-0



Panduan Umum

A. Pendahuluan

Panduan Umum ini disusun sebagai panduan praktis bagi para pendidik dalam menjalankan tugas mengajar dengan lebih efektif dan efisien. Panduan ini dirancang untuk memberikan wawasan mendalam tentang perencanaan pembelajaran, pelaksanaan pembelajaran, dan evaluasi yang sesuai dengan kebutuhan dan perkembangan peserta didik. Melalui buku ini, diharapkan guru dapat mengoptimalkan potensi mereka dalam membentuk karakter dan kompetensi peserta didik, serta menginspirasi proses belajar yang kreatif dan menyenangkan. Panduan ini juga dilengkapi dengan berbagai contoh praktik terbaik yang dapat diterapkan dalam berbagai konteks pembelajaran.

1. Latar Belakang

Panduan Guru ini merupakan panduan operasional dari Buku Siswa yang digunakan untuk mengembangkan pembelajaran di dalam kelas. Panduan Guru terdiri atas panduan umum dan panduan khusus. Namun, secara keseluruhan, Panduan Guru ini menjabarkan capaian pembelajaran menjadi pembelajaran yang disarankan dalam bentuk model pembelajaran, strategi pembelajaran, metode pembelajaran, penilaian, pengayaan, dan sumber belajar yang relevan dengan materi yang ada pada Buku Siswa. Guru dapat menggunakannya saat mengembangkan pembelajaran sesuai dengan kebutuhan di sekolah. Oleh karena itu, kami merekomendasikan agar guru dapat mengembangkannya secara mandiri untuk desain pembelajaran di kelas dengan tidak lupa memperhatikan situasi, kondisi, dan kebutuhan belajar para peserta didik.

Panduan Umum terdiri atas pendahuluan, capaian pembelajaran, komponen-komponen Buku Siswa, dan strategi pembelajaran yang disarankan. Pendahuluan diberikan untuk memberi gambaran secara garis besar isi dari Panduan Guru. Selain itu, terdapat pula Profil Pelajar Pancasila, alokasi waktu, dan karakteristik dari mata pelajaran Teknik Energi Surya Hidro dan Angin. Bagian-bagian tersebut dapat memberi informasi secara garis besar yang diperlukan oleh guru dalam melaksanakan pembelajaran Teknik Energi Surya, Hidro, dan Angin.

Panduan Khusus memuat gambaran mengenai proses pembelajaran yang sesuai dengan materi yang ada pada setiap bab Buku Siswa. Rekomendasi pembelajaran menyajikan alternatif, pengayaan, kunci jawaban, hingga tindak lanjut yang dapat guru manfaatkan. Rekomendasi pembelajaran yang dicantumkan pada setiap minggu di Panduan Guru ini hanya sebagai inspirasi. Oleh karena itu, guru perlu mengembangkan proses pembelajaran sesuai dengan kebutuhan belajar dan kondisi lingkungan belajar, serta budaya di setiap sekolah.

2. Tujuan Panduan Guru

Panduan Guru ini berdasarkan pada Capaian Pembelajaran dalam Kurikulum Merdeka. Secara umum, Panduan Guru bertujuan membantu dan memberi inspirasi bagi pendidik, tenaga kependidikan, dan pemerhati pendidikan dalam implementasi Kurikulum Merdeka di satuan pendidikan. *Panduan Guru Mata Pelajaran Teknik Energi Surya, Hidro, dan Angin* Kelas XI ini memiliki tiga tujuan utama, yakni seperti berikut.

- a. Sebagai petunjuk penggunaan Buku Siswa *Teknik Energi Surya, Hidro, dan Angin* untuk SMK/MAK Kelas XI. Sebelum melakukan kegiatan pembelajaran dengan menggunakan Buku Siswa, guru dapat mempelajari terlebih dahulu panduan yang ada pada Panduan Guru ini. Panduan Guru ini memuat penjelasan-penjelasan pada setiap bagian dari Buku Siswa sehingga buku ini dapat memberikan arahan kepada guru agar kegiatan pembelajaran sesuai dengan tujuan yang diharapkan.
- b. Sebagai salah satu acuan kegiatan pembelajaran di kelas. Pada Panduan Guru, terdapat penjabaran mengenai tujuan pembelajaran yang akan dicapai setiap bab, langkah-langkah kegiatan pembelajaran yang akan ditempuh untuk setiap bab, alternatif jawaban dari berbagai pertanyaan pemantik yang diberikan ketika proses pembelajaran, ide-ide kegiatan pembelajaran bagi peserta didik dengan kemampuan yang berbeda di kelas, serta alternatif penyelesaian dari instrumen penilaian. Dengan demikian, buku ini diharapkan dapat mempermudah guru untuk menentukan strategi pembelajaran guna mencapai pengalaman belajar sesuai yang diinginkan.
- c. Sebagai gambaran mengenai pendekatan dan metode pembelajaran yang dapat diterapkan pada proses pembelajaran di kelas. Dalam Panduan Guru ini, juga diberikan alternatif pendekatan pembelajaran yang dapat diterapkan di kelas atau ruang praktik. Dengan pendekatan yang bervariasi, diharapkan peserta didik dapat lebih mudah memahami materi dan terlibat aktif dalam proses pembelajaran.

3. Profil Pelajar Pancasila

Profil Pelajar Pancasila ialah karakter dan kemampuan yang sehari-hari dibangun dan dihidupkan dalam diri setiap individu peserta didik. Karakter dan kemampuan ini merupakan perwujudan dari nilai-nilai Pancasila. Dengan adanya Profil Pelajar Pancasila, sistem pendidikan nasional menempatkan Pancasila tidak saja sebagai dasar, tetapi juga sebagai tujuan utama. Misalnya, dalam kerangka kurikulum, profil ini berada di paling atas, menjadi luaran (*learning outcomes*) yang dicapai melalui berbagai program dan kegiatan pembelajaran.

Berdasarkan berbagai kajian yang telah dilakukan, Profil Pelajar Pancasila dirumuskan dalam satu pernyataan yang menyeluruh, yaitu “Pelajar Indonesia merupakan pelajar

sepanjang hayat yang memiliki kompetensi global dan berperilaku sesuai nilai-nilai Pancasila.” Pernyataan ini memuat tiga frasa kunci, yaitu pelajar sepanjang hayat, kompeten, serta karakter dan perilaku nilai-nilai Pancasila. Hal ini menunjukkan adanya paduan antara penguatan identitas khas bangsa Indonesia, yaitu Pancasila sebagai rujukan karakter pelajar Indonesia dengan kompetensi yang sesuai dengan kebutuhan pengembangan sumber daya manusia Indonesia dalam konteks perkembangan abad ke-21.

Menurut Panduan Pengembangan Projek Penguatan Profil Pelajar Pancasila Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, Profil Pelajar Pancasila dapat digambarkan dalam enam ciri utama, yaitu seperti berikut.

- a. Beriman, bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa, dan berakhlak mulia
- b. Berkebinekaan global
- c. Bergotong royong
- d. Mandiri
- e. Bernalar kritis
- f. Kreatif

Keenam karakter tersebut saling berkaitan dan menguatkan sehingga usaha untuk mewujudkan Profil Pelajar Pancasila yang utuh membutuhkan penguatan keenam karakter tersebut. Profil Pelajar Pancasila harus dapat dipahami sebagai satu kesatuan yang saling melengkapi. Keterkaitan antara satu karakter dan karakter lainnya akan menciptakan kemampuan yang lebih spesifik dan nyata. Dengan demikian, peserta didik dapat memenuhi peranannya dengan sangat baik dalam masyarakat.

Adapun penjabaran nilai-nilai Profil Pelajar Pancasila yang dapat diterapkan guru pada mata pelajaran Teknik Energi Surya, Hidro, dan Angin sebagai berikut.

- a. Beriman, bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa, dan berakhlak mulia dapat diterapkan pada kegiatan saling menghargai dan menghormati pendapat teman atau antarkelompok dalam tugas berkelompok. Selain itu, juga bertanggung jawab atas hasil pekerjaannya.
- b. Berkebinekaan global dapat diterapkan dalam mengenali, mengidentifikasi, dan mendeskripsikan konsep K3 pada pekerjaan di bidang energi terbarukan.
- c. Bergotong royong dapat diterapkan melalui salah satu kegiatan, yaitu berbagi informasi tentang perancangan dan implementasi proyek energi terbarukan serta berpartisipasi dalam mendiskusikan suatu pekerjaan berkelompok.
- d. Mandiri dapat diterapkan melalui kegiatan tugas mandiri, seperti mengidentifikasi perkembangan teknologi dalam energi terbarukan dan bereksperimen dalam menguraikan solusi inovatif yang ramah lingkungan.
- e. Bernalar kritis dapat diterapkan melalui kegiatan mempelajari berbagai teknik dan keterampilan dalam bidang energi terbarukan, seperti menganalisis efisiensi panel surya atau potensi energi angin di suatu daerah.

- f. Kreatif dapat diterapkan melalui kegiatan yang menghasilkan suatu karya inovatif dalam bidang energi terbarukan, seperti merancang model pembangkit listrik tenaga surya atau hidro yang efisien dan berkelanjutan.

Tabel 1 Distribusi Dimensi Profil Pelajar Pancasila dalam Proses Pembelajaran Teknik Energi Surya Hidro dan Angin

Dimensi	Elemen	Sub-Elemen	Implementasi
Beriman, Bertakwa kepada Tuhan YME, dan Berakhlak Mulia	Akhlak kepada Alam	Menjaga Lingkungan Alam Sekitar	Aktivitas 1.1 Aktivitas 1.11
Berkebinekaan Global	Berkeadilan Sosial	Berpartisipasi dalam proses pengambilan keputusan bersama	Aktivitas 1.7 Aktivitas 1.8
Bergotong Royong	Kolaborasi	Kerja sama	Aktivitas 1.2 Aktivitas 1.4 Aktivitas 1.5 Aktivitas 1.7 Aktivitas 1.8 Aktivitas 1.9 Aktivitas 1.12 Aktivitas 1.13 Aktivitas 1.14 Aktivitas 1.15 Aktivitas 1.16 Aktivitas 1.17 Aktivitas 1.18 Aktivitas 2.2 Aktivitas 2.6 Aktivitas 2.8 Aktivitas 2.9 Aktivitas 2.10 Aktivitas 2.11 Aktivitas 2.12 Aktivitas 2.13 Aktivitas 2.14

Dimensi	Elemen	Sub-Elemen	Implementasi
			Aktivitas 2.15 Aktivitas 2.16 Aktivitas 2.17 Aktivitas 2.18 Aktivitas 2.19 Aktivitas 2.20 Aktivitas 2.21 Aktivitas 2.22 Aktivitas 2.23 Aktivitas 2.24 Aktivitas 2.25 Aktivitas 3.1 Aktivitas 3.2 Aktivitas 3.4 Aktivitas 3.7 Aktivitas 3.8 Aktivitas 3.9 Aktivitas 4.1 Aktivitas 4.2 Aktivitas 4.3 Aktivitas 4.4 Aktivitas 4.5 Aktivitas 4.6 Aktivitas 4.8 Aktivitas 4.9
Mandiri	Regulasi Diri	Menunjukkan inisiatif dan bekerja secara mandiri	Aktivitas 1.1 Aktivitas 1.3 Aktivitas 1.6 Aktivitas 1.10 Aktivitas 1.11 Aktivitas 2.1 Aktivitas 2.3 Aktivitas 2.4

Dimensi	Elemen	Sub-Elemen	Implementasi
			Aktivitas 2.5 Aktivitas 2.7 Aktivitas 3.1 Aktivitas 3.3 Aktivitas 4.7
Bernalar Kritis	Memperoleh dan memproses informasi dan gagasan	Mengajukan pertanyaan	Aktivitas 1.13 Aktivitas 1.14 Aktivitas 1.16 Aktivitas 1.17 Aktivitas 1.18 Aktivitas 3.2 Aktivitas 3.3 Aktivitas 3.5 Aktivitas 3.6 Aktivitas 3.10 Aktivitas 4.1 Aktivitas 4.2 Aktivitas 4.5 Aktivitas 4.6 Aktivitas 4.7
Kreatif	Menghasilkan karya dan tindakan yang orisinal		Aktivitas 1.2 Aktivitas 1.5 Aktivitas 1.12 Aktivitas 3.4 Aktivitas 3.5 Aktivitas 3.6 Aktivitas 3.7 Aktivitas 3.8 Aktivitas 4.3 Aktivitas 4.8 Aktivitas 4.9

4. Karakteristik Pembelajaran

Mata pelajaran Teknik Energi Surya, Hidro, dan Angin bertujuan membekali peserta didik agar memiliki kemampuan dalam bidang pengetahuan, keterampilan, dan sikap. Mata pelajaran ini memiliki karakteristik yang harus diperhatikan dalam pengorganisasian pembelajaran, yaitu selalu terkait dengan perkembangan teknologi.

Pada awal pembelajaran, peserta didik dikenalkan pada prosedur operasi yang berhubungan dengan semua kegiatan dalam bidang energi surya, hidro, angin, dan hibrida termasuk penerapan praktik kerja aman, yaitu Kesehatan dan Keselamatan Kerja serta Lindungan Lingkungan (K3LL) dan Keselamatan Ketenagalistrikan (K2). Pembelajaran dapat dilakukan secara sistem blok (*block system*) yang disesuaikan dengan karakteristik elemen yang dipelajari.

Berikut ini elemen dan deskripsi elemen mata pelajaran Teknik Energi Surya, Hidro, dan Angin.

Tabel 2 Elemen dan Deskripsi Mata Pelajaran

Elemen	Deskripsi
Teknik Energi Surya	Meliputi konsep dasar, pemasangan, pemeriksaan, pengujian, pengoperasian, pemeliharaan, perawatan, dan perbaikan terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Surya sesuai prinsip-prinsip K3LL, K2, dan standar bekerja di ketinggian.
Teknik Energi Hidro	Meliputi konsep dasar, pemasangan, pemeriksaan, pengujian, pengoperasian, pemeliharaan, perawatan, dan perbaikan terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro sesuai prinsip-prinsip K3LL dan K2.
Teknik Energi Angin	Meliputi konsep dasar, pemasangan, pemeriksaan, pengujian, pengoperasian, pemeliharaan, perawatan, dan perbaikan terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Bayu skala kecil sesuai prinsip-prinsip K3LL, K2, dan standar bekerja di ketinggian.
Teknik Energi Hibrida	Meliputi konsep dasar, pemasangan, pemeriksaan, pengujian, pengoperasian, pemeliharaan, perawatan, dan perbaikan terhadap sistem interkoneksi sesuai prinsip-prinsip K3LL dan K2.

Sumber: Keputusan Kepala BSKAP Kemendikbudristek No. 032/H/KR/2024

B. Capaian Pembelajaran Fase F

Pada akhir Fase F, peserta didik mampu memahami konsep dan mengimplementasikan secara menyeluruh tentang teknik energi surya, hidro, angin, dan hibrida pada dunia kerja sesuai prinsip-prinsip, standar prosedur, instruksi kerja, dan ketentuan keselamatan ketenagalistrikan.

Capaian Pembelajaran setiap elemen ialah sebagai berikut.

Tabel 3 Capaian Pembelajaran Setiap Elemen

Elemen	Capaian Pembelajaran
Teknik Energi Surya	Peserta didik mampu menerapkan pemasangan, pemeriksaan, pengujian, pengoperasian, pemeliharaan, perawatan, dan perbaikan terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Surya.
Teknik Energi Hidro	Peserta didik mampu menerapkan pemasangan, pemeriksaan, pengujian, pengoperasian, pemeliharaan, perawatan, dan perbaikan terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro.
Teknik Energi Angin	Peserta didik mampu menerapkan pemasangan, pemeriksaan, pengujian, pengoperasian, pemeliharaan, perawatan, dan perbaikan terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Bayu skala kecil.
Teknik Energi Hibrida	Peserta didik mampu menerapkan pemasangan, pemeriksaan, pengujian, pengoperasian, pemeliharaan, perawatan, dan perbaikan terhadap sistem interkoneksi.

Sumber: Keputusan Kepala BSKAP Kemendikbudristek No. 032/H/KR/2024

C. Tujuan Pembelajaran

Buku ini disusun berdasarkan Fase F. Capaian Pembelajaran Fase F diperuntukkan bagi kelas XI dan XII. Buku ini disusun untuk peserta didik kelas XI saja. Oleh karena itu, dalam menganalisis Fase F, langkah pertama yang dilakukan ialah menjabarkan Capaian Pembelajaran (CP) Fase F menjadi sejumlah tujuan pembelajaran yang lebih spesifik. Proses analisis CP ini melibatkan pakar kurikulum, pakar perbukuan, praktisi pendidikan (guru SMK/MAK), dan praktisi energi terbarukan. Berikut ini hasil analisis CP Fase F dan tujuan pembelajarannya untuk kelas XI dan XII.

Tabel 4 Analisis Capaian Pembelajaran dan Perumusan Tujuan Pembelajaran

Elemen	Capaian Pembelajaran Fase	Tujuan Pembelajaran
Teknik Energi Surya	1. Peserta didik mampu menerapkan pemasangan, pemeriksaan, pengujian, pengoperasian, pemeliharaan, perawatan, dan perbaikan terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Surya.	1.1 Menerapkan konsep dasar dan komponen PLTS. 1.2 Menerapkan konsep dasar perencanaan pemasangan PLTS. 1.3 Menerapkan konsep dasar perancangan pemasangan PLTS. 1.4 Menerapkan pemasangan dudukan dan modul surya PLTS tipe atas atap (<i>rooftop</i>). 1.5 Menerapkan pemasangan dudukan dan modul surya PLTS tipe atas tanah (<i>ground mounted</i>). 1.6 Menerapkan pemasangan penerangan jalan umum tenaga surya (PJUTS). 1.7 Menerapkan instalasi kelistrikan PLTS. 1.8 Menerapkan pengoperasian PLTS. 1.9 Menerapkan pemeliharaan PLTS.
Teknik Energi Hidro	2. Peserta didik mampu menerapkan pemasangan, pemeriksaan, pengujian, pengoperasian, pemeliharaan, perawatan, dan perbaikan terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro.	2.1 Memahami konsep dasar dan komponen PLTMH. 2.2 Menerapkan pengetahuan perancangan konstruksi sipil PLTMH. 2.3 Menerapkan pengetahuan perancangan sistem mekanik PLTMH. 2.4 Menerapkan pengetahuan perancangan sistem kelistrikan PLTMH. 2.5 Menerapkan pengetahuan pemasangan konstruksi sipil PLTMH. 2.6 Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem mekanik PLTMH.

Elemen	Capaian Pembelajaran Fase	Tujuan Pembelajaran
		2.7 Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem kelistrikan PLTMH. 2.8 Menerapkan pengoperasian PLTMH. 2.9 Menerapkan pemeliharaan PLTMH.
Teknik Energi Angin	3. Peserta didik mampu menerapkan pemasangan, pemeriksaan, pengujian, pengoperasian, pemeliharaan, perawatan, dan perbaikan terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Bayu skala kecil.	3.1 Menahami konsep dasar dan komponen PLTB skala kecil. 3.2 Menerapkan pengetahuan perancangan konstruksi sipil PLTB skala kecil. 3.3 Menerapkan pengetahuan perancangan sistem mekanik PLTB skala kecil. 3.4 Menerapkan pengetahuan perancangan sistem kelistrikan PLTB skala kecil. 3.5 Menerapkan pengetahuan pemasangan konstruksi sipil PLTB skala kecil. 3.6 Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem mekanik PLTB skala kecil. 3.7 Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem kelistrikan PLTB skala kecil. 3.8 Menerapkan pengoperasian PLTB skala kecil. 3.9 Menerapkan pemeliharaan PLTB skala kecil.

Elemen	Capaian Pembelajaran Fase	Tujuan Pembelajaran
Teknik Energi Hibrida	4. Peserta didik mampu menerapkan pemasangan, pemeriksaan, pengujian, pengoperasian, pemeliharaan, perawatan, dan perbaikan terhadap sistem interkoneksi.	4.1 Menahami konsep dasar dan komponen sistem energi hibrida. 4.2 Menerapkan pengetahuan perancangan konstruksi sipil energi hibrida. 4.3 Menerapkan pengetahuan perancangan sistem mekanik energi hibrida. 4.4 Menerapkan pengetahuan perancangan sistem kelistrikan energi hibrida. 4.5 Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem mekanik energi hibrida. 4.6 Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem kelistrikan energi hibrida. 4.7 Menerapkan pengoperasian energi hibrida. 4.8 Menerapkan pemeliharaan energi hibrida.

D. Alur Tujuan Pembelajaran

Setelah CP dari semua elemen diturunkan ke dalam tujuan pembelajaran (TP), diurutkanlah TP-TP tersebut menjadi satu alur tujuan pembelajaran. Alur tersebut dimulai di awal fase dan diakhiri di akhir fase.

	ATP TEKNIK ENERGI SURYA	ATP TEKNIK ENERGI HIDRO	ATP TEKNIK ENERGI ANGIN	ATP TEKNIK ENERGI HIBRIDA
KELAS XI - SEMESTER 1	<ul style="list-style-type: none"> 1.1 Menerapkan konsep dasar dan komponen PLTS. 1.2 Menerapkan konsep perencanaan pemasangan PLTS. 1.3 Menerapkan konsep perancangan pemasangan PLTS. 	<ul style="list-style-type: none"> 2.1. Menerapkan konsep dasar dan komponen PLTMH. 2.2 Menerapkan pengetahuan perancangan konstruksi sipil PLTMH. 2.3 Menerapkan pengetahuan perancangan sistem mekanik PLTMH. 2.4 Menerapkan pengetahuan perancangan sistem kelistrikan PLTMH 	<ul style="list-style-type: none"> 3.1 Menahami konsep dasar dan komponen PLTB skala kecil. 3.2 Menerapkan pengetahuan perancangan konstruksi sipil PLTB skala kecil. 3.3 Menerapkan pengetahuan perancangan sistem mekanik PLTB skala kecil. 3.4 Menerapkan pengetahuan perancangan sistem kelistrikan PLTB skala kecil. 	<ul style="list-style-type: none"> 4.1 Menahami konsep dasar dan komponen energi hibrida. 4.2 Menerapkan pengetahuan perancangan konstruksi sipil energi hibrida. 4.3 Menerapkan pengetahuan perancangan sistem mekanik energi hibrida. 4.4 Menerapkan pengetahuan perancangan sistem kelistrikan energi hibrida.
KELAS XI - SEMESTER 2	<ul style="list-style-type: none"> 1.4. Menerapkan pemasangan dudukan dan modul surya tipe di atas atap (<i>rooftop</i>). 1.5. Menerapkan pemasangan dudukan dan modul surya tipe di atas tanah (<i>ground mounted</i>). 1.6. Menerapkan pemasangan penerangan jalan umum tenaga surya (PJUTS). 1.7. Menerapkan pemasangan instalasi kelistrikan PLTS. 	<ul style="list-style-type: none"> 2.5 Menerapkan pengetahuan pemasangan konstruksi sipil PLTMH. 2.6 Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem mekanik PLTMH. 2.7 Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem kelistrikan PLTMH. 	<ul style="list-style-type: none"> 3.5 Menerapkan pengetahuan pemasangan konstruksi sipil PLTB skala kecil. 3.6 Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem mekanik PLTB skala kecil. 3.7 Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem kelistrikan PLTB skala kecil. 	<ul style="list-style-type: none"> 4.5 Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem mekanik energi hibrida. 4.6 Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem kelistrikan energi hibrida.
KELAS XII	<ul style="list-style-type: none"> 1.8. Menerapkan pengoperasian PLTS. 1.9. Menerapkan pemeliharaan PLTS. 	<ul style="list-style-type: none"> 2.8 Menerapkan pengoperasian PLTMH. 2.9. Menerapkan pemeliharaan PLTMH. 	<ul style="list-style-type: none"> 3.8 Menerapkan pengoperasian PLTB skala kecil. 3.9 Menerapkan pemeliharaan PLTB skala kecil. 	<ul style="list-style-type: none"> 4.7 Menerapkan pengoperasian energi hibrida. 4.8 Menerapkan pemeliharaan energi hibrida.

Gambar 1 ATP Teknik Energi Surya, Hidro dan Angin

Sumber: Feviana, Kemdikbudristek (2024)

Tujuan pembelajaran di atas kemudian diturunkan menjadi indikator pencapaian kompetensi

1. Teknik Energi Surya

Tabel 5 Indikator Pencapaian Kompetensi Teknik Energi Surya

Tujuan Pembelajaran	Indikator	Aktivitas
1.1 Menerapkan konsep dasar dan komponen PTLs.	Peserta didik mampu menjelaskan prinsip kerja sel surya secara mandiri dan beriman, bertakwa kepada Tuhan YME dan berakhlak mulia.	Aktivitas 1.1
	Peserta didik mampu menerapkan tipe konstruksi PLTS secara gotong royong dan kreatif.	Aktivitas 1.2
	Peserta didik mampu menerapkan modul surya pada PLTS secara mandiri.	Aktivitas 1.3
	Peserta didik mampu menerapkan <i>Solar Charge Controller</i> (SCC) pada sistem PLTS dengan cara bergotong royong.	Aktivitas 1.4
	Peserta didik mampu menerapkan konsep pemasangan dan konfigurasi inverter pada PLTS secara bergotong royong dan kreatif.	Aktivitas 1.5
	Peserta didik mampu menerapkan konfigurasi baterai pada PLTS secara mandiri.	Aktivitas 1.6
	Peserta didik mampu menerapkan konsep penggunaan <i>combiner box</i> pada sistem PLTS secara bergotong royong dan berkebinekaan global.	Aktivitas 1.7
	Peserta didik mampu merancang dan menerapkan panel distribusi DC untuk PLTS secara bergotong royong dan berkebinekaan global.	Aktivitas 1.8
	Peserta didik mampu merancang dan menerapkan panel distribusi AC untuk PLTS secara bergotong royong dan berkebinekaan global.	Aktivitas 1.9

Tujuan Pembelajaran	Indikator	Aktivitas
	Peserta didik mampu menerapkan sistem PLTS secara mandiri.	Aktivitas 1.10
1.2 Menerapkan konsep dasar perencanaan pemasangan PLTS.	Peserta didik mampu menerapkan konsep perencanaan pada pemilihan lokasi penempatan pemasangan PLTS dengan mandiri dan beriman, bertakwa kepada Tuhan YME, dan berakhlak mulia.	Aktivitas 1.11
	Peserta didik mampu menganalisis lokasi potensial dalam perencanaan pemasangan PLTS dengan mandiri dan beriman, bertakwa kepada Tuhan YME, dan berakhlak mulia.	
1.3 Menerapkan konsep dasar perancangan pemasangan PLTS.	Peserta didik mampu menerapkan konsep perancangan sistem PLTS <i>Off-Grid</i> secara bergotong royong dan kreatif.	Aktivitas 1.12
	Peserta didik dapat menerapkan pengukuran kebutuhan energi dalam perancangan PLTS <i>Off-Grid</i> secara bergotong royong dan kreatif.	
1.4 Menerapkan pemasangan dudukan dan modul surya PLTS tipe atas atap (<i>rooftop</i>).	Peserta didik mampu menerapkan pemasangan dudukan dan modul surya pada lokasi pemasangan PLTS di atas atap secara bergotong royong dan bernalar kritis.	Aktivitas 1.13
	Peserta didik mampu menentukan rancangan struktur dudukan modul surya PLTS di atas atap secara bergotong royong dan bernalar kritis.	
1.5 Menerapkan pemasangan dudukan dan modul surya PLTS Tipe atas tanah (<i>ground mounted</i>).	Peserta didik mampu menerapkan pemasangan dudukan dan modul surya pada perencanaan lokasi PLTS di atas tanah secara bergotong royong dan bernalar kritis.	Aktivitas 1.14
	Peserta didik mampu membuat struktur pemasangan dudukan dan modul surya PLTS di atas tanah secara bergotong royong dan bernalar kritis.	

Tujuan Pembelajaran	Indikator	Aktivitas
1.6 Menerapkan pemasangan penerangan jalan umum tenaga surya (PJUTS).	Peserta didik mampu bekerja sama untuk menentukan lokasi strategis pemasangan PJUTS di lingkungan sekolah atau area yang ditentukan.	Aktivitas 1.15
	Peserta didik mampu menentukan posisi setiap modul surya dan tiang lampu dengan mempertimbangkan efisiensi penerangan dan estetika lingkungan secara bergotong royong.	
1.7 Menerapkan instalasi kelistrikan PLTS.	Peserta didik mampu menerapkan pemasangan instalasi kelistrikan PLTS <i>Off-Grid</i> secara bergotong royong dan bernalar kritis.	Aktivitas 1.16
	Peserta didik mampu menerapkan pemasangan instalasi kelistrikan PLTS <i>On-Grid</i> secara bergotong royong dan bernalar kritis.	Aktivitas 1.17
	Peserta didik mampu menerapkan pemasangan instalasi kelistrikan PLTS Hibrida secara bergotong royong dan bernalar kritis.	Aktivitas 1.18

2. Teknik Energi Hidro

Tabel 6 Indikator Pencapaian Kompetensi Teknik Energi Hidro

Tujuan Pembelajaran	Indikator	Aktivitas
2.1 Memahami konsep dasar dan komponen PLTMH.	Peserta didik mampu menjelaskan kekurangan pembangkit tenaga listrik tenaga hidro dari aspek teknis, sosial, lingkungan, dan ekonomi secara mandiri.	Aktivitas 2.1
	Peserta didik mampu menjelaskan bangunan sipil pada PLTMH secara mandiri dan bergotong royong.	Aktivitas 2.2 Aktivitas 2.3
	Peserta didik mampu menjelaskan fungsi turbin pada PLTMH secara mandiri.	Aktivitas 2.4

Tujuan Pembelajaran	Indikator	Aktivitas
	Peserta didik mampu menjelaskan transmisi mekanik pada PLTMH secara mandiri.	Aktivitas 2.5
	Peserta didik mampu menerapkan spesifikasi generator pada PLTMH secara mandiri.	Aktivitas 2.6
	Peserta didik mampu menjelaskan tentang sistem kontrol, sistem monitoring, sistem proteksi, transmisi, dan distribusi tenaga listrik pada PLTMH secara gotong royong.	Aktivitas 2.7
	Peserta didik mampu menjelaskan sistem kerja PLTMH secara gotong royong.	Aktivitas 2.8
	Peserta didik mampu menerapkan keselamatan ketenagalistrikan (K2) serta kesehatan dan keselamatan kerja (K3) secara gotong royong.	Aktivitas 2.9
2.2 Menerapkan pengetahuan perancangan konstruksi sipil PLTMH.	Peserta didik mampu menganalisis potensi PLTMH secara gotong royong.	Aktivitas 2.10
	Peserta didik mampu menerapkan analisis debit PLTMH secara gotong royong.	Aktivitas 2.11
	Peserta didik mampu menerapkan analisis debit air dan <i>head</i> pada PLTMH secara gotong royong.	Aktivitas 2.12
	Peserta didik mampu menerapkan perancangan bangunan sipil PLTMH secara gotong royong.	Aktivitas 2.13
2.3 Menerapkan pengetahuan perancangan sistem mekanik PLTMH.	Peserta didik mampu menerapkan perancangan sistem mekanik PLTMH secara gotong royong.	Aktivitas 2.14
	Peserta didik mampu memilih turbin PLTMH yang tepat secara gotong royong.	

Tujuan Pembelajaran	Indikator	Aktivitas
2.4 Menerapkan pengetahuan perancangan sistem kelistrikan PLTMH.	Peserta didik mampu menerapkan perancangan sistem elektrik PLTMH secara gotong royong.	Aktivitas 2.15
	Peserta didik mampu memilih jenis generator PLTMH yang tepat secara gotong royong.	Aktivitas 2.16
2.5 Menerapkan pengetahuan pemasangan konstruksi sipil PLTMH.	Peserta didik mampu menerapkan alat pelindung diri saat bekerja di PLTMH secara gotong royong.	Aktivitas 2.17
	Peserta didik mampu menerapkan pelaksanaan pembangunan bendung PLTMH secara gotong royong.	Aktivitas 2.18
	Peserta didik mampu menerapkan pelaksanaan pembangunan bak penenang PLTMH secara gotong royong.	Aktivitas 2.19
	Peserta didik mampu menerapkan pelaksanaan pembangunan saluran pelimpah PLTMH secara gotong royong.	Aktivitas 2.20
	Peserta didik mampu menerapkan pelaksanaan pembangunan pipa pesat PLTMH secara gotong royong.	Aktivitas 2.21
	Peserta didik mampu menerapkan pelaksanaan pembangunan rumah pembangkit PLTMH secara gotong royong.	Aktivitas 2.22
	Peserta didik mampu menerapkan pelaksanaan pembangunan saluran pembuang PLTMH secara gotong royong.	Aktivitas 2.23

Tujuan Pembelajaran	Indikator	Aktivitas
2.7 Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem mekanik PLTMH	Peserta didik mampu menerapkan pelaksanaan pembangunan sistem mekanik PLTMH secara gotong royong.	Aktivitas 2.24
	Peserta didik mampu menganalisis standar pemasangan peralatan mekanik PLTMH secara gotong royong.	Aktivitas 2.25
	Peserta didik mampu memasang generator PLTMH secara gotong royong.	Aktivitas 2.26
	Peserta didik mampu menganalisis standar pemasangan generator PLTMH secara gotong royong.	

3. Teknik Energi Angin

Tabel 7 Indikator Pencapaian Kompetensi Teknik Energi Angin

Tujuan Pembelajaran	Indikator	Aktivitas
3.1 Menahami konsep dasar dan komponen PLTB Skala Kecil.	Peserta didik mampu mempresentasikan sistem kerja PLTB secara mandiri dan gotong royong.	Aktivitas 3.1
	Peserta didik mampu menginventarisir peralatan PLTB secara gotong royong dan bernalar kritis	Aktivitas 3.2
	Peserta didik mampu memahami kesehatan dan keselamatan kerja di ketinggian pada PLTB Skala Kecil secara mandiri dan bernalar kritis.	Aktivitas 3.3
3.2 Menerapkan pengetahuan perancangan konstruksi sipil PLTB Skala Kecil.	Peserta didik mampu merencanakan bangunan sipil PLTB secara bergotong royong.	Aktivitas 3.4
	Peserta didik mampu mendaftar kebutuhan Bangunan Sipil PLTB secara kreatif.	

Tujuan Pembelajaran	Indikator	Aktivitas
3.4 Menerapkan pengetahuan perancangan sistem mekanik PLTB Skala Kecil.	Peserta didik mampu merencanakan sistem mekanik PLTB dengan bernalar kritis dan kreatif.	Aktivitas 3.5
	Peserta didik mampu merancang komponen mekanik PLTB secara kreatif.	
3.4 Menerapkan pengetahuan perancangan sistem kelistrikan PLTB Skala Kecil.	Peserta didik mampu merencanakan sistem elektrik PLTB dengan bernalar kritis dan kreatif.	Aktivitas 3.6
	Peserta didik mampu menginventarisir peralatan Sistem Elektrik PLTB secara kreatif.	
3.5 Menerapkan pengetahuan pemasangan konstruksi sipil PLTB Skala Kecil.	Peserta didik mampu merencanakan bangunan sipil pada PLTB dengan kreatif dan gotong royong.	Aktivitas 3.7
	Peserta didik mampu mendaftar kebutuhan bangunan sipil PLTB secara kreatif.	
3.6 Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem mekanik PLTB Skala Kecil.	Peserta didik mampu memasang sistem mekanik PLTB secara gotong royong.	Aktivitas 3.8
	Peserta didik mampu melakukan pemeriksaan untuk memastikan kinerja sistem mekanik dapat bekerja dengan aman secara kreatif.	
3.7 Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem kelistrikan PLTB Skala Kecil.	Peserta didik mampu memasang sistem kelistrikan pada PLTB secara bergotong royong.	Aktivitas 3.9
	Peserta didik mampu melakukan pemeriksaan untuk memastikan kinerja sistem kelistrikan bekerja dengan aman dengan berpikir kritis.	

Tujuan Pembelajaran	Indikator	Aktivitas
	Peserta didik mampu memasang sistem proteksi PLTB dengan bernalar kritis.	Aktivitas 3.10
	Peserta didik mampu melakukan pemeriksaan untuk memastikan sistem proteksi bekerja dengan aman dengan berpikir kritis.	

4. Teknik Energi Hibrida

Tabel 8 Indikator Pencapaian Kompetensi Teknik Energi Hibrida

Tujuan Pembelajaran	Indikator	Aktivitas
4.1 Menahami konsep dasar dan komponen sistem energi hibrida.	Peserta didik mampu memetakan kelebihan dan kelemahan sumber energi terbarukan dengan bernalar kritis dan gotong royong.	Aktivitas 4.1
	Peserta didik mampu menginventarisir kebutuhan komponen hibrida secara bergotong royong.	
	Peserta didik mampu memahami komponen-komponen peralatan energi hibrida secara gotong royong dan bernalar kritis.	Aktivitas 4.2
4.2 Menerapkan pengetahuan perancangan konstruksi sipil energi hibrida.	Peserta didik mampu menyusun spesifikasi komponen konstruksi sipil hibrida secara bergotong royong.	Aktivitas 4.3
	Peserta didik mampu menggambar denah rencana penempatan komponen hibrida secara kreatif	

Tujuan Pembelajaran	Indikator	Aktivitas
4.3 Menerapkan pengetahuan perancangan sistem mekanik energi hibrida.	Peserta didik mampu membaca <i>name plate</i> spesifikasi peralatan hibrida secara mandiri.	Aktivitas 4.4
	Peserta didik mampu memetakan kebutuhan operasional peralatan hibrida secara bergotong royong.	
4.4 Menerapkan pengetahuan perancangan sistem kelistrikan energi hibrida.	Peserta didik mampu menerapkan pengetahuan perancangan sistem elektrik energi hibrida secara gotong royong dan bernalar kritis.	Aktivitas 4.5
	Peserta didik mampu menerapkan pengetahuan perancangan sistem elektrik energi hibrida secara gotong royong dan bernalar kritis.	Aktivitas 4.6
	Peserta didik mampu menerapkan pengetahuan perancangan sistem elektrik energi hibrida secara mandiri dan bernalar kritis.	Aktivitas 4.7
4.5 Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem mekanik energi hibrida.	Peserta didik mampu membuat daftar peralatan yang membutuhkan sistem mekanik secara kreatif.	Aktivitas 4.8
	Peserta didik mampu melakukan pemasangan sistem mekanik energi hibrida dengan bergotong royong.	
4.6 Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem kelistrikan energi hibrida.	Peserta didik mampu menginventarisir kebutuhan peralatan elektrik energi hibrida secara kreatif.	Aktivitas 4.9
	Peserta didik mampu memasang sistem elektrik energi hibrida secara bergotong royong.	

E. Strategi Pembelajaran

Strategi di sini ialah strategi yang dapat digunakan guru dalam mencapai Capaian Pembelajaran mata pelajaran Teknik Energi Surya, Hidro, dan Angin. Strategi ialah cara guru merancang dan melaksanakan kegiatan belajar-mengajar untuk memaksimalkan pengalaman belajar peserta didik. Guru dapat menggunakan berbagai strategi pembelajaran untuk memodifikasi pendekatan pengajaran guna memenuhi kebutuhan peserta didiknya dan meningkatkan proses pembelajaran secara keseluruhan.

Strategi pembelajaran pada mata pelajaran Teknik Energi Surya, Hidro, dan Angin dapat menggabungkan penggunaan teknologi dengan eksperimen langsung, seperti simulasi perangkat lunak untuk memodelkan pembangkit energi atau alat peraga miniatur sistem energi terbarukan. Ruang kelas dapat diatur dalam kelompok kerja berbasis proyek, di mana peserta didik merancang dan menguji model panel surya, turbin angin, atau mikrohidro dalam skala kecil. Penggunaan platform pembelajaran *online* dan visualisasi data *real-time* juga memungkinkan peserta didik untuk menganalisis *output* energi dari berbagai teknologi. Selain itu, kegiatan di luar kelas seperti kunjungan lapangan ke lokasi pembangkit energi terbarukan atau penggunaan *drone* untuk survei lokasi energi dapat meningkatkan keterlibatan peserta didik dalam memahami penerapan teknologi ini di dunia nyata.

Strategi pembelajaran juga memengaruhi cara peserta didik berinteraksi dengan materi pelajaran dan satu sama lain. Menciptakan kegiatan yang mendorong partisipasi aktif dan kolaborasi antarpeserta didik dapat menjadikan pembelajaran lebih dinamis. Diskusi kelompok atau proyek untuk meningkatkan keterampilan komunikasi dan kolaborasi peserta didik ialah cara yang baik untuk melakukan hal ini. Strategi ini sangat bagus, tetapi perlu didasarkan pada latar belakang peserta didik, tujuan pembelajaran, dan konteks pendidikan agar relevan dan efektif.

Penerapan metode pembelajaran yang tepat memerlukan evaluasi dan adaptasi yang berkelanjutan. Metode memungkinkan pendidik mengidentifikasi bidang mana yang efektif dan mana yang tidak. Pendidik dapat melakukan penyesuaian yang diperlukan untuk memenuhi tuntutan peserta didik dan mendapatkan hasil belajar yang lebih baik dengan mengevaluasi strategi secara rutin. Penilaian melibatkan pengumpulan data dari peserta didik, mengamati partisipasi dan pencapaian mereka, dan merefleksikan perjalanan belajar mereka.

1. Model Pembelajaran

Model pembelajaran adalah suatu kerangka konseptual yang digunakan sebagai panduan dalam merancang, melaksanakan, dan mengevaluasi proses pembelajaran. Model men-

cakup pendekatan, strategi, metode, dan teknik yang digunakan untuk mencapai tujuan pembelajaran tertentu. Dengan menggunakan model pembelajaran, guru dapat menciptakan lingkungan belajar yang efektif, mendukung keterlibatan aktif peserta didik, dan memastikan bahwa materi pelajaran disampaikan dengan cara yang sistematis dan terstruktur. Model pembelajaran juga membantu dalam menyesuaikan metode pengajaran dengan kebutuhan dan karakteristik peserta didik sehingga proses belajar menjadi lebih relevan dan bermakna bagi mereka.

a. Problem Based Learning

Problem-Based Learning (PBL) ialah model pembelajaran yang melibatkan peserta didik dalam penyelesaian masalah yang kompleks dan sering kali nyata, di mana mereka bekerja secara kolaboratif untuk mencari solusi. Dalam PBL, peserta didik dihadapkan pada masalah yang tidak terstruktur dan harus mengidentifikasi apa yang mereka ketahui, melakukan penelitian, dan mengembangkan penyelesaian masalah secara mandiri dengan dukungan minimal dari guru. Model ini bertujuan untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis, penelitian, dan kerja sama, serta menghubungkan pengetahuan yang dipelajari dengan situasi dunia nyata (Barrows, 1996).

Berikut ini tahapan *Problem Based Learning*.

1) Orientasi terhadap Masalah

Guru memulai dengan memperkenalkan masalah yang relevan dan menantang untuk memicu minat dan keingintahuan peserta didik.

2) Organisasi untuk Belajar

Guru membantu peserta didik memahami tugas dan mengorganisir diri untuk menyelesaikan masalah. Ini termasuk pembentukan kelompok dan penugasan peran.

3) Penyelidikan Individu dan Kelompok

Peserta didik melakukan penyelidikan untuk mengumpulkan informasi yang diperlukan untuk menyelesaikan masalah. Ini termasuk penelitian literatur, eksperimen, wawancara, dan pengumpulan data.

4) Pengembangan dan Presentasi Hasil Kerja

Peserta didik menganalisis data yang telah dikumpulkan, mengembangkan solusi, dan menyusun laporan atau presentasi yang menyajikan hasil kerja mereka.

5) Analisis dan Evaluasi Proses Penyelesaian Masalah

Guru dan peserta didik bersama-sama merefleksikan dan mengevaluasi proses dan hasil pembelajaran. Diskusi ini membantu peserta didik memahami apa yang telah mereka pelajari dan bagaimana mereka dapat meningkatkan keterampilan penyelesaian masalah mereka.

b. *Project Based Learning*

Project-Based Learning (PjBL) ialah model pembelajaran yang melibatkan peserta didik dalam penyelesaian proyek yang kompleks dan menyeluruh, biasanya dengan hasil akhir yang konkret. Dalam model ini, peserta didik bekerja dalam kelompok untuk merancang, mengembangkan, dan menyelesaikan proyek yang relevan dengan topik atau masalah dunia nyata. Pendekatan ini memfasilitasi penerapan pengetahuan dan keterampilan dalam konteks praktis, serta mendorong keterampilan seperti manajemen proyek, kerja sama, dan penyelesaian masalah kreatif. PjBL bertujuan untuk membuat pembelajaran lebih terintegrasi dan bermakna dengan fokus pada produk akhir dan proses yang dilakukan oleh peserta didik (Thomas, 2000).

Berikut tahapan *Project Based Learning*.

1) Penentuan Pertanyaan Mendasar

Guru menentukan pertanyaan mendasar (*essential question*) yang akan menjadi fokus proyek. Pertanyaan ini harus relevan, menantang, dan mampu mendorong peserta didik untuk melakukan penyelidikan mendalam.

2) Perencanaan Proyek

Guru dan peserta didik bersama-sama merencanakan proyek (*project planning*), termasuk menetapkan tujuan, menentukan langkah-langkah, dan mengidentifikasi sumber daya yang diperlukan.

3) Penjadwalan

Guru dan peserta didik membuat jadwal (*creating a schedule*) untuk proyek, menetapkan tenggat waktu untuk setiap tahap.

4) Monitoring Kemajuan Proyek

Guru memantau kemajuan proyek (*monitoring the project*) peserta didik secara teratur, memberikan umpan balik, dan membantu peserta didik mengatasi masalah yang muncul.

5) Penilaian Hasil

Guru dan peserta didik menilai hasil proyek (*assessment of the outcome*) berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan.

6) Evaluasi Pengalaman

Guru dan peserta didik bersama-sama mengevaluasi pengalaman proyek (*evaluating the experience*) untuk menentukan apa yang telah dipelajari dan bagaimana proses tersebut dapat ditingkatkan di masa depan.

c. *Guided Inquiry Learning*

Guided Inquiry Learning ialah model pembelajaran di mana peserta didik menjalani proses investigasi atau penyelidikan dengan bantuan dan arahan dari guru. Dalam model ini, guru memberikan struktur dan dukungan, seperti pertanyaan penelitian dan sumber daya, sambil membiarkan peserta didik mengeksplorasi dan menemukan jawaban mereka sendiri. Pendekatan ini bertujuan untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan kemampuan penelitian peserta didik, dengan memberikan bimbingan yang memadai untuk membantu mereka tetap fokus dan terarah dalam proses belajar (Wood, 2003).

Berikut tahapan *Guided Inquiry Learning*.

1) Orientasi

Guru memberikan pengenalan (*orientation*) tentang topik dan tujuan pembelajaran.

2) Merumuskan Masalah

Guru memberikan masalah atau pertanyaan (*problem formulation*) yang akan diselidiki oleh peserta didik.

3) Merumuskan Hipotesis

Peserta didik, dengan bimbingan guru, merumuskan hipotesis (*hypothesis formulation*) yang akan diuji.

4) Mengumpulkan Data

Peserta didik melakukan eksperimen atau pengumpulan data (*data collection*) dengan panduan dari guru.

5) Menganalisis Data

Peserta didik menganalisis data (*data analysis*) yang telah dikumpulkan untuk menguji hipotesis.

6) Menguji Hipotesis

Peserta didik, dengan bimbingan guru, menguji hipotesis (*hypothesis testing*) yang telah dirumuskan berdasarkan analisis data.

7) Merumuskan Kesimpulan

Peserta didik merumuskan kesimpulan (*conclusion formulation*) dari hasil penyelidikan.

8) Komunikasi Hasil

Peserta didik menyajikan hasil penyelidikan (*communication of results*) mereka melalui presentasi, laporan tertulis, atau media lainnya.

d. *Discovery Learning*

Discovery Learning adalah model pembelajaran di mana peserta didik terlibat secara aktif dalam menemukan dan mengeksplorasi pengetahuan melalui pengalaman langsung dan

eksperimen. Dalam model ini, peserta didik belajar dengan cara mengidentifikasi, menguji, dan menarik kesimpulan dari informasi yang mereka kumpulkan, sering kali tanpa instruksi langsung dari guru. Model ini memfasilitasi pembelajaran yang mendalam dan pemahaman yang lebih baik karena peserta didik terlibat dalam proses penemuan sendiri dan membangun konsep-konsep mereka secara bertahap (Brusilovsky & Millán, 2007).

Berikut tahapan *Discovery Learning*.

1) Stimulasi

Guru memberikan rangsangan (*stimulation*) atau permasalahan untuk menarik perhatian dan rasa ingin tahu peserta didik.

2) Pernyataan Masalah

Peserta didik merumuskan masalah (*problem statement*) yang akan diselesaikan.

3) Pengumpulan Data

Peserta didik mengumpulkan data dan informasi (*data collection*) yang relevan untuk menjawab pertanyaan atau menguji hipotesis.

4) Pengolahan Data

Peserta didik menganalisis data (*data processing*) yang telah dikumpulkan untuk menemukan pola, hubungan, atau solusi.

5) Verifikasi

Peserta didik memverifikasi (*verification*) hasil temuan dengan teori atau pengetahuan yang sudah ada.

6) Generalisasi

Peserta didik menarik kesimpulan atau generalisasi (*generalization*) dari hasil temuan dan proses pembelajaran.

2. Pendekatan Pembelajaran

Salah satu pendekatan yang sesuai digunakan dalam mata pelajaran Teknik Energi Surya, Hidro, dan Angin ialah pembelajaran yang berfokus pada keaktifan peserta didik. Dalam pendekatan ini, guru mengambil peran aktif sebagai fasilitator atau mediator proses belajar, yang bertugas mengarahkan, memotivasi, dan mengevaluasi pemahaman peserta didik. Guru dapat merancang pembelajaran dengan menggunakan pendekatan *student-centered learning*, di mana peserta didik ditempatkan sebagai pusat dari kegiatan pembelajaran.

Student-Centered Learning adalah pendekatan pembelajaran yang menempatkan peserta didik sebagai pusat dari seluruh proses belajar-mengajar. Dalam pendekatan ini, peserta didik diberdayakan untuk mengambil peran aktif dalam menentukan apa yang mereka pelajari

dan bagaimana mereka mempelajarinya. Guru berfungsi sebagai fasilitator yang mendukung dan membimbing peserta didik melalui proses pembelajaran, memberikan ruang bagi peserta didik untuk mengeksplorasi, bereksperimen, dan membangun pengetahuan mereka sendiri. Pendekatan ini bertujuan untuk meningkatkan keterlibatan dan motivasi peserta didik, serta mengembangkan keterampilan kritis dan kreatif yang diperlukan untuk sukses di masa depan (Judi & Sahari, 2013).

Dalam lingkungan yang berpusat pada peserta didik, guru berperan sebagai mediator yang membantu mengarahkan peserta didik dalam proses eksplorasi dan penemuan pengetahuan. Pendekatan ini memungkinkan peserta didik untuk berkolaborasi, berdiskusi, dan saling belajar satu sama lain, menciptakan pengalaman belajar yang lebih dinamis dan interaktif. Dengan memfokuskan pada kebutuhan dan minat individu peserta didik, pendekatan ini bertujuan untuk membangun rasa percaya diri dan kemandirian, serta mempersiapkan peserta didik untuk menghadapi tantangan di dunia nyata (Joyce & Calhoun, 2011).

Dengan pendekatan pembelajaran *student-centered learning*, diharapkan peserta didik dapat mengembangkan kreativitas, rasa percaya diri, kemandirian, kedisiplinan, dan kemampuan berpikir kritis. Selain itu, peserta didik juga dapat berkomunikasi dengan tim kerja dan memperluas wawasan global mereka, sehingga mampu beradaptasi dengan perubahan dan perkembangan zaman.

Menurut Siswono dan Karsen (2008), model pembelajaran yang berpusat pada peserta didik memiliki beberapa karakteristik sebagai berikut.

- a. Guru bertindak sebagai fasilitator yang membantu mengarahkan dan mendukung peserta didik dalam mengembangkan materi pembelajaran.
- b. Guru memiliki wawasan yang luas dan bersikap terbuka terhadap masukan dan kritik yang konstruktif dari peserta didik.
- c. Dalam menyampaikan materi, guru menggunakan metode yang sesuai dengan kebutuhan dan kondisi peserta didik, serta bervariasi dalam setiap sesi pembelajaran di kelas.
- d. Pada pembelajaran yang berpusat pada peserta didik, mereka menjadi tokoh utama yang memiliki wewenang untuk menentukan apa yang akan dipelajari dan bagaimana cara mempelajarinya.
- e. Peserta didik berperan aktif dalam proses pembelajaran, termasuk dalam merumuskan, mengembangkan, dan memproses materi.
- f. Peserta didik dapat berkolaborasi satu sama lain.
- g. Peserta didik tidak hanya terpaku pada materi yang ada, tetapi juga kreatif dalam mengembangkan materi secara berkelanjutan.

3. Metode Pembelajaran

Metode pembelajaran pada mata pelajaran Teknik Energi Surya, Hidro, dan Angin dirancang untuk memadukan pemahaman teoretis dan pengalaman praktis dengan tujuan memberikan pemahaman menyeluruh tentang teknologi energi terbarukan secara kolaboratif dan inovatif. Metode pembelajaran terdapat di langkah-langkah model pembelajaran.

Berikut metode pembelajaran yang dapat digunakan.

a. Ceramah Interaktif

Metode penyampaian materi teori yang melibatkan interaksi langsung dengan peserta didik melalui tanya jawab, diskusi, dan umpan balik untuk meningkatkan pemahaman. Metode ini memungkinkan guru menjelaskan konsep secara sistematis sambil mendorong partisipasi aktif peserta didik. Dengan keterlibatan peserta didik dalam proses pembelajaran, mereka dapat menghubungkan teori dengan pengalaman pribadi, mengembangkan pemikiran kritis, serta meningkatkan pemahaman konsep secara lebih mendalam.

b. Demonstrasi Langsung

Tindakan memperagakan cara kerja alat atau sistem energi terbarukan secara langsung, memungkinkan peserta didik untuk melihat aplikasi praktis dari konsep yang dipelajari. Metode ini membantu peserta didik memahami prinsip kerja suatu teknologi dengan lebih konkret, mengurangi kesalahpahaman konsep abstrak, serta meningkatkan keterampilan observasi dan analisis mereka terhadap suatu sistem atau proses.

c. Eksperimen Laboratorium atau Praktik di Bengkel

Aktivitas praktis di laboratorium atau bengkel yang memungkinkan peserta didik untuk melakukan uji coba, analisis, dan manipulasi peralatan teknologi energi terbarukan. Melalui eksperimen ini, peserta didik dapat mengembangkan keterampilan penyelesaian masalah, berpikir ilmiah, serta meningkatkan pemahaman mereka tentang bagaimana teknologi bekerja dalam kondisi nyata. Selain itu, mereka juga belajar menerapkan langkah-langkah keselamatan kerja dalam praktik langsung.

d. Studi Kasus

Analisis mendalam tentang penerapan teknologi energi terbarukan dalam situasi nyata, membantu peserta didik memahami tantangan dan solusi yang diterapkan di dunia industri. Dengan metode ini, peserta didik dapat mengembangkan keterampilan analitis, berpikir kritis,

serta mampu mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi keberhasilan implementasi teknologi energi terbarukan dalam berbagai skenario kehidupan nyata.

e. Kunjungan Lapangan

Aktivitas mengunjungi lokasi atau fasilitas yang menggunakan teknologi energi terbarukan, memberikan peserta didik wawasan langsung mengenai penerapan dan pengoperasian sistem dalam konteks industri. Dengan pengalaman ini, peserta didik dapat memahami bagaimana teknologi diterapkan secara praktis, mengenal tantangan yang dihadapi dalam implementasi di lapangan, serta memperoleh perspektif yang lebih luas mengenai peluang karier di sektor energi terbarukan.

f. Diskusi Kelompok

Kegiatan kolaboratif di mana peserta didik berbagi ide, membahas solusi untuk masalah, dan mengevaluasi berbagai perspektif, memperkaya proses pembelajaran melalui interaksi dan pertukaran gagasan. Melalui diskusi, peserta didik belajar berkomunikasi secara efektif, berpikir kritis, serta menghargai sudut pandang yang berbeda dalam mencari solusi terbaik untuk suatu permasalahan. Hal ini juga membantu mereka mengembangkan keterampilan kerja sama dan kepemimpinan dalam suatu tim.

F. Asesmen

Asesmen ditujukan untuk mengukur ketercapaian dari tujuan pembelajaran. Guru perlu merancang asesmen secara variatif dan sesuai dengan tingkat perkembangan peserta didik. Guru bebas memilih instrumen penilaian apa saja yang akan digunakan sebelum pembelajaran, pada saat pembelajaran, dan setelah pembelajaran, baik berupa soal teori maupun tugas praktik.

1. Macam-Macam Asesmen

Dalam proses pembelajaran, asesmen berperan penting untuk memantau dan mengevaluasi kemajuan peserta didik. Ada dua macam asesmen, yaitu formatif dan sumatif. Menurut waktu pelaksanaan, ada tiga jenis utama asesmen yang sering digunakan, yaitu asesmen sebelum pembelajaran (asesmen awal), asesmen pada saat pembelajaran, dan asesmen setelah pembelajaran. Asesmen setelah pembelajaran termasuk asesmen sumatif. Setiap asesmen memiliki tujuan dan fungsi spesifik dalam mendukung proses belajar-mengajar.

a. Asesmen Formatif

Asesmen sebelum pembelajaran dan saat pembelajaran termasuk asesmen formatif.

1) Asesmen Awal

Asesmen awal dilakukan sebelum proses pembelajaran dimulai. Tujuan utamanya ialah untuk mengidentifikasi pengetahuan, keterampilan, dan pemahaman awal peserta didik terkait topik yang akan dipelajari. Dengan menggunakan asesmen awal, pengajar dapat menilai apa yang sudah diketahui peserta didik dan menentukan area mana yang perlu diperkuat atau dikembangkan selama proses pembelajaran.

2) Asesmen pada Saat Pembelajaran

Asesmen ini dilakukan selama proses pembelajaran untuk memantau kemajuan peserta didik dan memberikan umpan balik yang konstruktif. Tujuannya ialah untuk memperbaiki dan meningkatkan pemahaman serta keterampilan peserta didik secara berkelanjutan. Asesmen pada saat pembelajaran membantu pendidik menilai apakah peserta didik memahami materi dengan baik dan menentukan intervensi yang diperlukan untuk mendukung pembelajaran mereka. Asesmen ini yang menjadi acuan apakah tujuan pembelajaran telah tercapai atau belum.

b. Asesmen Sumatif

Asesmen sumatif, yaitu asesmen yang dilakukan untuk memastikan ketercapaian tujuan pembelajaran. Asesmen ini dilakukan pada akhir lingkup materi atau dilakukan sekaligus untuk dua atau lebih tujuan pembelajaran, atau akhir semester sesuai dengan pertimbangan pendidik dan kebijakan satuan pendidikan. Penilaian pencapaian hasil belajar peserta didik dilakukan dengan membandingkan pencapaian hasil belajar peserta didik dengan kriteria ketercapaian tujuan pembelajaran. Asesmen sumatif menjadi bagian dari perhitungan penilaian di akhir semester, akhir tahun ajaran, dan/atau akhir jenjang.

2. Rubrik Asesmen

Rubrik asesmen berfungsi sebagai panduan bagi guru dalam menilai hasil kerja peserta didik. Jika guru menambahkan aktivitas baru dengan karakteristik yang berbeda, diperlukan rubrik asesmen baru yang dapat dirancang oleh guru. Berikut ini contoh rubrik asesmen yang dapat digunakan untuk menilai aktivitas peserta didik yang terdapat dalam Buku Siswa.

a. Rubrik Asesmen Awal

Tabel 9 Rubrik Asesmen Awal

BAB	Pertanyaan Awal	Peserta Didik Belum Tahu	Peserta Didik Sudah Tahu
BAB 1	Apa yang dimaksud dengan energi surya dan bagaimana cara kerjanya?	Peserta didik belum tahu konsep dasar energi surya dan proses konversinya.	Peserta didik sudah memahami definisi energi surya dan proses konversi energi matahari menjadi listrik.
	Bagaimana proses konversi energi matahari menjadi listrik pada panel surya?	Peserta didik belum tahu tentang efek fotovoltaiik dan cara kerja sel surya.	Peserta didik sudah mengerti prinsip efek fotovoltaiik dan komponen dalam sel surya.
	Apa saja komponen utama dari sistem pembangkit listrik tenaga surya?	Peserta didik belum mengenali komponen seperti panel surya, inverter, baterai, dan <i>charge controller</i> .	Peserta didik sudah dapat menyebutkan dan menjelaskan fungsi setiap komponen.
BAB 2	Apa yang dimaksud dengan energi hidro dan bagaimana cara kerjanya?	Peserta didik belum tahu prinsip dasar energi hidro dan proses konversinya	Peserta didik sudah memahami definisi energi hidro dan cara kerja energi hidro.
	Apa saja jenis-jenis pembangkit listrik tenaga air?	Peserta didik belum tahu tentang pembangkit listrik mikrohidro, mini hidro, dan besar.	Peserta didik sudah mengenali dan dapat membedakan jenis-jenis pembangkit listrik tenaga air.
	Bagaimana proses konversi energi kinetik air menjadi listrik?	Peserta didik belum memahami proses konversi energi dalam turbin air.	Peserta didik sudah mengerti mekanisme kerja turbin dan generator dalam pembangkit listrik tenaga air.

BAB	Pertanyaan Awal	Peserta Didik Belum Tahu	Peserta Didik Sudah Tahu
BAB 3	Bagaimana prinsip kerja pembangkit listrik tenaga angin?	Peserta didik belum tahu konsep dasar energi angin dan proses konversinya.	Peserta didik sudah memahami prinsip dasar kerja turbin angin dan konversi energi kinetik angin menjadi listrik.
	Apa saja komponen utama dari sistem pembangkit listrik tenaga angin?	Peserta didik belum mengenali komponen seperti turbin angin, generator, dan sistem kontrol.	Peserta didik sudah dapat menyebutkan dan menjelaskan fungsi setiap komponen dalam sistem energi angin.
	Apa perbedaan antara turbin angin horizontal dan vertikal?	Peserta didik belum tahu jenis-jenis turbin angin dan karakteristiknya.	Peserta didik sudah memahami perbedaan dan keunggulan setiap jenis turbin angin.
BAB 4	Apa yang dimaksud dengan sistem pembangkit listrik hibrida?	Peserta didik belum tahu konsep dasar sistem pembangkit listrik hibrida.	Peserta didik sudah memahami definisi dan prinsip kerja sistem hibrida yang menggabungkan beberapa sumber energi.
	Apa saja kelebihan dan kekurangan dari sistem hibrida?	Peserta didik belum tahu manfaat dan tantangan dari penggunaan sistem hibrida.	Peserta didik sudah dapat menyebutkan kelebihan seperti efisiensi tinggi dan tantangan seperti biaya instalasi yang tinggi.
	Bagaimana cara kerja sistem hibrida yang menggabungkan energi surya dan angin?	Peserta didik belum memahami cara kerja integrasi dua sumber energi dalam sistem hibrida.	Peserta didik sudah mengerti proses integrasi dan manfaat dari kombinasi energi surya dan angin dalam sistem hibrida.

b. Rubrik Asesmen Diskusi

Tabel 10 Rubrik Asesmen Diskusi

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Partisipasi Aktif	Peserta didik sangat aktif berpartisipasi dalam diskusi, memberikan kontribusi yang signifikan dan relevan.	Peserta didik berpartisipasi aktif dengan kontribusi yang baik, tetapi kurang mendalam.	Peserta didik cukup berpartisipasi, tetapi kontribusi kurang signifikan atau relevan.	Peserta didik jarang berpartisipasi dan kontribusinya kurang relevan atau tidak signifikan.
Pemahaman Materi	Pemahaman sangat baik terhadap materi, mampu menjelaskan dan menganalisis dengan jelas.	Pemahaman materi baik, meskipun ada beberapa kekurangan dalam penjelasan atau analisis.	Pemahaman cukup baik, tetapi kurang dalam atau ada beberapa kesalahan dalam penjelasan.	Pemahaman kurang, dengan penjelasan yang tidak jelas atau banyak kesalahan.
Kejelasan Komunikasi	Berkomunikasi dengan sangat jelas dan terstruktur, mudah dipahami oleh semua anggota diskusi.	Berkomunikasi dengan jelas, tetapi kadang-kadang kurang terstruktur atau ada sedikit kesalahan dalam penyampaian.	Berkomunikasi dengan cukup baik, tetapi sering kurang terstruktur atau tidak mudah dipahami.	Berkomunikasi dengan kurang jelas, banyak kesalahan dalam penyampaian, atau sulit dipahami.
Kemampuan Berpikir Kritis (Dimensi P3)	Berpikir kritis dengan sangat baik, memberikan analisis mendalam dan solusi yang tepat.	Berpikir kritis dengan baik, tetapi kurang mendalam atau kurang inovatif dalam solusinya.	Berpikir kritis, tetapi analisis kurang mendalam atau solusinya tidak sepenuhnya tepat.	Berpikir kritis dengan analisis yang dangkal atau solusi yang tidak relevan.

c. Rubrik Asesmen Presentasi

Tabel 11 Rubrik Asesmen Presentasi

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Konten	Informasi yang disajikan sangat mendalam, akurat, dan relevan dengan topik.	Informasi akurat dan relevan, tetapi kurang mendalam atau ada sedikit kekurangan.	Informasi cukup relevan, tetapi ada beberapa kesalahan atau kurang mendalam.	Informasi tidak akurat, tidak relevan, atau sangat dangkal.
Struktur Presentasi	Presentasi sangat terorganisir dengan alur yang jelas dan mudah diikuti.	Presentasi terorganisir dengan baik, tetapi ada beberapa transisi yang kurang mulus.	Presentasi cukup terorganisir, tetapi ada beberapa bagian yang membingungkan.	Struktur presentasi tidak terorganisir dengan baik dan sulit diikuti.
Komunikasi Verbal	Penyampaian sangat jelas, lancar, dan menarik perhatian audiens.	Penyampaian jelas dan lancar, tetapi kurang menarik perhatian audiens.	Penyampaian cukup jelas, tetapi ada kekurangan dalam kelancaran atau daya tarik.	Penyampaian tidak jelas, tidak lancar, dan tidak menarik perhatian audiens.
Gotong Royong (Dimensi PP)	Kerja sama tim sangat baik, semua anggota berkontribusi secara aktif dan merata.	Kerjasama tim baik, tetapi ada beberapa anggota yang lebih dominan atau pasif.	Kerja sama tim cukup baik, tetapi kontribusi tidak merata antar anggota.	Kerja sama tim kurang, dengan kontribusi yang sangat tidak seimbang.

d. Rubrik Asesmen Praktik

Tabel 12 Rubrik Asesmen Praktik

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Kepatuhan pada Prosedur	Mematuhi semua prosedur dengan sangat baik, tidak ada kesalahan atau pelanggaran.	Mematuhi sebagian besar prosedur dengan sedikit kesalahan atau pelanggaran.	Mematuhi prosedur dengan beberapa kesalahan atau pelanggaran.	Tidak mematuhi prosedur dengan baik, banyak kesalahan atau pelanggaran.
Kualitas Kerja	Hasil praktik sangat baik, akurat, dan sesuai dengan standar yang ditetapkan.	Hasil praktik baik, akurat, tetapi ada beberapa kekurangan minor.	Hasil praktik cukup baik, tetapi ada beberapa kekurangan signifikan.	Hasil praktik kurang baik, banyak kesalahan atau tidak sesuai standar.
Efisiensi dan Ketepatan	Menyelesaikan praktik dengan sangat efisien dan tepat waktu.	Menyelesaikan praktik dengan baik, sedikit melebihi waktu yang ditetapkan.	Menyelesaikan praktik, tetapi tidak sepenuhnya efisien atau tepat waktu.	Menyelesaikan praktik dengan tidak efisien dan melebihi waktu yang ditetapkan.
Tanggung Jawab (Dimensi P3)	Menunjukkan tanggung jawab yang sangat baik dalam semua aspek praktik, termasuk persiapan, pelaksanaan, dan pembersihan.	Menunjukkan tanggung jawab yang baik, tetapi ada beberapa kekurangan dalam salah satu aspek praktik.	Menunjukkan tanggung jawab yang cukup baik, tetapi sering kali kurang dalam salah satu aspek praktik.	Kurang menunjukkan tanggung jawab, banyak kekurangan dalam persiapan, pelaksanaan, atau pembersihan.

e. Rubrik Asesmen Proyek

Tabel 13 Rubrik Asesmen Proyek

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Kepatuhan pada Instruksi	Proyek sepenuhnya mematuhi semua instruksi dan kriteria yang diberikan.	Proyek mematuhi sebagian besar instruksi dengan beberapa penyimpangan minor.	Proyek mematuhi sebagian instruksi, tetapi ada kekurangan dalam beberapa aspek.	Proyek tidak mematuhi instruksi dengan baik, banyak kekurangan atau kesalahan.

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Kualitas Konten	Konten proyek sangat mendalam, komprehensif, dan relevan dengan topik.	Konten proyek baik, relevan dengan topik, tetapi kurang mendalam atau menyeluruh.	Konten proyek cukup relevan, tetapi ada kekurangan dalam kedalaman atau detail.	Konten proyek kurang relevan, tidak mendalam, atau banyak kekurangan.
Penyampaian Proyek	Penyampaian proyek sangat jelas, terstruktur, dan informatif.	Penyampaian proyek jelas dan terstruktur, tetapi ada beberapa kekurangan minor.	Penyampaian proyek cukup jelas, tetapi kurang terstruktur atau tidak sepenuhnya informatif.	Penyampaian proyek tidak jelas, kurang terstruktur, atau tidak informatif.
Kreativitas (Dimensi PP)	Proyek menunjukkan kreativitas yang sangat tinggi, dengan ide dan solusi inovatif.	Proyek menunjukkan kreativitas yang baik, tetapi ide atau solusi kurang inovatif.	Proyek menunjukkan kreativitas yang cukup, tetapi ide atau solusi tidak sepenuhnya inovatif.	Proyek kurang menunjukkan kreativitas, dengan ide atau solusi yang standar atau kurang inovatif.

G. Penjelasan Komponen Buku Peserta didik

Bagian-bagian Buku Siswa dijelaskan agar guru dapat memandu peserta didik secara optimal dalam proses pembelajaran. Penjabaran bagian-bagian yang disajikan pada Buku Peserta didik sebagai berikut.

Tabel 14 Penjelasan Komponen Buku Siswa

Komponen Buku Peserta Didik	Penjelasan
Halaman Awal Bab	Halaman ini memuat judul bab. Dalam Buku Siswa, terdapat empat judul bab.
Tujuan Pembelajaran	Setiap bab dalam Buku Siswa memuat tujuan yang harus dicapai oleh peserta didik setelah menyelesaikan semua aktivitas.
Kata Kunci	Kata kunci ada dalam setiap bab. Hal ini bertujuan agar peserta didik dapat dengan mudah mencari pokok pikiran dalam setiap bab yang akan dipelajari.

Komponen Buku Peserta Didik	Penjelasan
Peta Konsep	Peta konsep pada setiap bab memuat tema/materi yang akan disampaikan kepada peserta didik.
Apersepsi	Setiap bab dalam buku ini disertai apersepsi pada awal materi. Hal ini bertujuan agar peserta didik dapat dengan mudah memahami dan memasuki materi yang akan dipelajari.
Materi dan Aktivitas	Materi diberikan pada awal subbab. Pemberian materi tidak disampaikan secara detail mengingat Buku Siswa berbasis aktivitas. Peserta didik dapat mencari informasi terkait tema dari subbab yang sedang dipelajari dari berbagai sumber. Adapun aktivitas dirancang dalam rangka memenuhi tujuan pembelajaran. Dengan keberhasilan pada pelaksanaan aktivitas, peserta didik diharapkan dapat memperoleh makna pada setiap tema yang dipelajari.
Uji Kompetensi	Uji kompetensi (asesmen) yang diberikan pada akhir bab. Bentuk dari uji kompetensi pada setiap bab berbeda-beda agar pembelajaran lebih variatif.
Pengayaan	Peserta didik yang telah tuntas mencapai tujuan pembelajaran pada suatu bab, diarahkan untuk mempelajari pengetahuan tambahan yang terdapat pada bagian pengayaan.
Refleksi	Refleksi bertujuan menggali tanggapan dari peserta didik mengenai pembelajaran yang sudah dilalui.

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2024

Panduan Guru Teknik Energi Surya, Hidro, dan Angin
untuk SMK/MAK Kelas XI

Penulis: Zainul M. Pulungan, Feviana Idarrani, dan Amin Wahyono

ISBN: 978-634-00-0201-0



Panduan Khusus

Bab

**1
Teknik Energi Surya**

A. Pendahuluan

Bab Teknik Energi Surya merupakan bab yang proses pembelajarannya fokus mempelajari materi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Bab ini dipelajari selama satu tahun atau dua semester. Sebelum memfasilitasi kegiatan pembelajaran bab ini, guru dapat melaksanakan aktivitas penunjang pembelajaran. Untuk aktivitas ini guru perlu mengalokasikan waktu khusus, dalam satu pekan atau satu pertemuan. Adapun aktivitas penunjang pembelajarannya seperti berikut.

1. Kegiatan *Ice Breaking*

Kegiatan ini bertujuan untuk menciptakan suasana yang menyenangkan dan kondusif. Dengan kegiatan ini, peserta didik dan guru dapat mengurangi ketegangan, membangun keakraban, dan meningkatkan motivasi. Selain itu, *ice breaking* juga membantu meningkatkan konsentrasi, menciptakan dinamika kelompok yang positif, memperkenalkan topik yang akan dibahas, dan mengembangkan keterampilan sosial.

2. Kegiatan Perkenalan

Melakukan perkenalan kembali, setelah peserta didik berada di jenjang kelas yang baru, yaitu kelas XI. Tujuan dari kegiatan perkenalan ini ialah untuk menciptakan suasana yang akrab dan nyaman sehingga peserta didik merasa lebih terbuka dan termotivasi untuk berpartisipasi aktif dalam proses pembelajaran. Selain itu, perkenalan juga membantu guru memahami latar belakang, minat, dan kebutuhan peserta didik, yang berguna dalam merancang strategi pengajaran yang lebih efektif.

3. Kegiatan Asesmen Awal

Bertujuan untuk mengetahui tingkat kemampuan peserta didik terkait pembelajaran Teknik Energi Surya. Asesmen ini juga diperlukan untuk mengidentifikasi peserta-peserta didik yang memerlukan perhatian khusus, baik yang tertinggal maupun yang lebih maju dibandingkan dengan teman-temannya. Kemampuan guru untuk memancing dan mengarahkan diskusi bebas mengenai topik-topik terkait Teknik Energi Surya sangat diperlukan dalam tahap ini. Diskusi ini tidak hanya membantu dalam menilai kemampuan peserta didik, tetapi juga memberikan gambaran awal tentang minat dan pengetahuan mereka dalam bidang ini.

1. Tujuan Pembelajaran

Pada bab Teknik Energi Surya ini, guru perlu mencermati tujuan pembelajaran yang tertera di Buku Siswa, yaitu *peserta didik mampu memasang pembangkit listrik tenaga surya secara*

bergotong royong dan kreatif. Tujuan pembelajaran bab ini pada Buku Siswa dibuat sangat ringkas untuk memudahkan peserta didik memahaminya.

Adapun tujuan yang ringkas di Buku Siswa itu terdiri atas tujuh tujuan pembelajaran yang diturunkan dari Capaian Pembelajaran Elemen Teknik Energi Surya. Elemen Teknik Energi Surya diturunkan menjadi sepuluh tujuan pembelajaran (lihat halaman 10). Di kelas XI, hanya dipelajari tujuh tujuan pembelajaran.

Tabel 1.1 CP Elemen Teknik Energi Surya dan Tujuan Pembelajarannya di Kelas XI

Capaian Pembelajaran Fase	Tujuan Pembelajaran
1. Peserta didik mampu menerapkan pemasangan, pemeriksaan, pengujian, pengoperasian, pemeliharaan, perawatan, dan perbaikan terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Surya.	1.1 Menerapkan konsep dasar dan komponen PLTS. 1.2 Menerapkan konsep dasar perencanaan pemasangan PLTS. 1.3 Menerapkan konsep dasar perancangan pemasangan PLTS. 1.4 Menerapkan pemasangan dudukan dan modul surya PLTS tipe atas atap (<i>rooftop</i>). 1.5 Menerapkan pemasangan dudukan dan modul surya PLTS tipe atas tanah (<i>ground mounted</i>). 1.6 Menerapkan pemasangan penerangan jalan umum instalasi kelistrikan tenaga surya (PJUTS). 1.7 Menerapkan instalasi kelistrikan PLTS

Tujuan pembelajaran di atas kemudian diturunkan ke dalam indikator tujuan pembelajaran seperti berikut.

Tabel 1.2 Indikator Tujuan Pembelajaran Teknik Energi Surya Kelas XI

Tujuan Pembelajaran	Indikator
1.1 Menerapkan konsep dasar dan komponen PLTS.	1 Peserta didik mampu menjelaskan prinsip kerja sel surya secara mandiri dan beriman, bertakwa kepada Tuhan YME dan berakhlak mulia.
	2 Peserta didik mampu menerapkan tipe konstruksi PLTS secara gotong royong dan kreatif.
	3 Peserta didik mampu menerapkan modul surya pada PLTS secara mandiri.

Tujuan Pembelajaran	Indikator	
	4	Peserta didik mampu menerapkan <i>solar charge controller</i> (SCC) pada sistem PLTS dengan cara bekerja sama secara bergotong royong.
	5	Peserta didik mampu menerapkan konsep pemasangan dan konfigurasi inverter pada PLTS secara bergotong royong dan kreatif.
	6	Peserta didik mampu menerapkan konfigurasi baterai pada PLTS secara mandiri.
	7	Peserta didik mampu menerapkan konsep penggunaan <i>combiner box</i> pada sistem PLTS secara bergotong royong dan berkebinekaan global.
	8	Peserta didik mampu merancang dan menerapkan panel distribusi DC untuk PLTS secara bergotong royong dan berkebinekaan global.
	9	Peserta didik mampu merancang dan menerapkan panel distribusi AC untuk PLTS secara bergotong royong dan berkebinekaan global.
	10	Peserta didik mampu menerapkan sistem PLTS secara mandiri.
1.2 Menerapkan konsep dasar perencanaan pemasangan PLTS.	11	Peserta didik mampu menerapkan konsep perencanaan pada pemilihan lokasi penempatan pemasangan PLTS dengan mandiri dan beriman, bertakwa kepada Tuhan YME, dan berakhlak mulia.
	12	Peserta didik mampu menganalisis lokasi potensial dalam Perencanaan pemasangan PLTS dengan mandiri dan beriman, bertakwa kepada Tuhan YME, dan berakhlak mulia.

Tujuan Pembelajaran	Indikator	
1.3 Menerapkan konsep dasar perancangan pemasangan PLTS.	13	Peserta didik mampu menerapkan konsep perancangan sistem PLTS <i>Off-Grid</i> secara bergotong royong dan kreatif.
	14	Peserta didik dapat menerapkan pengukuran kebutuhan energi dalam perancangan PLTS <i>Off-Grid</i> secara bergotong royong dan kreatif.
1.4 Menerapkan pemasangan dudukan dan modul surya PLTS tipe atas atap (<i>rooftop</i>).	15	Peserta didik mampu menerapkan pemasangan dudukan dan modul surya pada lokasi pemasangan PLTS di atas atap secara bergotong royong dan bernalar kritis.
	16	Peserta didik mampu menentukan rancangan struktur dudukan modul surya PLTS di atas atap secara bergotong royong dan bernalar kritis.
1.5 Menerapkan pemasangan dudukan dan modul surya PLTS tipe atas tanah (<i>ground mounted</i>).	17	Peserta didik mampu menerapkan pemasangan dudukan dan modul surya pada perencanaan lokasi PLTS di atas tanah secara bergotong royong dan bernalar kritis.
	18	Peserta didik mampu membuat struktur pemasangan dudukan dan modul surya PLTS di atas tanah secara bergotong royong dan bernalar kritis.
1.6 Menerapkan pemasangan penerangan jalan umum tenaga surya (PJUTS).	19	Peserta didik mampu bekerja sama untuk menentukan lokasi strategis pemasangan PJUTS di lingkungan sekolah atau area yang ditentukan.
	20	Peserta didik mampu menentukan posisi setiap modul surya dan tiang lampu dengan mempertimbangkan efisiensi penerangan dan estetika lingkungan secara bergotong royong.

Tujuan Pembelajaran	Indikator	
1.7 Menerapkan instalasi kelistrikan PLTS.	21	Peserta didik mampu menerapkan pemasangan instalasi kelistrikan PLTS <i>Off-Grid</i> secara bergotong royong dan bernalar kritis.
	22	Peserta didik mampu menerapkan pemasangan instalasi kelistrikan PLTS <i>On-Grid</i> secara bergotong royong dan bernalar kritis.
	23	Peserta didik mampu menerapkan pemasangan instalasi kelistrikan PLTS Hibrida secara bergotong royong dan bernalar kritis.

2. Pokok Materi

Pokok materi yang disajikan mencakup berbagai aspek dari konsep dasar hingga penerapan praktis dalam sistem PLTS. Hubungan antarpokok materi ini dirancang untuk membentuk kemampuan teknis dan sikap kerja peserta didik, seperti mandiri, gotong royong, bernalar kritis, serta beriman, bertakwa kepada Tuhan YME, dan berakhlak mulia.

a. Konsep Dasar dan Komponen PLTS

Pokok materi ini mencakup pemahaman dasar tentang prinsip kerja sel surya dan komponen utama dari sistem PLTS, seperti modul surya, *solar charge controller* (SCC), inverter, baterai, *combiner box*, dan panel distribusi DC dan AC. Dengan tujuan pembelajaran, Peserta didik memahami prinsip dasar dan komponen-komponen utama sistem PLTS sehingga mereka dapat mengaplikasikannya pada skenario yang lebih kompleks di pokok materi berikutnya.

b. Konsep Dasar Perencanaan Pemasangan PLTS

Dalam pokok materi ini, peserta didik mempelajari perencanaan pemasangan PLTS, yang meliputi pemilihan lokasi, analisis bayangan, dan analisis beban. Pengetahuan ini penting untuk menentukan efisiensi sistem yang dipasang di lokasi yang tepat dengan mempertimbangkan faktor lingkungan.

Hubungan dengan pokok materi sebelumnya, pemahaman mengenai komponen PLTS digunakan untuk merencanakan sistem yang sesuai dengan kebutuhan energi di lokasi pemasangan.

c. Konsep Dasar Perancangan Pemasangan PLTS

Peserta didik belajar merancang sistem PLTS berdasarkan hasil perencanaan. Mereka mempelajari cara memilih komponen yang tepat, menentukan jumlah modul surya, baterai, inverter, dan SCC yang diperlukan untuk sistem *Off-Grid*, *On-Grid*, dan *Hybrid*.

Hubungan dengan pokok materi sebelumnya ialah setelah memahami komponen dan perencanaan, perancangan menjadi tahap lanjut dalam memastikan sistem PLTS dirancang dengan benar untuk beroperasi secara efisien sesuai kebutuhan energi yang telah dianalisis.

d. Pemasangan Dudukan dan Modul Surya PLTS Tipe Atas Atap (*Rooftop*)

Pada pokok materi ini, peserta didik belajar memasang dudukan dan modul surya pada atap. Mereka mempelajari teknik pemasangan yang tepat untuk memastikan stabilitas dan efisiensi produksi energi di atas atap.

Hubungan dengan pokok materi sebelumnya, pemahaman tentang modul surya dan perencanaan lokasi dipraktekkan dalam pemasangan pada sistem *rooftop*.

e. Pemasangan Dudukan dan Modul Surya PLTS Tipe Atas Tanah (*Ground Mounted*)

Peserta didik mempelajari pemasangan sistem *ground-mounted*, di mana modul surya dipasang di atas tanah. Ini memerlukan teknik pemasangan yang berbeda dari tipe *rooftop*, terutama dalam hal stabilitas dan optimasi posisi modul.

Hubungan dengan pokok materi sebelumnya, sama seperti pemasangan *rooftop*, pemahaman tentang modul surya dan perencanaan lokasi digunakan untuk memastikan sistem *ground-mounted* berfungsi optimal.

f. Pemasangan Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (*PJUTS*)

Pada pokok materi ini, peserta didik belajar memasang penerangan jalan umum tenaga surya, yang memerlukan penentuan lokasi dan teknik pemasangan modul surya, baterai, dan SCC yang tepat. Mereka juga belajar memastikan sistem penerangan ini dapat beroperasi secara otomatis dan stabil. Hubungan dengan pokok materi sebelumnya, konsep yang dipelajari dalam komponen PLTS, perencanaan pemasangan, dan perancangan sistem digunakan dalam instalasi PJUTS.

g. Instalasi Kelistrikan PLTS

Pokok materi ini mencakup instalasi sistem kelistrikan untuk sistem *Off-Grid*, *On-Grid*, dan *Hybrid*. Peserta didik belajar cara memasang komponen kelistrikan seperti inverter, SCC, baterai, dan modul surya, serta bagaimana menghubungkannya secara aman. Hubungan

dengan pokok materi sebelumnya, semua pemahaman tentang komponen PLTS, perencanaan, perancangan, dan pemasangan modul digunakan untuk memastikan sistem kelistrikan berfungsi dengan baik.

Hubungan antarpokok materi dalam mencapai tujuan pembelajaran

- a. Konsep dasar dan komponen PLTS menjadi fondasi utama dalam memahami bagaimana sistem PLTS bekerja. Ini merupakan dasar yang dibutuhkan untuk melangkah ke perencanaan dan pemasangan sistem PLTS yang lebih kompleks.
- b. Perencanaan pemasangan PLTS merupakan langkah penting setelah memahami komponen-komponen karena lokasi dan analisis kebutuhan energi akan menentukan keberhasilan instalasi.
- c. Perancangan PLTS memastikan komponen-komponen yang dipilih bekerja secara optimal sesuai dengan perencanaan yang dilakukan.
- d. Pemasangan *rooftop* dan *ground-mounted* memberikan keterampilan teknis yang relevan untuk memasang sistem PLTS pada berbagai kondisi dan situasi.
- e. Instalasi PJUTS dan sistem kelistrikan PLTS menutup rangkaian pembelajaran dengan aplikasi yang lebih spesifik dan praktikal, yang melibatkan keseluruhan sistem PLTS dan komponen-komponennya dalam konteks yang nyata.

Dengan saling keterkaitan antara pokok materi ini, peserta didik akan memiliki pemahaman komprehensif dari mulai konsep dasar hingga aplikasi praktis. Dengan demikian, peserta didik mampu mencapai tujuan pembelajaran.

3. Hubungan dengan Materi Lain

Pembelajaran bab Teknik Energi Surya memiliki keterkaitan erat dengan berbagai materi lain yang ada di mata pelajaran dan ilmu terkait di bidang teknik. Keterkaitan ini terjadi karena teknologi energi surya melibatkan berbagai disiplin ilmu dalam aplikasinya. Berikut ini hubungan pembelajaran teknik energi surya dengan mata pelajaran terkait.

a. Fisika

Pembelajaran teknik energi surya sangat erat kaitannya dengan fisika, khususnya dalam konsep energi, foton, dan efek fotovoltaiik. Pemahaman tentang Hukum Kekekalan Energi, termodinamika, dan prinsip kerja semikonduktor mendasari bagaimana panel surya mengonversi energi matahari menjadi listrik. Selain itu, topik fisika tentang cahaya dan radiasi elektromagnetik menjelaskan bagaimana sinar matahari berinteraksi dengan material dalam sel surya untuk menghasilkan arus listrik.

b. Dasar-Dasar Teknik Energi Terbarukan

Teknik energi surya merupakan bagian integral dari pembelajaran energi terbarukan, di mana peserta didik mempelajari berbagai sumber energi yang ramah lingkungan seperti angin, air, dan biomassa. Energi surya dianggap sebagai salah satu teknologi paling potensial dalam mendukung transisi energi global. Pembelajaran ini menekankan perbandingan efisiensi, biaya, dan dampak lingkungan dari energi surya dengan sumber energi terbarukan lainnya, serta penerapan teknologi surya dalam berbagai skala, mulai dari rumah tangga hingga industri.

c. Dasar-Dasar Teknik Ketenagalistrikan

Teknik energi surya berhubungan langsung dengan konsep dasar ketenagalistrikan, seperti distribusi tenaga listrik, sistem pengkabelan, dan proteksi listrik. Energi yang dihasilkan oleh panel surya harus dikonversi dan disalurkan melalui sistem listrik sehingga peserta didik perlu memahami cara kerja inverter, konverter, dan penyimpanan energi. Pemahaman tentang jaringan distribusi listrik, baik untuk sistem *Off-Grid* maupun *On-Grid*, sangat penting dalam mengintegrasikan sistem tenaga surya ke dalam jaringan listrik yang lebih luas.

d. Dasar-Dasar Teknik Elektronika

Teknik energi surya berkaitan erat dengan elektronik, khususnya dalam memahami komponen semikonduktor yang menjadi inti dari sel surya. Peserta didik mempelajari bagaimana material semikonduktor seperti silikon berperan dalam mengubah cahaya matahari menjadi listrik melalui efek fotovoltaik. Selain itu, rangkaian elektronik yang mengatur aliran arus dan tegangan dalam sistem surya, seperti dioda, transistor, dan penguat, juga merupakan bagian penting dalam implementasi teknologi energi surya.

e. Dasar-Dasar Teknik Pemesinan

Teknik energi surya membutuhkan pemahaman dalam teknik pemesinan, terutama dalam pembuatan dan pemasangan komponen fisik sistem energi surya, sepertiudukan panel dan struktur penopang. Keterampilan pemesinan, termasuk pengelasan, pemotongan, dan perakitan logam, sangat penting untuk memastikan instalasi panel surya dapat menahan beban dan kondisi lingkungan. Pengetahuan tentang bahan-bahan yang digunakan dan teknik manufaktur komponen juga relevan dalam proses instalasi dan pemeliharaan sistem surya.

f. Dasar-Dasar Desain Pemodelan dan Informasi Bangunan

Dalam konteks energi surya, desain bangunan ramah energi menjadi fokus utama, di mana peserta didik mempelajari cara mengintegrasikan panel surya ke dalam desain arsitektur

bangunan. Pemodelan bangunan dengan mempertimbangkan orientasi dan tata letak panel surya untuk memaksimalkan penangkapan sinar matahari sangat penting. Mata pelajaran ini juga mengajarkan penggunaan perangkat lunak untuk merancang sistem energi surya yang efisien, termasuk penempatan panel di atap dan fasad bangunan.

g. Dasar-Dasar Teknik Konstruksi dan Perumahan

Teknik energi surya juga terhubung dengan teknik konstruksi, terutama dalam hal instalasi dan integrasi sistem surya ke dalam bangunan. Pemahaman tentang teknik konstruksi bangunan diperlukan untuk memastikan bahwa panel surya dapat dipasang dengan aman dan efektif di berbagai jenis struktur, baik di atap rumah, gedung komersial, maupun fasilitas industri. Selain itu, perencanaan konstruksi yang mempertimbangkan penggunaan energi surya sebagai bagian dari desain keseluruhan bangunan menjadi bagian penting dalam menciptakan bangunan berkelanjutan.

h. Teknik Instalasi Tenaga Listrik

Pembelajaran teknik energi surya memerlukan pengetahuan mendalam tentang teknik instalasi tenaga listrik karena sistem surya harus dihubungkan dengan perangkat listrik lainnya melalui sistem pengkabelan yang tepat. Peserta didik perlu mempelajari teknik instalasi yang aman dan efisien untuk mengalirkan listrik dari panel surya ke inverter dan akhirnya ke jaringan listrik atau sistem penyimpanan energi. Pemahaman tentang standar instalasi listrik dan proteksi sistem listrik juga sangat penting dalam memastikan keandalan dan keamanan instalasi surya.

i. Teknik Pembangkit Tenaga Listrik

Teknik energi surya ialah salah satu metode pembangkitan listrik yang dibahas dalam mata pelajaran teknik pembangkit tenaga listrik. Peserta didik belajar bagaimana sistem pembangkit listrik tenaga surya bekerja dan diintegrasikan dengan pembangkit listrik lain, seperti pembangkit listrik berbasis bahan bakar fosil atau pembangkit tenaga angin. Selain itu, topik tentang efisiensi energi, pengelolaan beban, dan teknologi penyimpanan energi terkait erat dengan operasi dan pemeliharaan sistem pembangkit listrik tenaga surya.

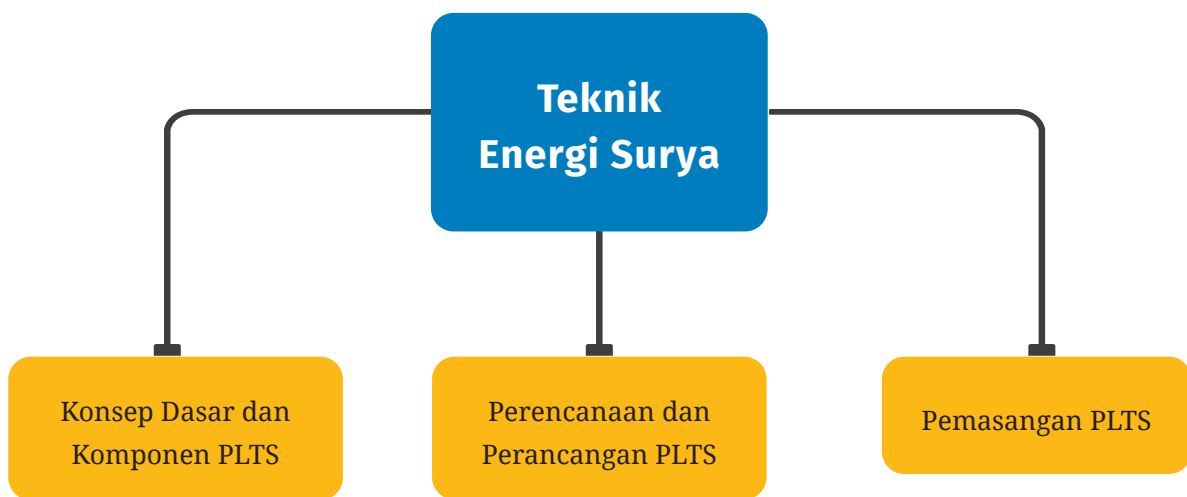
j. Teknik Jaringan Tenaga Listrik

Sistem energi surya memerlukan integrasi yang tepat dengan jaringan listrik yang ada sehingga pengetahuan tentang teknik jaringan tenaga listrik sangat penting. Peserta didik mempelajari bagaimana sistem surya dihubungkan ke jaringan listrik umum (*grid-tied*) dan bagaimana pengelolaan aliran listrik antara produksi energi surya dan konsumsi diatur. Topik

seperti *smart grid* dan distribusi listrik cerdas juga sangat relevan karena memungkinkan integrasi dinamis dari berbagai sumber energi terbarukan, termasuk tenaga surya, ke dalam jaringan listrik yang lebih besar.

4. Peta Materi

Peta materi dalam bagian ini merupakan bagan yang menunjukkan materi yang perlu dikuasai untuk mencapai Tujuan Pembelajaran. Materi tersebut menyangkut konsep dasar dan komponen PLTS, perencanaan dan perancangan PLTS, serta Pemasangan PLTS. Keseluruhannya merupakan bagian dari pembelajaran teknik energi surya.



5. Saran Alokasi Waktu

Rekomendasi alokasi waktu yang diperlukan untuk pembelajaran bab ini ialah satu tahun. Hal itu termasuk untuk pekan *ice breaking*, pengenalan, dan asesmen awal. Adapun untuk pembelajaran materi bab ini yang terdiri atas tiga subbab dapat dialokasikan waktu tiga puluh dua pekan. Selanjutnya, dua pekan terakhir dapat dikhususkan untuk kegiatan refleksi dan asesmen bagi peserta didik.

Guru perlu mencermati ketentuan dan keperluan pembelajaran yang nyata di sekolah. Pembelajaran ini dapat dilakukan dalam enam jam pelajaran atau jumlah lainnya dalam sepekan. Guru hendaknya mampu beradaptasi dengan berbagai kemungkinan yang ada.

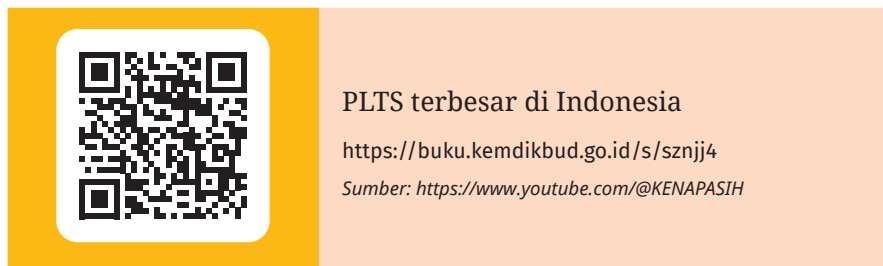
B. Apersepsi

Pada Buku Siswa, terdapat Apersepsi. Sebelum pembelajaran dimulai, guru memberikan tautan video mengenai mengenal PLTS terbesar di Indonesia.

Setelah peserta didik menyimak video tersebut, guru memberikan pertanyaan-pertanyaan yang berkaitan dengan video tersebut, yakni seperti berikut.

- 🕒 Bagaimana cara kerja PLTS?
- 🕒 Bagaimana perkembangan PLTS di Indonesia?

Sebagai pengayaan bahan apersepsi, guru dapat menggunakan QR Code atau linknya berikut ini.



C. Konsep dan Keterampilan Prasyarat

Sebelum mempelajari materi bab ini, peserta didik harus telah memiliki kompetensi berikut.

1. Menerapkan Alat Pelindung Diri (APD) dalam Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3)
2. Menerapkan perkakas praktik, terutama perkakas tangan dan bertenaga
3. Membaca gambar teknik energi terbarukan
4. Menerapkan alat ukur dan alat uji
5. Menerapkan perhitungan konversi energi surya
6. Menerapkan dasar energi terbarukan

Guru dapat memastikan peserta didik telah menguasai kompetensi-kompetensi di atas agar proses pembelajaran dapat berjalan dengan baik dan lancar.

D. Penilaian Sebelum Pembelajaran

Penilaian sebelum pembelajaran diberikan untuk mengetahui kemampuan awal peserta didik terhadap materi yang akan disampaikan. Bentuk penilaian sebelum pembelajaran

berupa soal yang dapat dilakukan secara lisan. Peserta didik diminta mengangkat tangan pada jawaban yang dipilih. Dari sini, guru dapat langsung melihat berapa banyak peserta didik yang mempunyai pemahaman dasar tentang materi yang akan diberikan.

Di Buku Siswa, penilaian sebelum pembelajaran diberikan setelah peserta didik mengamati video yang diberikan QR Code dan link. Ada dua pertanyaan di Buku Siswa. Guru dapat mengembangkan berbagai pertanyaan berdasarkan video tersebut. Guru juga dapat mengembangkan pertanyaan di luar materi yang ada di video, tetapi harus tetap berkaitan dengan materi yang akan dipelajari.

Berikut contoh pertanyaan yang dapat disampaikan guru untuk melakukan penilaian sebelum pembelajaran.

- 🕒 Apa yang dimaksud dengan energi surya dan bagaimana cara kerjanya?
- 🕒 Bagaimana proses konversi energi matahari menjadi listrik pada panel surya?
- 🕒 Apa saja komponen utama dari sistem pembangkit listrik tenaga surya?
- 🕒 Apa saja alat ukur yang biasa digunakan dalam instalasi sistem PLTS?

E. Panduan Pembelajaran

Kegiatan pembelajaran merupakan tahap yang sangat penting. Oleh sebab itu, perlu direncanakan secara serius. Bab ini terdiri atas tiga subbab. Proses pembelajaran pada setiap subbab akan dijelaskan seperti berikut. Proses pembelajaran ini merupakan inspirasi bagi guru. Guru disarankan untuk mengembangkan proses pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik peserta didik, sarana dan prasarana serta lingkungan sekolahnya.

1. Konsep Dasar dan Komponen PLTS

Subbab ini merupakan implementasi dari Tujuan Pembelajaran 1, yaitu Menerapkan konsep dasar dan komponen PTLs. Tujuan Pembelajaran ini diturunkan menjadi 10 indikator. Di dalam Buku Siswa, subbab Konsep Dasar dan Komponen PLTS terdiri atas Konsep Dasar PLTS, Komponen PLTS, Sistem PLTS.

Tujuan	:	Menerapkan konsep dasar dan komponen PLTS
Subpokok Materi	:	Konsep Dasar dan Komponen PLTS
Alokasi Waktu	:	72 JP (disajikan dalam 12 minggu) Rancangan pembelajaran pada contoh ini disajikan dalam 12 kali pertemuan. Alokasi waktu dapat dikembangkan sesuai kebutuhan di sekolah.

a. Konsep Dasar PLTS

Tujuan	:	Menerapkan konsep dasar dan komponen PLTS
Alokasi Waktu	:	12 JP × 45 Menit (2 Pertemuan)
Indikator	:	<ol style="list-style-type: none">1. Peserta didik mampu menjelaskan prinsip kerja sel surya secara mandiri dan beriman, bertakwa kepada Tuhan YME dan berakhlak mulia.2. Peserta didik mampu menerapkan tipe konstruksi PLTS secara gotong royong dan kreatif.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Subbab ini membahas tentang konsep dasar pada PLTS. Guru dapat mengajarkan dan mendorong eksplorasi materi yang tersedia pada kompetensi keahlian atau dari sumber belajar lainnya seperti Buku Siswa, modul, internet, dan lain-lain.

Pada awal materi, dijelaskan prinsip kerja sel surya, yang berfungsi berdasarkan efek fotovoltaiik, memiliki relevansi penting dalam industri dan dunia kerja, terutama dalam sektor energi terbarukan dan teknologi hijau. Dalam konteks ini, pemahaman tentang bagaimana cahaya matahari yang diserap oleh material semikonduktor seperti silikon menghasilkan arus listrik menjadi dasar untuk merancang dan mengimplementasikan solusi energi yang efisien dan berkelanjutan. Struktur sel surya yang terdiri atas lapisan tipe-P dan tipe-N memungkinkan konversi energi cahaya menjadi energi listrik yang kemudian dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi industri, seperti pembangkit listrik tenaga surya, sistem energi hibrida, dan teknologi bangunan hijau. Efisiensi sel surya, yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti intensitas cahaya dan temperatur, menjadi perhatian utama dalam optimalisasi kinerja dan pengurangan biaya energi di dunia kerja. Dengan demikian, memberikan kontribusi nyata terhadap keberlanjutan industri dan pengembangan ekonomi rendah karbon. Aktivitas 1.1 dan Aktivitas 1.2 dikerjakan.

2) Alternatif Pembelajaran

Alternatif pembelajaran untuk materi Konsep Dasar PLTS, peserta didik dapat dilibatkan dalam studi kasus dan debat kelompok. Dalam kegiatan ini, guru memberikan beberapa skenario studi kasus yang menggambarkan situasi nyata terkait tantangan dan peluang dalam penerapan PLTS. Misalnya, bagaimana sebuah desa terpencil dapat memanfaatkan PLTS untuk memenuhi kebutuhannya, atau tantangan yang dihadapi dalam mengintegrasikan PLTS ke dalam jaringan listrik perkotaan.

Setelah mempelajari studi kasus, peserta didik dibagi menjadi kelompok-kelompok kecil dan setiap kelompok diharapkan untuk mengembangkan argumen mereka berdasarkan situasi yang diberikan. Mereka akan melakukan riset singkat, menganalisis data yang tersedia, dan kemudian mempresentasikan solusi mereka dalam format debat. Setiap kelompok akan mempertahankan pandangan mereka, menjawab pertanyaan dari kelompok lain, dan akhirnya mendiskusikan solusi terbaik secara bersama-sama. Kegiatan ini mendorong peserta didik untuk berpikir kritis, bekerja sama, dan memperdalam pemahaman mereka tentang bagaimana prinsip kerja sel surya dan konstruksi PLTS dapat diterapkan dalam konteks yang berbeda-beda.

b. Komponen PLTS

Alokasi Waktu	:	60 JP × 45 Menit (10 Pertemuan)
Indikator		<ol style="list-style-type: none"> 1. Peserta didik mampu menerapkan Modul Surya pada PLTS secara mandiri. 2. Peserta didik mampu menerapkan <i>Solar Charge Controller</i> (SCC) pada sistem PLTS dengan cara bekerja sama secara bergotong royong. 3. Peserta didik mampu menerapkan konsep pemasangan dan konfigurasi inverter pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya secara bergotong royong dan kreatif. 4. Peserta didik mampu menerapkan konfigurasi baterai pada PLTS secara mandiri. 5. Peserta didik mampu menerapkan konsep penggunaan <i>combiner box</i> pada sistem PLTS secara bergotong royong dan berkebinekaan global. 6. Peserta didik mampu merancang dan menerapkan panel distribusi DC untuk PLTS secara bergotong royong dan berkebinekaan global. 7. Peserta didik mampu merancang dan menerapkan panel distribusi AC untuk PLTS secara bergotong royong dan berkebinekaan global.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Materi pada subbab ini cukup banyak sehingga pembelajarannya memerlukan waktu sekitar sepuluh pekan. Pada pekan pertama, guru menjelaskan komponen-komponen yang terdapat pada PLTS secara umum, dilanjutkan dengan materi Modul Surya.

a) Modul Surya

Modul surya merupakan komponen utama dalam PLTS yang berperan penting dalam industri dan dunia kerja, terutama dalam transisi menuju energi bersih dan berkelanjutan. Modul ini terdiri atas sel-sel surya yang mengonversi sinar matahari menjadi energi listrik, yang kemudian dapat digunakan untuk berbagai aplikasi industri, seperti suplai energi pada pabrik, perkantoran, dan fasilitas komersial lainnya. Dalam konteks dunia kerja, pemahaman tentang efisiensi modul surya, jenis material yang digunakan, serta teknologi terbaru dalam pengembangan modul menjadi kunci. Hal itu untuk mengoptimalkan produksi energi, mengurangi biaya operasional, dan meningkatkan daya saing perusahaan di pasar global. Selain itu, penguasaan teknologi modul surya juga membuka peluang kerja baru di bidang desain, instalasi, dan pemeliharaan sistem energi terbarukan, yang makin dibutuhkan dalam upaya global untuk mengurangi emisi karbon dan mendukung keberlanjutan industri. Kegiatan ini dilanjutkan dengan Aktivitas 1.3.

b) Solar Charge Controller

Materi yang di pelajari mengenai *Solar Charge Controller* (SCC). SCC ialah komponen yang berperan dalam mengatur aliran listrik dari modul surya ke baterai penyimpanan sehingga memastikan pengisian daya berjalan secara efisien dan aman. Dalam industri dan dunia kerja, pemahaman mendalam tentang SCC sangat penting karena alat ini membantu memperpanjang umur baterai dan mencegah kerusakan akibat *overcharging* atau *undercharging*. Teknologi seperti PWM (Pulse Width Modulation) dan MPPT (Maximum Power Point Tracking) pada SCC memungkinkan optimalisasi penyerapan energi, yang sangat relevan untuk industri yang mengandalkan kestabilan dan efisiensi energi terbarukan dalam operasionalnya. Selain itu, penguasaan teknologi SCC menjadi keterampilan yang bernilai di dunia kerja, membuka peluang dalam perancangan, instalasi, dan pemeliharaan sistem PLTS yang andal, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan energi di berbagai sektor industri. Kegiatan ini dilanjutkan dengan Aktivitas 1.4.

c) Inverter

Di materi ini, guru mengenalkan komponen inverter. Inverter merupakan komponen yang berfungsi mengonversi arus searah (DC) yang dihasilkan oleh modul surya menjadi arus bolak-balik (AC) yang digunakan oleh sebagian besar peralatan listrik di industri dan rumah tangga. Dalam konteks industri dan dunia kerja, pemahaman mendalam tentang inverter sangat penting karena inverter tidak hanya mengoptimalkan efisiensi konversi energi, tetapi juga memastikan kestabilan dan kualitas daya listrik yang disuplai ke jaringan atau beban. Teknologi inverter yang canggih, seperti inverter *string* atau mikro inverter, memungkinkan manajemen energi yang lebih efektif yang dapat mengurangi

biaya operasional dan meningkatkan keandalan sistem. Selain itu, keahlian dalam instalasi, konfigurasi, dan pemeliharaan inverter menjadi keterampilan yang sangat dicari di industri energi terbarukan. Kegiatan ini dilanjutkan dengan Aktivitas 1.5.

d) Baterai

Materi yang disampaikan mengenai baterai. Baterai dalam sistem PLTS berfungsi sebagai penyimpan energi yang dihasilkan oleh panel surya untuk digunakan saat matahari tidak bersinar, seperti di malam hari atau saat cuaca mendung. Di industri dan dunia kerja, baterai merupakan komponen krusial yang memengaruhi efisiensi dan keandalan sistem PLTS secara keseluruhan. Pemilihan baterai yang tepat, seperti baterai lithium-ion yang banyak digunakan saat ini, didasarkan pada kapasitas penyimpanan, siklus hidup, dan kemampuannya dalam mendukung beban daya yang bervariasi. Industri mengandalkan baterai yang memiliki daya tahan tinggi dan perawatan minimal untuk memastikan kontinuitas operasional dan mengurangi *downtime*, sehingga mampu menjaga produktivitas dan efisiensi energi yang optimal dalam berbagai aplikasi. Kegiatan ini dilanjutkan dengan Aktivitas 1.6.

e) Combiner Box

Combiner box dalam sistem PLTS ialah perangkat yang menggabungkan aliran listrik dari beberapa *string* panel surya menjadi satu *output* tunggal sebelum disalurkan ke inverter. *Combiner box* memegang peran penting dalam memastikan efisiensi dan keamanan operasional sistem. Dengan penggunaan *combiner box* yang tepat, industri dapat mengoptimalkan distribusi energi, meminimalkan kerugian daya, dan melindungi sistem dari potensi gangguan seperti *overcurrent* atau korsleting. Selain itu, *combiner box* yang didesain dengan standar industri mampu bertahan dalam berbagai kondisi lingkungan yang keras sehingga mengurangi frekuensi perawatan dan meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan. Implementasi yang tepat dari *combiner box* ini sangat penting untuk menjaga kelangsungan operasional dan efisiensi energi dalam aplikasi skala besar di industri. Kegiatan ini dilanjutkan dengan Aktivitas 1.7.

f) Panel Distribusi DC

Panel distribusi DC (*Direct Current*) ialah komponen kunci dalam sistem PLTS yang mengatur distribusi daya listrik searah dari sumber energi seperti baterai, inverter, dan *combiner box* ke berbagai beban atau perangkat lainnya. Panel ini memastikan aliran listrik yang stabil dan aman melalui penggunaan proteksi seperti sekering, pemutus arus, dan alat pengukur yang terintegrasi. Dengan desain yang tepat, panel distribusi DC membantu mengoptimalkan kinerja sistem, menjaga keandalan operasional, dan melindungi semua rangkaian dari potensi gangguan seperti korsleting atau *overload* sehingga memungkinkan sistem bekerja dengan efisien dan aman dalam berbagai kondisi. Kegiatan ini dilanjutkan dengan Aktivitas 1.8.

g) Panel Distribusi AC

Panel distribusi AC (*Alternating Current*) ialah komponen yang bertugas mendistribusikan arus listrik bolak-balik dari inverter ke berbagai beban atau perangkat listrik. Panel ini dilengkapi dengan proteksi seperti pemutus arus, alat pengukur tegangan, dan sakelar, yang memastikan aliran listrik yang aman dan stabil ke seluruh sistem. Dengan pengaturan yang tepat, panel distribusi AC membantu mengoptimalkan distribusi daya, mencegah kerusakan pada peralatan akibat gangguan seperti kelebihan beban atau tegangan, dan memungkinkan pengoperasian sistem yang efisien serta berkelanjutan. Kegiatan ini dilanjutkan dengan Aktivitas 1.9.

2. Alternatif Pembelajaran

Alternatif pembelajaran materi komponen PLTS, guru dapat mengarahkan peserta didik untuk melakukan studi literatur yang mendalam dan diskusi kelompok. Peserta didik dapat ditugaskan untuk mencari informasi dari buku teks, artikel ilmiah, atau sumber *online* mengenai fungsi dan prinsip kerja dari berbagai komponen PLTS seperti modul surya, inverter, baterai, dan SCC. Setelah itu, setiap kelompok dapat mendiskusikan temuan mereka dan membuat diagram manual yang menggambarkan bagaimana komponen-komponen tersebut bekerja bersama dalam sebuah sistem PLTS. Diagram ini kemudian dapat dipresentasikan kepada semua anggota kelas untuk mendorong pemahaman kolektif dan penguatan konsep, sekaligus mengembangkan keterampilan komunikasi dan kolaborasi.

c. Sistem PLTS

Alokasi Waktu	:	6 JP × 45 Menit (1 Pertemuan)
Indikator	:	Peserta didik mampu menerapkan sistem PLTS secara mandiri.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Memahami perbedaan antara sistem *off-grid*, *on-grid*, dan hibrida dalam PLTS merupakan kunci untuk memilih solusi energi yang paling sesuai. Sistem *off-grid* beroperasi secara mandiri dengan menyimpan energi dalam baterai, ideal untuk lokasi terpencil yang tidak terhubung dengan jaringan listrik. Sebaliknya, sistem *on-grid* terhubung langsung dengan jaringan listrik, memungkinkan pengguna untuk menjual kelebihan energi ke *grid* dan mengandalkan pasokan dari jaringan saat produksi energi surya tidak mencukupi. Sistem hibrida menggabungkan kedua pendekatan ini, menggunakan energi surya yang disimpan dalam baterai dan tetap terhubung dengan *grid* untuk memastikan kontinuitas pasokan listrik dan mengoptimalkan biaya. Memilih sistem yang tepat memerlukan pemahaman

yang baik tentang kebutuhan energi, biaya, dan manfaat masing-masing pendekatan untuk memastikan efisiensi dan keberlanjutan operasi. Kegiatan ini dilanjutkan dengan Aktivitas 1.10.

2) Alternatif Pembelajaran

Alternatif pembelajaran materi sistem PLTS (*off-grid*, *on-grid*, dan hibrida) tanpa menggunakan komponen fisik, video, animasi, atau studi kasus, guru dapat mengarahkan peserta didik untuk membuat infografis. Dalam kelompok, peserta didik dapat menyusun infografis yang menjelaskan karakteristik utama, kelebihan, dan tantangan dari setiap sistem PLTS. Infografis ini dapat mencakup elemen-elemen seperti diagram alur energi, perbandingan visual antara ketiga sistem, serta penggunaan warna dan ikon untuk memperjelas informasi. Dengan membuat infografis, peserta didik dapat mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan kreatif dalam menyajikan informasi kompleks secara visual dan mudah dipahami. Setelah infografis selesai, setiap kelompok dapat memajangkannya di kelas untuk digunakan sebagai referensi selama pembelajaran lebih lanjut.

2. Perencanaan dan Perancangan Pemasangan PLTS

Subbab ini merupakan implementasi dari Tujuan Pembelajaran 2 dan 3 seperti tampak berikut ini. Tujuan Pembelajaran ini diturunkan menjadi 6 indikator. Di dalam Buku Siswa, subbab Perencanaan dan Perancangan Pemasangan PLTS terdiri atas Perencanaan Instalasi PLTS, Perancangan Sistem PLTS.

Tujuan	:	1. Menerapkan konsep dasar perencanaan pemasangan PLTS. 2. Menerapkan konsep dasar perancangan pemasangan PLTS.
Subpokok Materi	:	Konsep Perencanaan dan Perancangan Pemasangan PLTS
Alokasi Waktu	:	36 JP (disajikan dalam 6 minggu) Rancangan pembelajaran pada contoh ini disajikan dalam 6 kali pertemuan. Alokasi waktu dapat dikembangkan sesuai kebutuhan di sekolah.

a. Konsep Perencanaan Pemasangan PLTS

Alokasi Waktu	:	18 JP × 45 Menit (3 Pertemuan)
Tujuan	:	Menerapkan konsep dasar perencanaan pemasangan PLTS.

Indikator	: 1. Peserta didik mampu menerapkan konsep perencanaan pada pemilihan lokasi penempatan pemasangan PLTS dengan mandiri dan beriman, bertakwa kepada Tuhan YME, dan berakhlak mulia. 2. Peserta didik mampu menganalisis lokasi potensial dalam Perencanaan pemasangan PLTS dengan mandiri dan beriman, bertakwa kepada Tuhan YME, dan berakhlak mulia.
-----------	---

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Pembelajaran tentang perencanaan pemasangan PLTS bertujuan untuk membekali peserta didik dengan pemahaman mengenai analisis beban listrik dan pemilihan lokasi optimal pemasangan panel surya, dengan mempertimbangkan paparan sinar matahari, orientasi panel, serta faktor lingkungan seperti suhu dan kelembapan. Melalui simulasi, studi kasus, dan analisis beban, peserta didik dilatih untuk berpikir kritis, bekerja sama, dan bertanggung jawab secara profesional sesuai Profil Pelajar Pancasila. Pendekatan diferensiasi diterapkan dengan menyesuaikan tingkat kesulitan tugas, di mana peserta didik pemula fokus pada konsep dasar, sedangkan yang lebih berpengalaman menghadapi tantangan lanjutan seperti kondisi bayangan dan iklim ekstrem. Berbagai metode seperti simulasi, video demonstrasi, dan sesi tanya jawab digunakan untuk mendukung gaya belajar yang beragam. Dengan pendekatan berbasis kompetensi yang relevan dengan kebutuhan Industri dan Dunia Kerja (Iduka) serta mengacu pada SKKNI, pembelajaran ini menyiapkan peserta didik dengan pengetahuan teknis, keterampilan analitis, dan etika profesional di bidang energi terbarukan. Setelah mempelajari materi ini, peserta didik dapat melanjutkan ke Aktivitas 1.11.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran untuk peserta didik dalam menerapkan konsep perencanaan pemasangan PLTS, termasuk lokasi penempatan dan analisis beban, peserta didik dapat memanfaatkan video edukatif dan sesi diskusi kelompok. Video ini akan menyajikan informasi mendalam mengenai pemilihan lokasi yang optimal untuk instalasi PLTS, analisis beban energi yang dibutuhkan, serta cara-cara untuk mengatasi tantangan praktis dalam perencanaan. Setelah menonton video, peserta didik dibagi dalam kelompok kecil untuk berdiskusi dan merancang rencana pemasangan PLTS berdasarkan studi kasus yang disediakan, mengidentifikasi lokasi terbaik dan menghitung kebutuhan energi. Diskusi kelompok ini mendukung pembelajaran kolaboratif, memungkinkan peserta didik untuk menggabungkan pengetahuan teoretis dengan aplikasi praktis, serta meningkatkan keterampilan kerja sama dan penyelesaian masalah dalam konteks yang relevan dan nyata.

b. Konsep Perancangan Pemasangan PLTS

Alokasi Waktu	:	18 JP × 45 Menit (3 Pertemuan)
Tujuan	:	Menerapkan konsep dasar perancangan pemasangan PLTS.
Indikator	:	<ol style="list-style-type: none">1. Peserta didik mampu menerapkan konsep perancangan sistem PLTS <i>Off-Grid</i> secara bergotong royong dan kreatif.2. Peserta didik dapat menerapkan pengukuran kebutuhan energi dalam perancangan PLTS <i>Off-Grid</i> secara bergotong royong dan kreatif.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Dalam aktivitas pembelajaran mengenai Konsep Perancangan Pemasangan PLTS, peserta didik akan mempelajari cara merancang sistem PLTS yang sesuai dengan kebutuhan dan kondisi lapangan, termasuk sistem *off-grid*, *on-grid*, dan hibrida. Aktivitas ini menekankan diskusi kelompok dan presentasi untuk mengembangkan tanggung jawab, kerja sama, dan sikap profesional. Peserta didik dibagi menjadi kelompok kecil untuk merancang sistem yang mereka pilih diferensiasi dalam proses pembelajaran diterapkan melalui pembagian tugas dan tahapan aktivitas berdasarkan kemampuan individu dalam kelompok, seperti peran sebagai perancang sistem, pengukur kebutuhan energi, atau penyusun anggaran. Pendekatan ini memberikan fleksibilitas bagi setiap peserta didik untuk berkontribusi sesuai dengan kekuatan mereka, memungkinkan pembelajaran bertahap melalui diskusi, analisis teknis, dan presentasi hasil. Fokusnya ialah mengembangkan pengetahuan, keterampilan, dan sikap profesional yang relevan dengan dunia kerja sehingga peserta didik memahami prinsip dasar sistem PLTS dan mampu menerapkannya sesuai standar industri. Setelah materi dilanjutkan dengan aktivitas 1.12.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran, peserta didik dapat mengikuti kegiatan yang melibatkan video edukasi dan diskusi kelompok untuk menerapkan konsep perancangan dan pemasangan PLTS dalam tiga sistem: *off-grid*, *on-grid*, dan hibrida, secara bergotong royong. Pertama, peserta didik akan menonton video yang menjelaskan langkah-langkah perencanaan dan pemasangan setiap sistem PLTS. Setelah itu, mereka akan berdiskusi dalam kelompok untuk membahas dan mengembangkan rencana pemasangan berdasarkan informasi dari video. Diskusi ini akan memperkuat pemahaman peserta didik tentang perbedaan dan keunggulan setiap jenis sistem serta mendorong kerja sama dalam merancang solusi yang tepat untuk skenario nyata, sekaligus mengasah keterampilan komunikasi dan kolaborasi mereka.

3. Pemasangan PLTS

Subbab ini merupakan implementasi dari Tujuan Pembelajaran 4–7 seperti tampak berikut ini. Tujuan Pembelajaran ini diturunkan menjadi 9 indikator. Di dalam Buku Siswa, subbab Pemasangan PLTS terdiri atas Pemasangan PLTS di Atas Atap, Pemasangan PLTS di Atas Tanah, Pemasangan Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya, Pemasangan Instalasi Kelistrikan PLTS *Off-Grid*, Pemasangan Instalasi Kelistrikan PLTS *On-Grid*, serta Pemasangan Instalasi Kelistrikan PLTS Hibrida.

Tujuan	:	<ol style="list-style-type: none">1. Menerapkan pemasanganudukan dan modul surya PLTS tipe atas atap (<i>rooftop</i>).2. Menerapkan pemasanganudukan dan modul surya PLTS Tipe atas tanah (<i>ground mounted</i>).3. Menerapkan pemasangan penerangan jalan umum tenaga surya (PJUTS).4. Menerapkan instalasi kelistrikan PLTS.
Subpokok Materi	:	Pemasangan PLTS
Alokasi Waktu	:	90 JP (disajikan dalam 15 minggu) Rancangan pembelajaran pada contoh ini disajikan dalam 15 kali pertemuan. Alokasi waktu dapat dikembangkan sesuai kebutuhan di sekolah.

a. Pemasangan PLTS di Atas Atap

Alokasi Waktu	:	18 JP × 45 Menit (3 Pertemuan)
Tujuan	:	Menerapkan pemasanganudukan dan modul surya PLTS tipe atas atap (<i>rooftop</i>).
Indikator	:	<ol style="list-style-type: none">1. Peserta didik mampu menerapkan pemasanganudukan dan modul surya pada lokasi pemasangan PLTS di atas atap secara bergotong royong dan bernalar kritis.2. Peserta didik mampu menentukan rancangan strukturudukan modul surya PLTS di atas atap secara bergotong royong dan bernalar kritis.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Aktivitas pembelajaran ini bertujuan membekali peserta didik dengan pengetahuan dan keterampilan dalam pemasangan dudukan dan modul surya pada PLTS di atas atap secara aman, efisien, dan sesuai standar. Peserta didik bekerja dalam tim untuk menentukan jenis dudukan, orientasi, dan sudut kemiringan panel surya yang optimal, sambil mengembangkan karakter gotong royong, tanggung jawab, dan ketelitian sesuai Profil Pelajar Pancasila. Kegiatan dilakukan bertahap, mulai dari survei atap, analisis tantangan, hingga pembuatan sketsa dan laporan kelompok. Pembelajaran diferensiasi diterapkan dengan membagi tugas sesuai kemampuan; peserta didik mahir mengerjakan tugas kompleks seperti analisis struktur atap, sedangkan pemula fokus pada pengenalan alat dan teknik dasar. Proses ini memberi pengalaman belajar yang sesuai kebutuhan dan kontekstual dengan dunia kerja. Setelah kegiatan ini, pembelajaran dilanjutkan ke Aktivitas 1.13.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran, peserta didik dapat menerapkan konsep pemasangan dudukan dan modul surya PLTS di atas atap melalui kegiatan simulasi dan diskusi kelompok. Dalam kegiatan ini, peserta didik akan dibagi menjadi kelompok-kelompok yang bertugas untuk merencanakan pemasangan dudukan dan modul surya dengan menggunakan model atau diagram. Setiap kelompok akan mendiskusikan langkah-langkah yang diperlukan, mempertimbangkan faktor-faktor seperti orientasi dan kemiringan atap, serta mendiskusikan strategi penguatan struktur atap yang aman. Setelah itu, mereka akan mempresentasikan hasil rencana mereka kepada kelas, menerima masukan dari kelompok lain, dan bersama-sama menyempurnakan konsep yang telah mereka buat. Aktivitas ini akan mengembangkan kemampuan berpikir kritis, kolaborasi, dan komunikasi yang efektif.

b. Pemasangan PLTS di Atas Tanah

Alokasi Waktu	:	18 JP × 45 Menit (3 Pertemuan)
Tujuan	:	Menerapkan pemasangan dudukan dan modul surya PLTS Tipe atas tanah (<i>ground mounted</i>).
Indikator	:	<ol style="list-style-type: none">1. Peserta didik mampu menerapkan pemasangan dudukan dan modul surya pada perencanaan lokasi PLTS di atas tanah secara bergotong royong dan bernalar kritis.2. Peserta didik mampu membuat struktur pemasangan dudukan dan modul surya PLTS di atas tanah secara bergotong royong dan bernalar kritis.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Aktivitas pembelajaran ini bertujuan membekali peserta didik dengan pengetahuan dan keterampilan dalam pemasangan dudukan dan modul surya pada PLTS di atas tanah, dengan memperhatikan kondisi lahan dan kebutuhan energi. Melalui kerja kelompok, peserta didik dilatih untuk merancang dan memasang sistem PLTS secara kolaboratif, sekaligus menumbuhkan karakter gotong royong, tanggung jawab, serta kepedulian terhadap keberlanjutan energi. Pembelajaran diferensiasi diterapkan dengan menyesuaikan tugas berdasarkan kemampuan peserta didik, baik dalam aspek analitis seperti menghitung efisiensi lahan, maupun keterampilan praktis seperti teknik pemasangan. Kegiatan ini berbasis kompetensi, relevan dengan dunia industri, dan mengacu pada SKKNI sehingga mendukung kesiapan peserta didik untuk terjun ke dunia kerja di bidang energi terbarukan. Setelah kegiatan ini, pembelajaran dilanjutkan dengan Aktivitas 1.14.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran, peserta didik dapat menerapkan konsep pemasangan dudukan dan modul surya Pembangkit Listrik Tenaga Surya di atas tanah melalui kegiatan simulasi dan kerja kelompok. Dalam kegiatan ini, peserta didik akan dibagi menjadi kelompok-kelompok yang bertugas untuk merancang pemasangan dudukan dan modul surya pada lahan datar dengan mempertimbangkan faktor seperti orientasi matahari, jarak antarmodul, dan stabilitas struktur. Setiap kelompok akan membuat sketsa rancangan dan mempresentasikan solusi mereka, termasuk bagaimana memastikan stabilitas dan efisiensi sistem. Diskusi kelompok dan presentasi ini akan menumbuhkan sikap gotong royong serta keterampilan analisis dan komunikasi dalam merencanakan proyek energi terbarukan.

c. Pemasangan Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya

Alokasi Waktu	:	18 JP × 45 Menit (3 Pertemuan)
Tujuan	:	Menerapkan pemasangan penerangan jalan umum tenaga surya (PJUTS).
Indikator	:	<ol style="list-style-type: none">1. Peserta didik mampu bekerja sama untuk menentukan lokasi strategis pemasangan PJUTS di lingkungan sekolah atau area yang ditentukan.2. Peserta didik mampu menentukan posisi setiap modul surya dan tiang lampu dengan mempertimbangkan efisiensi penerangan dan estetika lingkungan secara bergotong royong.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Pembelajaran pemasangan Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) bertujuan membekali peserta didik dengan keterampilan merencanakan, memasang, dan menguji sistem penerangan jalan berbasis energi surya secara aman dan andal. Aktivitas ini menekankan pentingnya tanggung jawab, ketelitian, dan kerja sama dalam tim, sesuai dengan Profil Pelajar Pancasila. Peserta didik mempelajari komponen sistem PJUTS, teknik instalasi, serta prosedur pengujian dan pemeliharaan, dengan fokus pada efisiensi energi dan pemilihan lokasi yang optimal. Pembelajaran berbasis kompetensi ini diselaraskan dengan kebutuhan Industri dan Dunia Kerja (Iduka) serta SKKNI, untuk memastikan peserta didik siap menghadapi tantangan profesional di bidang energi terbarukan. Kegiatan ini dilanjutkan dengan Aktivitas 1.15.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran, peserta didik dapat melaksanakan simulasi pemasangan dudukan dan modul surya untuk Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) secara bergotong royong. Dalam kegiatan ini, peserta didik akan dibagi dalam kelompok untuk merencanakan dan menentukan lokasi pemasangan yang tepat, memperhitungkan faktor-faktor seperti arah matahari, keamanan, dan efisiensi penerangan. Setiap kelompok akan bekerja sama untuk membuat model atau sketsa penempatan dudukan dan modul surya, serta menyusun strategi implementasi yang efektif. Diskusi kelompok akan dilakukan untuk mengevaluasi dan memperbaiki rencana pemasangan sehingga peserta didik dapat memahami pentingnya kolaborasi dalam mengembangkan solusi energi terbarukan yang bermanfaat bagi masyarakat.

d. Pemasangan Instalasi Kelistrikan PLTS *Off-Grid*

Alokasi Waktu	:	12 JP × 45 Menit (2 Pertemuan)
Tujuan	:	Menerapkan instalasi kelistrikan PLTS.
Indikator	:	Peserta didik mampu menerapkan pemasangan instalasi kelistrikan PLTS <i>Off Grid</i> secara bergotong royong dan bernalar kritis.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Aktivitas pembelajaran mengenai pemasangan instalasi kelistrikan pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* bertujuan untuk memberikan peserta didik pemahaman mendalam tentang teknik pemasangan yang benar dan efisien, serta cara mengintegrasikan

sistem kelistrikan dengan sumber tenaga surya secara mandiri. Aktivitas ini mendukung pengembangan karakter dalam Profil Pelajar Pancasila (P3) dengan menekankan nilai-nilai seperti ketelitian, tanggung jawab, dan kemampuan *problem-solving*. Melalui proses ini, peserta didik tidak hanya belajar tentang aspek teknis, tetapi juga tentang pentingnya etika kerja, keamanan, dan kesadaran akan dampak lingkungan dari teknologi yang mereka pasang. Aktivitas ini berbasis kompetensi dengan fokus pada pengembangan pengetahuan teknis tentang komponen sistem *off-grid*, keterampilan praktis dalam pemasangan dan pengujian sistem, serta sikap profesional dalam mengelola dan memelihara sistem kelistrikan. Materi esensial seperti pemilihan komponen yang sesuai, instalasi yang aman, dan pengaturan sistem yang efisien memastikan bahwa peserta didik memperoleh keterampilan yang relevan dengan industri. Aktivitas ini disesuaikan dengan perkembangan Industri dan Dunia Kerja (Iduka) dan memperhatikan keterkaitan dengan SKKNI sehingga peserta didik dapat memenuhi standar nasional dan persyaratan pekerjaan di bidang energi terbarukan dan kelistrikan. Kegiatan ini dilanjutkan dengan Aktivitas 1.16.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran, peserta didik dapat melakukan simulasi perencanaan dan pemasangan instalasi kelistrikan untuk PLTS *Off-Grid* secara bergotong royong. Dalam simulasi ini, peserta didik dibagi dalam kelompok untuk merancang dan menentukan komponen utama yang diperlukan, seperti inverter, baterai, dan panel surya, serta bagaimana komponen-komponen ini akan dihubungkan dalam instalasi yang aman dan efisien. Setiap kelompok akan bekerja sama untuk membuat diagram skematik dari sistem kelistrikan yang akan dipasang, kemudian berdiskusi tentang langkah-langkah pemasangan, pengujian sistem, dan strategi pemeliharaan yang efektif. Melalui kegiatan ini, peserta didik tidak hanya belajar tentang aspek teknis, tetapi juga pentingnya kerja sama tim dalam menyelesaikan proyek yang kompleks.

e. Pemasangan Instalasi Kelistrikan PLTS *On-Grid*

Alokasi Waktu	:	12 JP × 45 Menit (2 Pertemuan)
Tujuan	:	Menerapkan instalasi kelistrikan PLTS.
Indikator	:	Peserta didik mampu menerapkan pemasangan instalasi kelistrikan PLTS <i>On-Grid</i> secara bergotong royong dan bernalar kritis.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Pada aktivitas pembelajaran ini, tujuan utamanya adalah agar peserta didik memahami dan mampu melakukan pemasangan instalasi kelistrikan PLTS *on-grid* secara efektif dan

aman. Aktivitas ini bertujuan untuk mengembangkan kompetensi peserta didik dalam hal teknis dan etika kerja, sesuai dengan nilai-nilai Profil Pelajar Pancasila (P3) seperti gotong royong dan tanggung jawab. Peserta didik akan bekerja dalam kelompok untuk merancang dan memasang instalasi, yang tidak hanya mendukung pengembangan keterampilan teknis, tetapi juga karakter kolaboratif dan kepemimpinan. Aktivitas ini juga mendukung tujuan pembelajaran dengan membekali peserta didik keterampilan yang dapat diaplikasikan langsung di Industri dan Dunia Kerja (Iduka), khususnya dalam sektor energi terbarukan. Kompetensi yang dikembangkan mencakup pengetahuan teknis, keterampilan dalam instalasi, dan sikap profesional yang sesuai dengan kebutuhan industri saat ini. Kegiatan ini dilanjutkan dengan Aktivitas 1.17.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran, peserta didik dapat melakukan simulasi perencanaan dan pemasangan instalasi kelistrikan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *On-Grid* secara bergotong royong. Dalam kegiatan ini, peserta didik dibagi ke dalam kelompok untuk merancang skema instalasi yang mencakup komponen utama seperti inverter *on-grid*, modul surya, dan koneksi ke jaringan listrik umum. Setiap kelompok akan berkolaborasi untuk membuat diagram rangkaian yang detail, merencanakan langkah-langkah pemasangan, serta membahas prosedur keselamatan yang harus diikuti. Setelah itu, mereka akan mempresentasikan rencana mereka dan mendiskusikan bagaimana sistem *on-grid* ini dapat membantu mengurangi biaya energi dan mendukung keberlanjutan lingkungan. Kegiatan ini tidak hanya mengajarkan aspek teknis, tetapi juga memperkuat keterampilan kerjasama dan komunikasi dalam tim.

f. Pemasangan Instalasi Kelistrikan PLTS Hibrida

Alokasi Waktu	:	18 JP × 45 Menit (3 Pertemuan)
Tujuan	:	Menerapkan instalasi kelistrikan PLTS.
Indikator	:	1. Peserta didik mampu menerapkan pemasangan instalasi kelistrikan PLTS hibrida secara bergotong royong dan bernalar kritis.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Pembelajaran ini bertujuan agar peserta didik memahami dan mampu melaksanakan pemasangan instalasi kelistrikan PLTS hibrida, yang menggabungkan energi surya dengan jaringan listrik atau sumber energi lain. Melalui proyek kelompok, peserta didik dilatih berpikir kritis, kreatif, serta bertanggung jawab dalam merancang dan memasang sistem PLTS hibrida

sesuai kebutuhan energi tertentu. Kegiatan ini mendukung pengembangan karakter mandiri, inovatif, dan kolaboratif sesuai Profil Pelajar Pancasila (P3), serta disesuaikan dengan kemampuan dan minat peserta didik melalui pembelajaran berdiferensiasi. Penugasan bervariasi diberikan agar setiap peserta didik dapat mengembangkan kompetensi sesuai potensinya, baik dalam aspek analisis sistem maupun praktik lapangan. Aktivitas ini berbasis kompetensi dan dirancang selaras dengan SKKNI dan kebutuhan Iduka sehingga peserta didik siap terjun ke dunia kerja di bidang energi terbarukan. Kegiatan ini dilanjutkan dengan Aktivitas 1.18.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran, peserta didik dapat mengikuti simulasi perencanaan dan pemasangan instalasi kelistrikan untuk PLTS Hibrida secara bergotong royong. Dalam aktivitas ini, peserta didik bekerja dalam kelompok untuk merancang sistem PLTS yang menggabungkan sumber energi surya dengan sumber energi konvensional seperti generator diesel. Mereka akan bertanggung jawab untuk menentukan komponen yang diperlukan, membuat diagram instalasi, serta merencanakan koneksi antara kedua sumber energi tersebut. Kegiatan ini juga mencakup diskusi tentang pengelolaan daya dan pemanfaatan optimal dari kedua sumber energi untuk memastikan keandalan pasokan listrik. Melalui kerja kelompok ini, peserta didik tidak hanya belajar tentang aspek teknis dari sistem PLTS Hibrida tetapi juga mengembangkan keterampilan kerja sama, penyelesaian masalah, dan komunikasi yang efektif.

F. Tindak Lanjut

Kegiatan tindak lanjut dapat dilakukan dengan dua kegiatan, yaitu pengayaan dan remedial.

1. Pengayaan

Pengayaan diberikan bagi peserta didik yang telah mencapai kriteria ketercapaian dari tujuan pembelajaran yang telah ditetapkan. Kegiatan pengayaan dapat dilakukan sebagai berikut.

- a. Peserta didik diarahkan untuk mengeksplorasi kompetensi dengan membaca materi pada Buku Siswa bagian pengayaan.
- b. Untuk memperdalam pemahaman tentang PLTS, peserta didik diharapkan mencari lebih banyak informasi tentang konsep dasar dan komponen-komponen PLTS. Informasi tersebut dapat diperoleh melalui berbagai sumber seperti buku, website, YouTube,

atau media lainnya. Dengan melakukan eksplorasi ini, peserta didik akan memiliki pengetahuan yang lebih mendalam mengenai cara kerja dan elemen penting dari PLTS.

- c. Peserta didik diberi kesempatan untuk merencanakan pemasangan PLTS menggunakan aplikasi simulasi. Salah satu aplikasi yang dapat digunakan ialah Helioscope. Video tutorial tentang penggunaan aplikasi ini dapat diakses melalui tautan di Buku Siswa. Kedua video tersebut akan membantu peserta didik memahami langkah-langkah perencanaan instalasi PLTS dengan lebih detail.
- d. Peserta didik dianjurkan untuk mengeksplorasi proses pemasangan PLTS terapung. Informasi ini dapat dicari melalui buku, website, YouTube, atau media lainnya agar mereka memiliki pemahaman lebih mendalam tentang teknik pemasangan PLTS terapung dan aplikasinya di dunia nyata.

2. Remedial

Bagi peserta didik dengan kemampuan yang belum memenuhi Kriteria Ketercapaian Tujuan Pembelajaran (KKTP), guru perlu melakukan hal berikut.

- a. Guru memberikan bimbingan individu atau secara kelompok.
- b. Guru memberikan pembelajaran ulang dengan metode berbeda.
- c. Guru memanfaatkan tutor sebaya, yaitu peserta didik lain membantu temannya yang masih belum dapat menapai KKTP dengan cara membuat kelompok belajar. Peserta didik yang dianggap mampu akan menjadi narasumber bagi temannya.

G. Asesmen

Asesmen awal disampaikan pada saat awal kegiatan pembelajaran. Asesmen formatif menggunakan instrumen asesmen berupa aktivitas peserta didik baik individu maupun kelompok. Pada bab ini, asesmen aktivitas dapat dilakukan dengan rubik asesmen pada panduan umum. Asesmen sumatif dilakukan pada bagian uji kompetensi merupakan penilaian dalam instrumen tes tertulis dengan bentuk uraian. Untuk lebih jelas, guru dapat melihat tabel rubik asesmen berikut.

1. Rubrik Penilaian Aktivitas

a. Rubrik Penilaian Aktivitas 1.1

Tabel 1.3 Rubrik Penilaian Aktivitas 1.1

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Pemahaman Proses Kerja Sel Surya	Menjelaskan proses konversi energi matahari menjadi listrik melalui sel surya dengan rinci, jelas, dan tepat.	Menjelaskan proses konversi energi matahari menjadi listrik melalui sel surya dengan baik, tetapi ada detail yang kurang.	Menjelaskan proses konversi energi matahari menjadi listrik melalui sel surya, tetapi penjelasan masih kurang jelas.	Kesulitan menjelaskan proses konversi energi matahari menjadi listrik melalui sel surya.
Identifikasi Faktor Efisiensi	Mengidentifikasi dan menjelaskan semua faktor yang memengaruhi efisiensi sel surya dengan contoh yang relevan.	Mengidentifikasi dan menjelaskan sebagian besar faktor yang memengaruhi efisiensi sel surya dengan baik.	Mengidentifikasi beberapa faktor yang memengaruhi efisiensi sel surya, tetapi penjelasan kurang mendalam.	Hanya mampu mengidentifikasi sedikit faktor atau tidak memberikan penjelasan yang memadai.
Optimalisasi Efisiensi Sel Surya	Menjelaskan langkah-langkah optimalisasi efisiensi sel surya dalam berbagai kondisi cuaca dengan sangat baik.	Menjelaskan langkah-langkah optimalisasi efisiensi sel surya dalam berbagai kondisi cuaca dengan cukup baik.	Menjelaskan sebagian langkah-langkah optimalisasi efisiensi sel surya, tetapi beberapa konsep masih kurang jelas.	Tidak mampu menjelaskan langkah-langkah optimalisasi efisiensi sel surya dengan baik.

b. Rubrik Penilaian Aktivitas 1.2

Tabel 1.4 Rubrik Penilaian Aktivitas 1.2

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Keunggulan dan Tantangan Tipe Konstruksi PLTS	Mengidentifikasi keunggulan dan tantangan secara rinci dan komprehensif, dengan analisis yang mendalam untuk tipe konstruksi yang ditugaskan.	Mengidentifikasi sebagian besar keunggulan dan tantangan dengan analisis yang cukup jelas.	Mengidentifikasi beberapa keunggulan dan tantangan, tetapi penjelasannya kurang rinci atau tidak lengkap.	Gagal mengidentifikasi keunggulan dan tantangan secara jelas atau analisis yang diberikan tidak relevan.

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Aplikasi Industri Tipe Konstruksi PLTS	Membahas aplikasi industri dengan sangat jelas, mencakup sektor industri yang relevan dengan penjelasan rinci tentang efektivitasnya.	Membahas aplikasi industri dengan penjelasan yang cukup jelas, mencakup sebagian besar sektor yang relevan.	Membahas beberapa aplikasi industri, tetapi dengan penjelasan yang kurang relevan atau tidak rinci.	Gagal membahas aplikasi industri secara tepat atau penjelasan tidak relevan dengan tipe konstruksi.
Studi Kasus Proyek Nyata Tipe Konstruksi PLTS	Menyajikan contoh proyek nyata dengan analisis mendalam tentang keberhasilannya, serta kaitan yang kuat dengan tipe konstruksi yang dibahas.	Menyajikan contoh proyek nyata dengan analisis yang cukup jelas tentang keberhasilannya.	Menyajikan contoh proyek nyata, tetapi analisisnya kurang rinci atau kurang relevan.	Tidak menyajikan contoh proyek nyata atau analisis proyek tidak relevan atau tidak jelas.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

c. Rubrik Penilaian Aktivitas 1.3

Tabel 1.5 Rubrik Penilaian Aktivitas 1.3

Aspek Penilaian	Deskripsi	Skor
Identifikasi Daya Keluaran yang Dibutuhkan	Menyebutkan dengan jelas daya yang dibutuhkan (1.440 W) dan tegangan sistem (48 V).	4
Spesifikasi Panel Surya	Menyebutkan spesifikasi panel surya (24 V, 5 A) dan menghitung daya per panel (120 W) dengan benar.	4
Hitung Jumlah Panel yang Dibutuhkan	Menghitung jumlah panel yang diperlukan dengan benar (12 panel) dan menjelaskan proses perhitungannya.	4
Konfigurasi Tegangan Sistem	Menjelaskan dengan tepat kebutuhan untuk menghubungkan panel secara seri untuk mencapai 48 V.	4
Konfigurasi Arus Sistem	Menghitung kebutuhan arus total (30 A) dan menjelaskan perlunya menghubungkan 6 rangkaian seri secara paralel.	4

Aspek Penilaian	Deskripsi	Skor
Konfigurasi Akhir	Menyusun langkah-langkah untuk menghubungkan panel dengan jelas (6 rangkaian seri yang dihubungkan paralel).	4
Kejelasan dan Struktur	Menyajikan jawaban dengan jelas, terstruktur, dan mudah dipahami.	4

Untuk penilaian diskusi dan presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 10 dan Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

d. Rubrik Penilaian Aktivitas 1.4

Tabel 1.6 Rubrik Penilaian Aktivitas 1.4

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
1. Jenis Baterai	Memilih SCC yang sesuai dan menjelaskan kelebihan serta kekurangan untuk setiap jenis baterai.	Memilih SCC yang sesuai dengan sedikit penjelasan tentang kelebihan dan kekurangan.	Memilih SCC, tetapi penjelasannya tidak jelas atau kurang lengkap.	Tidak memilih SCC yang sesuai atau tidak menyebutkan jenis baterai.
2. Kapasitas SCC	Menghitung kapasitas SCC dengan akurat berdasarkan arus keluaran dan menjelaskan alasan pemilihannya.	Menghitung kapasitas SCC, tetapi penjelasan tentang alasan pemilihan kurang mendetail.	Menghitung kapasitas SCC, tetapi tidak mencocokkan dengan arus keluaran yang tepat.	Tidak menghitung kapasitas SCC atau tidak memahami konsep kapasitas.
3. Kebutuhan Tegangan dan Arus	Menyatakan kebutuhan sistem dan mencocokkannya dengan SCC secara detail.	Menyatakan kebutuhan sistem, tetapi kurang mencocokkan dengan SCC.	Menyebutkan kebutuhan sistem, tetapi tidak ada kesesuaian dengan SCC.	Tidak menyatakan kebutuhan sistem atau tidak ada kesesuaian dengan SCC.
4. Jenis SCC yang Direkomendasikan	Menjelaskan dengan baik alasan pemilihan jenis SCC dan keunggulannya dalam konteks sistem yang dirancang.	Menjelaskan alasan pemilihan jenis SCC, tetapi tidak mendetail.	Menyebutkan jenis SCC tanpa menjelaskan keunggulannya.	Tidak menyebutkan jenis SCC atau alasannya.

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
5. Lokasi Optimal untuk Pemasangan	Menyebutkan semua faktor yang perlu dipertimbangkan dan memberikan rekomendasi lokasi yang tepat.	Menyebutkan beberapa faktor, tetapi rekomendasi lokasinya kurang jelas.	Menyebutkan faktor-faktor, tetapi tanpa rekomendasi lokasi yang jelas.	Tidak menyebutkan faktor yang perlu dipertimbangkan atau tidak memberikan rekomendasi lokasi.
6. Diagram Instalasi	Diagram sangat jelas, lengkap, dan mencakup semua komponen dengan alur energi yang jelas.	Diagram jelas, tetapi ada beberapa komponen yang kurang lengkap atau tidak jelas.	Diagram ada, tetapi tidak menggambarkan alur energi dengan baik.	Tidak ada diagram atau diagram sangat tidak jelas dan tidak lengkap.

Untuk penilaian diskusi dan presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 10 dan Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

e. Rubrik Penilaian Aktivitas 1.5

Tabel 1.7 Rubrik Penilaian Aktivitas 1.5

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Menentukan Jenis Inverter	Memilih inverter MPPT dengan kapasitas yang sesuai dan efisiensi di atas 90%.	Memilih inverter MPPT, tetapi kapasitas atau efisiensi kurang tepat.	Memilih inverter, tetapi jenis atau kapasitasnya tidak sesuai.	Tidak memilih inverter atau memilih inverter yang salah.
Pertimbangan Kapasitas	Menghitung kapasitas inverter dengan benar berdasarkan total arus keluaran panel surya.	Menghitung kapasitas inverter, tetapi ada kesalahan kecil.	Menghitung kapasitas inverter, tetapi tidak akurat atau tidak menjelaskan.	Tidak melakukan perhitungan kapasitas inverter.
Pertimbangan Jenis Arus Listrik	Menjelaskan dengan jelas perbedaan antara DC dan AC serta fungsi inverter dalam konversi.	Menjelaskan DC dan AC, tetapi penjelasannya kurang mendalam.	Menyebutkan DC dan AC, tetapi tidak menjelaskan fungsinya.	Tidak menyebutkan atau menjelaskan DC dan AC.

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Pertimbangan Lokasi Pemasangan	Menentukan lokasi yang optimal dengan mempertimbangkan keamanan, ventilasi, dan aksesibilitas.	Menentukan lokasi, tetapi kurang memperhatikan salah satu faktor.	Menentukan lokasi, tetapi memperhatikan faktor secara umum.	Tidak menentukan lokasi atau lokasi yang salah.
Rancangan Diagram Instalasi	Membuat diagram yang jelas dan lengkap, mencakup semua komponen dengan alur energi yang benar.	Membuat diagram dengan sebagian besar komponen, tetapi kurang jelas.	Diagram ada, tetapi tidak lengkap atau alur energinya tidak jelas.	Tidak membuat diagram atau diagram sangat tidak jelas.
Penjelasan Diagram	Memberikan penjelasan yang jelas dan logis tentang alur energi dan hubungan antar-komponen.	Memberikan penjelasan yang baik, tetapi ada beberapa kekurangan.	Memberikan penjelasan yang kurang jelas atau tidak lengkap.	Tidak memberikan penjelasan atau penjelasan sangat buruk.

Untuk penilaian diskusi dan presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 10 dan Tabel 11 di bagian Panduan Umum

f. Rubrik Penilaian Aktivitas 1.6

Tabel 1.8 Rubrik Penilaian Aktivitas 1.6

Aspek Penilaian	Deskripsi	Skor
Perhitungan Jumlah Baterai yang Diperlukan	Menghitung total energi yang dibutuhkan (2.400 Wh) dan kapasitas baterai (200 Ah, 12 V) dengan benar.	4
Perhitungan Energi per Baterai	Menghitung energi yang dapat disimpan oleh satu baterai (2.400 Wh) dan menjelaskan proses perhitungan dengan tepat.	4
Konfigurasi Seri	Menyebutkan jumlah baterai yang dibutuhkan dalam konfigurasi seri (2 baterai) untuk mencapai tegangan 24 V dengan benar.	4

Aspek Penilaian	Deskripsi	Skor
Perhitungan Total Energi yang Dihasilkan	Menghitung dan menjelaskan total energi yang dihasilkan dari konfigurasi seri (4.800 Wh) dengan jelas.	4
Konfigurasi Paralel	Menjelaskan dengan baik jumlah baterai yang diperlukan dalam konfigurasi paralel (4 baterai) untuk memenuhi kapasitas penyimpanan.	4
Diagram Rangkaian	Menyajikan diagram yang jelas dan akurat untuk konfigurasi seri dan paralel.	4
Penjelasan Kinerja dan Kelebihan/Kekurangan	Memberikan analisis yang mendalam mengenai kinerja, kelebihan, dan kekurangan dari konfigurasi seri dan paralel.	4
Dampak pada Kinerja Sistem PLTS	Menjelaskan dengan jelas dampak konfigurasi pada efisiensi dan daya tahan sistem PLTS.	4
Kejelasan dan Struktur Jawaban	Menyajikan jawaban dengan jelas, terstruktur, dan mudah dipahami.	4

g. Rubrik Penilaian Aktivitas 1.7

Tabel 1.9 Rubrik Penilaian Aktivitas 1.7

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Jumlah Fuse/ Pemutus Sirkuit yang Diperlukan	Ke-6 <i>string</i> dilindungi oleh <i>fuse</i> yang sesuai dengan kebutuhan arus setiap <i>string</i> . Proteksi terpasang sempurna.	Sebagian besar <i>string</i> dilindungi dengan <i>fuse</i> yang tepat, tetapi ada satu atau dua kesalahan dalam jumlah proteksi.	Beberapa <i>string</i> tidak dilindungi atau ada kesalahan dalam jumlah <i>fuse</i> yang dipasang.	Banyak <i>string</i> tidak memiliki proteksi <i>fuse</i> yang tepat atau proteksi tidak dipasang dengan benar.
Jenis dan Rating Fuse	<i>Fuse</i> cepat (<i>fast-acting fuse</i>) atau pemutus sirkuit otomatis dengan rating 10 A diterapkan dengan tepat untuk semua <i>string</i> .	<i>Fuse</i> dipasang dengan tepat di sebagian besar <i>string</i> , tetapi ada kekurangan dalam beberapa rating <i>fuse</i> .	Beberapa <i>fuse</i> memiliki rating yang kurang sesuai dengan arus <i>string</i> , atau tipe <i>fuse</i> yang dipilih tidak ideal.	Banyak <i>fuse</i> memiliki rating yang salah atau jenis <i>fuse</i> yang dipilih tidak cocok untuk aplikasi tersebut.

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Desain Pengumpulan Kabel	Kabel dari setiap <i>string</i> tertata dengan sangat rapi, tidak bersentuhan, dan sesuai dengan spesifikasi arus dan tegangan. Pengaturan sangat bersih dan aman.	Pengaturan kabel cukup baik, tetapi ada beberapa bagian yang kurang rapi atau tidak sesuai dengan standar.	Kabel beberapa <i>string</i> tidak tertata dengan baik, berpotensi menyebabkan masalah keamanan.	Kabel dari <i>string</i> tertata dengan buruk, banyak bagian yang bersentuhan atau tidak sesuai dengan standar keamanan.
Pengaturan dan Proteksi Kabel	Kabel dilindungi dengan selubung yang sesuai untuk tahan cuaca, dengan pengikat kabel yang rapi sehingga instalasi sangat aman.	Sebagian besar kabel terlindungi dan diatur dengan baik, tetapi ada sedikit kekurangan dalam pengaturan atau proteksi.	Proteksi beberapa kabel kurang memadai, dan pengaturannya tidak rapi.	Banyak kabel tidak dilindungi dengan baik, tidak terikat dengan benar, atau tidak aman dari faktor cuaca.
Diagram Sistem Combiner Box	Diagram sangat jelas dan lengkap, menunjukkan konfigurasi <i>fuse</i> , <i>combiner box</i> , dan alur energi dengan sempurna dari modul surya ke inverter.	Diagram cukup jelas dan sebagian besar konfigurasi <i>fuse</i> dan alur energi terlihat, meskipun ada beberapa kekurangan.	Diagram menunjukkan alur energi, tetapi kurang lengkap dalam detail konfigurasi <i>fuse</i> atau <i>combiner box</i> .	Diagram sangat tidak jelas, tidak menggambarkan alur energi atau konfigurasi komponen dengan benar.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

h. Rubrik Penilaian Aktivitas 1.8

Tabel 1.10 Rubrik Penilaian Aktivitas 1.8

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Jumlah Fuse/ Pemutus Sirkuit	Semua <i>string</i> modul surya (6) dan jalur beban (3) dilindungi oleh <i>fuse</i> yang tepat dan sesuai dengan arus setiap beban.	Sebagian besar <i>string</i> dan jalur beban memiliki proteksi yang tepat, tetapi ada sedikit kekurangan dalam pemasangan <i>fuse</i> .	Beberapa <i>string</i> atau jalur beban tidak dilindungi dengan <i>fuse</i> yang sesuai atau ada kesalahan dalam pemilihan <i>fuse</i> .	Banyak <i>string</i> dan jalur beban tidak dilindungi oleh <i>fuse</i> atau pemutus sirkuit yang sesuai.

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Proteksi untuk Setiap String Modul Surya	Ke-6 <i>string</i> dilindungi oleh <i>fuse</i> 10 A yang sesuai, proteksi diterapkan dengan sangat baik.	Sebagian besar <i>string</i> dilindungi dengan baik, tetapi ada sedikit kekurangan dalam proteksi atau pemasangan <i>fuse</i> .	Proteksi beberapa <i>string</i> kurang tepat atau tidak memadai.	Proteksi untuk <i>string</i> modul surya sangat kurang atau tidak memadai.
Proteksi untuk Setiap Jalur Beban DC	Tiga jalur beban (pencahayaannya, ventilasi, peralatan lainnya) dilindungi oleh <i>fuse</i> dengan rating yang sesuai.	Sebagian besar jalur beban memiliki proteksi <i>fuse</i> yang sesuai, meskipun ada sedikit kekurangan.	Beberapa jalur beban tidak dilindungi dengan <i>fuse</i> yang tepat atau ada kesalahan dalam pemilihan <i>rating</i> .	Banyak jalur beban tidak dilindungi dengan baik atau proteksi yang diberikan tidak tepat.
Desain Distribusi DC	Desain distribusi sangat baik dengan alur distribusi energi yang efisien dari modul surya ke panel distribusi hingga ke beban.	Desain distribusi cukup baik, tetapi ada beberapa kekurangan kecil dalam koneksi atau proteksi.	Desain distribusi kurang optimal, beberapa koneksi atau proteksi tidak dilakukan dengan benar.	Desain distribusi tidak efisien, banyak kesalahan dalam koneksi dan proteksi.
Koneksi Kabel	Semua kabel dari 6 <i>string</i> modul surya terhubung dengan rapi dan aman ke <i>combiner box</i> , serta dilengkapi <i>fuse</i> yang sesuai.	Sebagian besar kabel terhubung dengan baik, meskipun ada sedikit kekurangan dalam pengaturan atau proteksi.	Beberapa kabel tidak terhubung dengan baik atau proteksi <i>fuse</i> tidak memadai.	Koneksi kabel sangat tidak memadai, banyak kesalahan dalam pemasangan dan proteksi.
Diagram Manual Panel Distribusi DC	Diagram jelas dan lengkap, menunjukkan alur distribusi energi dari <i>string</i> modul surya ke beban dengan komponen dan koneksi yang tepat.	Diagram cukup jelas, tetapi ada sedikit kekurangan dalam penyajian komponen atau alur distribusi.	Diagram kurang lengkap dan beberapa komponen atau koneksi tidak terwakili dengan baik.	Diagram sangat tidak jelas atau tidak mencerminkan alur distribusi dengan benar.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

i. Rubrik Penilaian Aktivitas 1.9

Tabel 1.11 Rubrik Penilaian Aktivitas 1.9

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Pemilihan Komponen Utama	Semua komponen utama (inverter 5 kW, panel distribusi, MCB, dan SPD) dipilih dengan tepat sesuai standar.	Sebagian besar komponen dipilih dengan baik, tetapi ada satu komponen yang kurang tepat.	Beberapa komponen dipilih dengan tidak tepat, yang dapat memengaruhi kinerja sistem.	Banyak komponen utama tidak sesuai atau tidak ada, mengancam keamanan dan fungsi sistem.
Koneksi dari Inverter ke Panel Distribusi	Koneksi kabel dari inverter ke panel distribusi telah dirancang dengan baik, sesuai dengan kapasitas arus 21,7 A dan menggunakan MCB 30 A.	Koneksi kabel cukup baik, tetapi terdapat sedikit kesalahan dalam penentuan kapasitas atau MCB.	Koneksi kabel tidak sepenuhnya sesuai, ada potensi masalah pada arus yang dialirkan.	Koneksi kabel tidak sesuai atau tidak ada, berpotensi menyebabkan kerusakan pada sistem.
Proteksi Lonjakan Tegangan (SPD)	SPD terpasang dengan benar dan efektif, memberikan perlindungan maksimal terhadap lonjakan tegangan.	SPD terpasang, tetapi terdapat kekurangan kecil dalam pemilihan atau penempatan.	SPD terpasang, tetapi tidak sepenuhnya efektif atau ada kesalahan dalam konfigurasi.	SPD tidak terpasang atau terpasang dengan sangat buruk, mengancam keamanan sistem.
Distribusi Energi ke Jalur Beban	Setiap jalur beban dilengkapi dengan pemutus sirkuit sesuai rating yang tepat (lampu 10 A, AC 16 A, dapur 20 A).	Sebagian besar jalur beban dilengkapi dengan pemutus sirkuit yang sesuai, tetapi ada beberapa kesalahan.	Beberapa jalur beban tidak dilengkapi dengan pemutus sirkuit yang tepat, berpotensi berbahaya.	Banyak jalur beban tidak dilengkapi dengan pemutus sirkuit atau pemutus sirkuit tidak sesuai.
Pengaturan Koneksi Kabel	Koneksi kabel tertata rapi, sesuai dengan kapasitas arus, menggunakan ukuran kabel yang tepat untuk setiap jalur.	Koneksi kabel cukup baik, tetapi ada beberapa ketidakteraturan kecil dalam penataan atau pemilihan ukuran kabel.	Koneksi kabel tidak tertata rapi dan ukuran kabel tidak selalu sesuai, berpotensi masalah.	Koneksi kabel sangat tidak rapi, dan ukuran kabel tidak sesuai, berisiko terhadap keselamatan.

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Diagram Manual Panel Distribusi AC	Diagram sangat jelas dan lengkap, menggambarkan semua koneksi dan komponen secara akurat.	Diagram cukup jelas, tetapi ada beberapa bagian yang kurang detail atau tidak lengkap.	Diagram ada, tetapi tidak sepenuhnya jelas atau detail, menyulitkan pemahaman.	Diagram tidak ada atau sangat tidak jelas, tidak menggambarkan alur energi dengan benar.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

j. Rubrik Penilaian Aktivitas 1.10

Tabel 1.12 Rubrik Penilaian Aktivitas 1.10

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Fungsi dan Koneksi Dasar	Semua fungsi dan koneksi dasar komponen (panel surya, inverter, Solar Charge Controller, baterai, dan panel distribusi) dijelaskan dengan baik dan lengkap.	Sebagian besar fungsi dan koneksi dijelaskan dengan baik, tetapi ada beberapa detail yang kurang.	Fungsi dan koneksi dasar tidak dijelaskan dengan baik, menyulitkan pemahaman.	Fungsi dan koneksi dasar tidak ada atau sangat tidak jelas, mengancam pemahaman sistem.
Spesifikasi Dasar	Spesifikasi sistem (jumlah panel, kapasitas baterai, jenis inverter) ditentukan secara tepat dan relevan.	Spesifikasi sistem ditentukan, tetapi ada beberapa kesalahan kecil dalam pemilihan atau penjelasan.	Spesifikasi dasar ada, tetapi tidak sesuai dengan kebutuhan sistem secara keseluruhan.	Spesifikasi dasar tidak ada atau tidak relevan dengan desain sistem yang diusulkan.
Rencana Koneksi Komponen	Alur energi antara komponen dijelaskan dengan jelas dan logis, mencakup semua koneksi yang diperlukan.	Alur energi dijelaskan cukup baik, tetapi ada beberapa koneksi yang tidak lengkap atau kurang jelas.	Rencana koneksi ada, tetapi tidak menjelaskan semua alur energi secara jelas.	Rencana koneksi tidak ada atau sangat tidak jelas, berpotensi mengganggu fungsi sistem.

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Gambar Wiring Diagram	Wiring diagram sangat jelas, akurat, dan mencakup semua jalur koneksi serta komponen dengan label yang tepat.	Wiring diagram ada, tetapi kurang jelas atau beberapa bagian tidak dilabeli dengan baik.	Wiring diagram ada, tetapi tidak jelas atau detail, menyulitkan pemahaman alur energi.	Wiring diagram tidak ada atau sangat tidak jelas, tidak menggambarkan alur energi dengan benar.
Penjelasan Wiring Diagram	Penjelasan alur energi dan fungsi setiap komponen dalam wiring diagram sangat mendetail dan mudah dipahami.	Penjelasan cukup baik, tetapi ada beberapa bagian yang kurang detail atau membingungkan.	Penjelasan ada, tetapi tidak sepenuhnya jelas atau detail, menyulitkan pemahaman.	Penjelasan tidak ada atau sangat tidak jelas, tidak memberikan konteks untuk wiring diagram.
Susunan Laporan Tertulis	Laporan tertulis sangat terstruktur, mencakup semua bagian (judul, pendahuluan, deskripsi komponen, spesifikasi, diagram, penjelasan, kesimpulan) dengan baik.	Laporan cukup baik, tetapi ada beberapa bagian yang kurang terstruktur atau tidak lengkap.	Laporan ada, tetapi tidak terstruktur dengan baik dan beberapa bagian penting hilang.	Laporan ada, tetapi sangat tidak terstruktur.

k. Rubrik Penilaian Aktivitas 1.11

Tabel 1.13 Rubrik Penilaian Aktivitas 1.11

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Survey Lokasi	Mengidentifikasi lebih dari 3 lokasi potensial dengan deskripsi detail mengenai ketersediaan sinar matahari, bayangan, dan orientasi.	Mengidentifikasi 2-3 lokasi potensial dengan deskripsi yang cukup baik tentang sinar matahari, bayangan, dan orientasi.	Mengidentifikasi 1-2 lokasi potensial dengan deskripsi yang minimal tentang sinar matahari dan faktor lainnya.	Tidak mengidentifikasi lokasi potensial atau deskripsi lokasi sangat kurang atau tidak jelas.

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Penilaian Akses Sinar Matahari	Analisis yang sangat jelas tentang durasi akses sinar matahari di setiap lokasi tanpa terhalang bayangan.	Analisis cukup baik dengan durasi akses sinar matahari di beberapa lokasi, meskipun ada beberapa kekurangan.	Analisis durasi sinar matahari kurang mendetail atau ada lokasi yang tidak dinilai dengan baik.	Tidak ada analisis atau penilaian durasi akses sinar matahari yang valid di lokasi yang diidentifikasi.
Orientasi Permukaan	Semua lokasi yang diidentifikasi memiliki orientasi optimal (utara/selatan) dan dijelaskan dengan rinci.	Sebagian besar lokasi memiliki orientasi yang optimal, dengan penjelasan yang cukup baik.	Orientasi permukaan tidak dijelaskan dengan baik atau ada beberapa lokasi dengan orientasi yang kurang sesuai.	Tidak ada penjelasan tentang orientasi permukaan atau semua lokasi memiliki orientasi yang tidak sesuai.
Kemiringan Permukaan	Penilaian kemiringan sangat tepat dengan rincian kemiringan permukaan dan pengaruhnya terhadap penyerapan sinar matahari.	Penilaian kemiringan permukaan dilakukan dengan cukup baik meskipun beberapa detail kurang diperhatikan.	Penilaian kemiringan permukaan kurang akurat atau hanya sedikit dijelaskan.	Tidak ada penilaian kemiringan permukaan atau sangat tidak jelas.
Laporan Tertulis dan Rekomendasi	Laporan sangat terstruktur, mencakup semua lokasi, faktor lingkungan, dan memberikan rekomendasi yang mendalam untuk optimasi lebih lanjut.	Laporan terstruktur dengan baik, mencakup sebagian besar lokasi, faktor lingkungan, dan memberikan rekomendasi yang cukup baik.	Laporan kurang terstruktur, hanya mencakup beberapa lokasi dan rekomendasi yang terbatas.	Laporan tidak ada atau sangat tidak terstruktur, tidak memberikan rekomendasi yang jelas.
Alasan Pemilihan Lokasi Terbaik	Alasan pemilihan lokasi terbaik dijelaskan dengan sangat logis, berdasarkan faktor-faktor lingkungan yang terukur.	Alasan pemilihan lokasi cukup baik, dengan penjelasan yang masuk akal, meskipun beberapa aspek tidak terlalu jelas.	Alasan pemilihan lokasi terbaik kurang meyakinkan atau tidak dijelaskan dengan mendetail.	Tidak ada alasan yang diberikan untuk pemilihan lokasi terbaik atau penjelasannya sangat lemah.

I. Rubrik Penilaian Aktivitas 1.12

Tabel 1.14 Rubrik Penilaian Aktivitas 1.12

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Perhitungan Konsumsi Energi Harian	Semua perangkat listrik diidentifikasi dengan tepat dan perhitungan energi harian akurat, termasuk asumsi dan waktu penggunaan.	Sebagian besar perangkat diidentifikasi dengan tepat dan perhitungan energi harian cukup akurat, meski ada beberapa kesalahan kecil.	Perangkat diidentifikasi, tetapi beberapa data kurang tepat atau perhitungan tidak akurat.	Identifikasi perangkat dan perhitungan energi tidak lengkap atau salah secara signifikan.
Perencanaan Modul Surya	Jumlah modul surya dihitung secara akurat berdasarkan radiasi matahari dan kebutuhan energi harian dengan pertimbangan optimal.	Perhitungan jumlah modul cukup baik, tetapi mungkin ada asumsi yang kurang tepat terkait radiasi matahari atau kebutuhan energi.	Jumlah modul dihitung, tetapi terdapat kesalahan dalam asumsi radiasi matahari atau kebutuhan energi.	Perhitungan jumlah modul tidak akurat atau asumsi radiasi matahari tidak diperhitungkan.
Perencanaan Kapasitas Baterai	Kapasitas baterai dihitung dengan tepat, termasuk faktor efisiensi, cadangan energi, dan kebutuhan total energi harian.	Kapasitas baterai dihitung dengan baik, meskipun ada sedikit ketidaktepatan dalam perhitungan efisiensi atau cadangan energi.	Kapasitas baterai dihitung, tetapi kurang memperhitungkan efisiensi atau cadangan energi dengan benar.	Perhitungan kapasitas baterai tidak akurat atau tidak mempertimbangkan efisiensi dan cadangan energi.
Estimasi Biaya dan Perencanaan Anggaran	Estimasi biaya sangat rinci dan akurat, mencakup semua komponen utama (modul surya, baterai, inverter, instalasi) dengan perkiraan harga yang realistis.	Estimasi biaya mencakup komponen utama, tetapi ada sedikit ketidakakuratan dalam rincian biaya atau perkiraan harga.	Estimasi biaya ada, tetapi tidak lengkap atau tidak sepenuhnya realistis dalam memperkirakan harga.	Estimasi biaya tidak akurat, banyak komponen yang terlewat, atau harga tidak realistis.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

m. Rubrik Penilaian Aktivitas 1.13

Tabel 1.15 Rubrik Penilaian Aktivitas 1.13

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Survei Area Atap	Survei dilakukan secara menyeluruh dengan analisis yang baik mengenai kekuatan struktur atap, sudut kemiringan, dan arah sinar matahari.	Survei dilakukan, tetapi ada beberapa aspek yang kurang diperhatikan atau analisis tidak mendalam.	Survei dilakukan, tetapi kurang teliti, banyak aspek yang diabaikan, dan analisis tidak memadai.	Survei tidak dilakukan, atau sangat terbatas, dengan pemahaman yang buruk mengenai area atap.
Perancangan Struktur Dudukan	Rencana struktur dudukan sangat detail, mencakup material, desain, teknik pemasangan, dan disajikan dalam sketsa atau diagram yang jelas.	Rencana baik, tetapi ada beberapa detail yang kurang, dan sketsa atau diagram tidak sepenuhnya jelas.	Rencana kurang terstruktur, banyak aspek yang terlewat, dan sketsa atau diagram tidak jelas.	Rencana tidak ada atau sangat tidak memadai, tidak mencakup aspek penting dari perancangan struktur dudukan.
Laporan Kelompok	Laporan sangat terstruktur, mencakup semua aspek perencanaan dan mudah dipahami.	Laporan baik, tetapi ada beberapa detail yang kurang dan tidak sepenuhnya terstruktur.	Laporan kurang terstruktur dan detail, banyak aspek yang terlewat, dan sulit dipahami.	Laporan tidak ada atau sangat tidak memadai, tidak mencakup proses perencanaan dengan baik.

Untuk penilaian praktik, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 12 di bagian Panduan Umum.

n. Rubrik Penilaian Aktivitas 1.14

Tabel 1.16 Rubrik Penilaian Aktivitas 1.14

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Penentuan Lokasi	Lokasi dipilih dengan sangat baik, mempertimbang	Lokasi dipilih dengan baik, tetapi beberapa faktor penting	Lokasi dipilih dengan kurang tepat, banyak faktor yang	Lokasi tidak ditentukan dengan baik atau tidak relevan,

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
	kan semua faktor penting seperti akses sinar matahari, topografi, dan gangguan.	tidak diperhitungkan sepenuhnya.	diabaikan, dan analisis tidak mendalam.	dengan pemahaman yang sangat terbatas tentang faktor yang perlu dipertimbangkan.
Rancangan Struktur Dudukan	Rancangan struktur dudukan sangat detail dan inovatif, mencakup semua aspek seperti material, desain, dan teknik pemasangan.	Rancangan baik, tetapi ada beberapa detail yang kurang dan belum sepenuhnya memikirkan aspek keselamatan.	Rancangan kurang terstruktur, beberapa aspek penting diabaikan, dan sketsa atau diagram tidak jelas.	Rancangan tidak ada atau sangat tidak memadai, dengan pemahaman yang buruk mengenai desain dan teknik pemasangan.

Untuk penilaian praktik, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 12 di bagian Panduan Umum.

o. Rubrik Penilaian Aktivitas 1.15

Tabel 1.17 Rubrik Penilaian Aktivitas 1.15

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Perencanaan Pemasangan	Perencanaan pemasangan PJUTS sangat baik, termasuk detail lokasi dan kebutuhan penerangan yang tepat.	Perencanaan pemasangan baik, meskipun ada beberapa detail yang kurang diperhatikan.	Perencanaan kurang jelas, dengan beberapa detail yang terlewat atau kurang relevan.	Perencanaan sangat buruk dan tidak sesuai dengan kebutuhan penerangan di area yang ditentukan.
Survei Lokasi dan Penentuan Posisi	Survei dilakukan dengan teliti, memperhatikan semua faktor relevan seperti jarak antar-tiang, akses sinar matahari, dan lingkungan.	Survei dilakukan dengan baik, tetapi ada beberapa faktor yang kurang diperhatikan.	Survei kurang menyeluruh, dengan banyak faktor penting yang terabaikan.	Survei tidak dilakukan dengan benar atau tidak mencakup faktor-faktor yang relevan.

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Penyusunan Rencana Pemasangan	Penyusunan rencanasangat jelas dan komprehensif, mencakup semua elemen penting seperti posisi tiang, jenis modul, dan orientasi panel.	Penyusunan rencanabaik, tetapi ada beberapa elemen yang kurang jelas atau tidak lengkap.	Penyusunan rencanakurang terstruktur, dengan beberapa elemen yang hilang atau tidak jelas.	Penyusunan rencanasangat buruk dan tidak memenuhi kebutuhan untuk pemasangan PJUTS.

Untuk penilaian praktik, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 12 di bagian panduan umum.

p. Rubrik Penilaian Aktivitas 1.16

Tabel 1.18 Rubrik Penilaian Aktivitas 1.16

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Perencanaan Kelompok	Rencana instalasi sangat detail, mencakup semua aspek, dan peran anggota ditetapkan secara efektif.	Rencana instalasi baik, mencakup sebagian besar aspek, namun ada beberapa hal yang kurang diperhatikan.	Rencana instalasi kurang detail dan tidak mencakup semua aspek, sehingga banyak yang terlewat.	Rencana instalasi sangat minim atau tidak ada, dengan tidak adanya pembagian peran anggota.
Pelaksanaan Pemasangan	Pemasangan dilakukan dengan sangat hati-hati, aman, dan sesuai standar, dengan semua langkah terlaksana dengan baik.	Pemasangan dilakukan dengan baik, meskipun ada beberapa langkah yang tidak dilakukan dengan cermat atau sesuai standar.	Pemasangan kurang hati-hati dan beberapa langkah tidak sesuai standar, menyebabkan risiko keselamatan.	Pemasangan sangat minim atau tidak dilakukan sesuai standar, dengan banyak kesalahan fatal yang dapat membahayakan.
Pengujian Sistem	Pengujian dilakukan secara menyeluruh dan sistematis, semua komponen diperiksa, dan hasilnya sesuai harapan.	Pengujian dilakukan baik, tetapi ada beberapa komponen yang kurang diperiksa secara detail.	Pengujian sistem kurang menyeluruh, dengan beberapa komponen yang tidak diperiksa, mengakibatkan hasil yang tidak optimal.	Pengujian sistem sangat minim atau tidak dilakukan sama sekali, dengan hasil yang tidak sesuai harapan.

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Penyusunan Laporan	Laporan disusun dengan sangat jelas dan lengkap, mencakup semua aspek pemasangan, hasil pengujian, dan refleksi mendalam.	Laporan baik, tetapi ada beberapa bagian yang kurang jelas atau tidak lengkap, refleksi tidak mendalam.	Laporan kurang terstruktur dan tidak mencakup semua aspek yang relevan, refleksi sangat minimal.	Laporan tidak ada atau sangat buruk, tanpa refleksi tentang proses dan hasil pengujian.

Untuk penilaian diskusi dan presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 10 dan 11 di bagian Panduan Umum.

q. Rubrik Penilaian Aktivitas 1.17

Tabel 1.19 Rubrik Penilaian Aktivitas 1.17

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Perencanaan Skema Instalasi	Rencana instalasi sangat detail dan komprehensif, mencakup semua aspek teknis dan peran anggota ditetapkan secara efektif.	Rencana instalasi baik, mencakup sebagian besar aspek, tetapi ada beberapa detail yang kurang diperhatikan.	Rencana instalasi kurang detail dan tidak mencakup semua aspek penting, dengan peran anggota yang tidak jelas.	Rencana instalasi sangat minim atau tidak ada, tanpa adanya pembagian peran anggota yang jelas.
Pelaksanaan Pemasangan	Pemasangan dilakukan dengan sangat hati-hati, aman, dan sesuai standar, semua langkah terlaksana dengan baik.	Pemasangan dilakukan dengan baik, meskipun ada beberapa langkah yang tidak dilakukan dengan cermat atau sesuai standar.	Pemasangan kurang hati-hati dan beberapa langkah tidak sesuai standar, sehingga meningkatkan risiko keselamatan.	Pemasangan sangat minim atau tidak dilakukan sesuai standar, dengan banyak kesalahan yang dapat membahayakan.
Pengujian Sistem	Pengujian dilakukan secara menyeluruh, semua komponen diperiksa dengan hasil sesuai harapan dan keamanan sistem terjamin.	Pengujian dilakukan dengan baik, tetapi ada beberapa komponen yang kurang diperiksa secara detail atau hasilnya tidak optimal.	Pengujian sistem kurang menyeluruh, dengan beberapa komponen yang tidak diperiksa, mengakibatkan hasil yang tidak optimal.	Pengujian sistem sangat minim atau tidak dilakukan sama sekali, dengan hasil yang tidak sesuai harapan.

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Penyusunan Laporan	Laporan disusun dengan sangat jelas dan lengkap, mencakup semua aspek pemasangan, hasil pengujian, dan refleksi mendalam.	Laporan baik, tetapi ada beberapa bagian yang kurang jelas atau tidak lengkap, refleksi tidak mendalam.	Laporan kurang terstruktur dan tidak mencakup semua aspek yang relevan, refleksi sangat minimal.	Laporan tidak ada atau sangat buruk, tanpa refleksi tentang proses dan hasil pengujian.

Untuk penilaian diskusi dan presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 110 dan 11 di bagian Panduan Umum.

r. Rubrik Penilaian Aktivitas 1.18

Tabel 1.20 Rubrik Penilaian Aktivitas 1.18

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Perencanaan Skema Instalasi	Rencana instalasi sangat detail dan komprehensif, mencakup semua aspek instalasi dan pembagian peran yang tepat.	Rencana instalasi baik, tetapi ada beberapa detail kurang diperhatikan. Pembagian peran cukup terlihat.	Rencana instalasi kurang jelas dan tidak mencakup semua aspek penting, pembagian peran tidak efektif.	Rencana instalasi sangat minim atau pembagian peran yang dilakukan.
Pelaksanaan Pemasangan	Pemasangan dilakukan dengan sangat cermat dan aman, semua anggota aktif berkontribusi dan saling membantu.	Pemasangan cukup baik, semua anggota berkontribusi meskipun ada beberapa langkah yang kurang hati-hati.	Pemasangan dilakukan, tetapi terdapat beberapa kesalahan dan kurang kolaborasi antar-anggota.	Pemasangan tidak dilakukan dengan baik, banyak kesalahan, dan kurang kerja sama antar-anggota.
Pengujian Sistem	Uji coba dilakukan dengan sangat baik, semua fungsi sistem diperiksa dan dicatat dengan rinci, termasuk evaluasi keamanan dan efisiensi.	Uji coba dilakukan dengan baik, sebagian besar fungsi diperiksa, tetapi ada yang terlewat.	Uji coba dilakukan, tetapi tidak menyeluruh, beberapa fungsi tidak diperiksa.	Tidak ada pengujian yang dilakukan atau pengujian tidak mencakup aspek penting dari sistem.

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Penyusunan Laporan	Laporan lengkap dan terperinci, mencakup semua proses, hasil pengujian, dan refleksi mendalam tentang kerja sama tim serta nilai gotong royong.	Laporan baik, mencakup sebagian besar proses dan hasil, refleksi ada tetapi kurang mendalam.	Laporan ada, tetapi tidak lengkap, banyak detail yang terlewat, dan refleksi tidak jelas.	Laporan tidak ada atau sangat minim, tidak mencakup proses, hasil, atau refleksi sama sekali.

Untuk penilaian diskusi dan presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 10 dan 11 di bagian Panduan Umum.

2. Rubrik Penilaian Uji Kompetensi

a. Rubrik Penilaian Uji Kompetensi No. 1

Tabel 1.21 Rubrik Penilaian: Prinsip Kerja Sel Surya

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Pemahaman Konsep	Menjelaskan prinsip kerja sel surya dengan sangat detail dan akurat.	Menjelaskan prinsip kerja sel surya dengan baik, meskipun ada beberapa detail yang kurang.	Menjelaskan prinsip kerja sel surya dengan pemahaman dasar, tetapi ada beberapa kesalahan konsep.	Gagal menjelaskan prinsip kerja sel surya atau menunjukkan banyak kesalahan konsep.
Analisis	Mampu menganalisis masalah terkait dengan penggunaan sel surya secara mendalam dan tepat.	Mampu menganalisis masalah, tetapi ada sedikit kesalahan atau kekurangan dalam analisis.	Analisis dilakukan secara terbatas dengan beberapa kesalahan signifikan.	Tidak mampu melakukan analisis yang memadai.
Penerapan Solusi	Mengusulkan solusi yang inovatif dan berdasarkan pemahaman yang mendalam tentang teknologi sel surya.	Mengusulkan solusi yang tepat, tetapi kurang inovatif atau kurang didasarkan pada pemahaman mendalam.	Mengusulkan solusi yang sebagian tepat, tetapi kurang efektif.	Solusi yang diusulkan tidak tepat atau tidak relevan.

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Penjelasan Teknis	Menyajikan penjelasan teknis yang jelas, logis, dan lengkap.	Menyajikan penjelasan teknis yang cukup jelas, tetapi ada beberapa bagian yang tidak lengkap.	Penjelasan teknis disajikan, tetapi dengan beberapa kekurangan dalam kejelasan atau logika.	Penjelasan teknis tidak jelas atau logis.

b. Rubrik Penilaian Uji Kompetensi No. 2

Tabel 1.22 Rubrik Penilaian: Inverter

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Pemahaman Konsep	Memahami fungsi dan prinsip kerja inverter dengan sangat baik.	Memahami fungsi dan prinsip kerja inverter dengan baik, tetapi ada beberapa kekurangan kecil.	Memahami dasar fungsi inverter, tetapi ada beberapa kesalahan konsep.	Memiliki pemahaman yang sangat terbatas atau salah tentang inverter.
Analisis	Mampu menganalisis masalah inverter secara mendalam dan mengidentifikasi penyebab masalah dengan tepat.	Mampu menganalisis masalah, tetapi ada beberapa kekurangan dalam identifikasi penyebab masalah.	Analisis masalah dilakukan dengan beberapa kesalahan atau tidak mendalam.	Tidak mampu menganalisis masalah inverter secara tepat.
Penerapan Solusi	Solusi yang diusulkan sangat efektif dan didasarkan pada analisis mendalam tentang inverter.	Solusi yang diusulkan cukup efektif, meskipun tidak sepenuhnya mendalam.	Solusi yang diusulkan sebagian tepat, tetapi kurang efektif atau tidak relevan.	Solusi yang diusulkan tidak efektif atau tidak relevan.
Penjelasan Teknis	Penjelasan teknis sangat jelas, logis, dan mencakup semua aspek penting.	Penjelasan teknis cukup jelas, tetapi ada beberapa aspek yang kurang dijelaskan.	Penjelasan teknis disajikan dengan beberapa kesalahan atau kekurangan dalam logika.	Penjelasan teknis tidak jelas, tidak logis, atau tidak lengkap.

c. Rubrik Penilaian Uji Kompetensi No. 3

Tabel 1.23 Rubrik Penilaian: Konsep Perencanaan Lokasi Pemasangan PLTS

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Pemahaman Konsep	Memahami dengan mendalam konsep perencanaan lokasi pemasangan PLTS dan faktor-faktor yang memengaruhinya.	Memahami konsep perencanaan lokasi dengan baik, dengan beberapa kekurangan kecil.	Memahami dasar perencanaan lokasi, tetapi ada beberapa kesalahan konsep.	Pemahaman sangat terbatas atau salah tentang perencanaan lokasi pemasangan PLTS.
Analisis	Mampu menganalisis secara mendalam dan tepat faktor-faktor yang memengaruhi lokasi pemasangan PLTS.	Mampu menganalisis faktor-faktor tersebut dengan baik, tetapi ada beberapa kekurangan.	Analisis dilakukan dengan beberapa kesalahan atau tidak mendalam.	Tidak mampu melakukan analisis yang tepat.
Penerapan Solusi	Solusi lokasi yang diusulkan sangat sesuai dengan analisis dan prinsip perencanaan lokasi PLTS.	Solusi yang diusulkan cukup sesuai, tetapi ada beberapa aspek yang kurang dipertimbangkan.	Solusi yang diusulkan sebagian sesuai, tetapi kurang tepat.	Solusi yang diusulkan tidak sesuai atau tidak relevan.
Penjelasan Teknis	Penjelasan teknis sangat jelas, logis, dan mencakup semua pertimbangan penting.	Penjelasan teknis cukup jelas, tetapi ada beberapa kekurangan dalam penjelasan.	Penjelasan teknis diberikan dengan beberapa kesalahan atau kurang logis.	Penjelasan teknis tidak jelas atau tidak mencakup semua aspek penting.

d. Rubrik Penilaian Uji Kompetensi No. 4

Tabel 1.24 Rubrik Penilaian: Pemasangan PJUTS

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Pemahaman Konsep	Memahami prinsip dan teknik pemasangan PJUTS dengan sangat baik dan mendetail.	Memahami prinsip dan teknik pemasangan PJUTS dengan baik, meskipun ada beberapa kekurangan kecil.	Memahami dasar pemasangan PJUTS, tetapi ada beberapa kesalahan konsep.	Memiliki pemahaman yang sangat terbatas atau salah tentang pemasangan PJUTS.
Analisis	Mampu menganalisis masalah pemasangan PJUTS secara mendalam dan mengidentifikasi penyebab masalah dengan tepat.	Mampu menganalisis masalah, tetapi ada beberapa kekurangan dalam identifikasi penyebab masalah.	Analisis masalah dilakukan dengan beberapa kesalahan atau tidak mendalam.	Tidak mampu menganalisis masalah pemasangan PJUTS secara tepat.
Penerapan Solusi	Solusi yang diusulkan sangat efektif dan didasarkan pada analisis mendalam tentang pemasangan PJUTS.	Solusi yang diusulkan cukup efektif, meskipun tidak sepenuhnya mendalam.	Solusi yang diusulkan sebagian tepat, tetapi kurang efektif atau tidak relevan.	Solusi yang diusulkan tidak efektif atau tidak relevan.
Penjelasan Teknis	Penjelasan teknis sangat jelas, logis, dan mencakup semua aspek penting dalam pemasangan PJUTS.	Penjelasan teknis cukup jelas, tetapi ada beberapa aspek yang kurang dijelaskan.	Penjelasan teknis disajikan dengan beberapa kesalahan atau kekurangan dalam logika.	Penjelasan teknis tidak jelas, tidak logis, atau tidak lengkap.

e. Rubrik Penilaian Uji Kompetensi No. 5

Tabel 1.25 Rubrik Penilaian: Instalasi Kelistrikan PLTS Hibrida

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Pemahaman Konsep	Memahami dengan sangat baik konsep dan komponen instalasi kelistrikan PLTS hibrida.	Memahami konsep dan komponen instalasi kelistrikan PLTS hibrida dengan baik, meskipun ada beberapa kekurangan.	Memahami dasar instalasi kelistrikan PLTS hibrida, tetapi ada beberapa kesalahan konsep.	Memiliki pemahaman yang sangat terbatas atau salah tentang instalasi kelistrikan PLTS hibrida.
Analisis	Mampu menganalisis masalah instalasi kelistrikan PLTS hibrida secara mendalam dan mengidentifikasi penyebab masalah dengan tepat.	Mampu menganalisis masalah, tetapi ada beberapa kekurangan dalam identifikasi penyebab masalah.	Analisis dilakukan dengan beberapa kesalahan atau tidak mendalam.	Tidak mampu menganalisis masalah instalasi kelistrikan PLTS hibrida secara tepat.
Penerapan Solusi	Solusi yang diusulkan sangat efektif dan didasarkan pada analisis mendalam tentang instalasi kelistrikan PLTS hibrida.	Solusi yang diusulkan cukup efektif, meskipun tidak sepenuhnya mendalam.	Solusi yang diusulkan sebagian tepat tetapi kurang efektif atau tidak relevan.	Solusi yang diusulkan tidak efektif atau tidak relevan.
Penjelasan Teknis	Penjelasan teknis sangat jelas, logis, dan mencakup semua aspek penting dari instalasi PLTS hibrida dengan informasi yang mendalam.	Penjelasan teknis cukup jelas dan logis, tetapi ada beberapa kekurangan dalam detail atau kedalaman informasi.	Penjelasan teknis disajikan dengan beberapa kesalahan atau kekurangan dalam logika dan detail.	Penjelasan teknis tidak jelas, tidak logis, atau tidak mencakup aspek-aspek penting dari instalasi PLTS hibrida.

H. Kunci Jawaban

1. Aktivitas

a. Aktivitas 1.1

1) *Cara Sel Surya Mengubah Cahaya Matahari Menjadi Listrik*

Sel surya bekerja berdasarkan prinsip efek fotovoltaiik. Proses konversi energi matahari menjadi listrik melalui sel surya dapat dijelaskan dalam langkah-langkah berikut.

- a) **Penyerapan Cahaya Matahari:** Ketika cahaya matahari (foton) jatuh pada permukaan sel surya, foton tersebut akan diserap oleh bahan semikonduktor (seperti silikon) yang membentuk lapisan sel surya.
- b) **Pembentukan Pasangan Elektron dan *Hole*:** Cahaya yang diserap oleh bahan semikonduktor menyebabkan elektron di dalam atom silikon mendapatkan energi cukup untuk lepas dari orbitnya. Elektron yang lepas ini meninggalkan “lubang” (*hole*) di tempat semula.
- c) **Pembentukan Aliran Listrik:** Elektron yang bebas ini bergerak ke arah lapisan negatif sel surya, sementara *hole* bergerak ke arah lapisan positif. Gerakan elektron dan *hole* ini menciptakan aliran listrik. Lapisan semikonduktor disusun dalam medan listrik internal yang memisahkan elektron dan *hole* sehingga aliran listrik ini dapat digunakan dalam rangkaian listrik eksternal.
- d) **Listrik Mengalir ke Rangkaian Luar:** Aliran elektron dari satu lapisan ke lapisan lain menciptakan tegangan, dan ketika dihubungkan ke rangkaian luar (misalnya ke baterai atau alat elektronik), arus listrik akan mengalir dan dapat digunakan untuk memberi daya pada perangkat.

2) *Faktor-Faktor yang Memengaruhi Efisiensi Sel Surya*

Beberapa faktor yang memengaruhi efisiensi sel surya ialah seperti berikut.

- a) **Intensitas Cahaya Matahari:** Makin banyak cahaya matahari yang diterima, semakin besar jumlah energi yang dapat dihasilkan. Pada hari yang berawan atau jika panel terkena bayangan, efisiensi akan menurun.
- b) **Suhu:** Sel surya bekerja lebih efisien pada suhu yang lebih rendah. Pada suhu yang terlalu tinggi, efisiensi panel dapat menurun karena meningkatnya resistansi dalam material semikonduktor.

- c) **Kualitas Bahan Semikonduktor:** Bahan semikonduktor dengan kualitas lebih baik akan memiliki efisiensi konversi yang lebih tinggi. Bahan silikon dengan tingkat kemurnian yang tinggi, misalnya, lebih efisien dibandingkan bahan yang kualitasnya rendah.
- d) **Sudut dan Orientasi Panel:** Sudut pemasangan panel surya dan orientasi terhadap matahari juga memengaruhi efisiensi. Panel yang ditempatkan pada sudut optimal dan menghadap langsung ke arah sinar matahari akan menghasilkan lebih banyak listrik.
- e) **Kebersihan Panel:** Debu, kotoran, atau daun yang menutupi permukaan panel dapat mengurangi efisiensi dengan menghalangi cahaya matahari yang seharusnya diterima oleh panel.

3) *Mengoptimalkan Efisiensi Sel Surya dalam Kondisi Cuaca yang Berbeda*

Untuk mengoptimalkan efisiensi sel surya dalam berbagai kondisi cuaca, langkah-langkah yang dapat diambil seperti berikut.

- a) **Penempatan Panel di Sudut yang Optimal:** Pastikan panel dipasang pada sudut dan orientasi yang optimal untuk menerima cahaya matahari sepanjang hari. Dalam cuaca berawan, sudut yang optimal akan membantu memaksimalkan penangkapan cahaya yang tersebar.
- b) **Menggunakan Sistem *Tracking*:** Sistem pelacak matahari (*solar tracking*) dapat digunakan untuk mengubah posisi panel mengikuti pergerakan matahari sepanjang hari. Ini memastikan panel selalu berada pada sudut optimal, meskipun cuaca berubah-ubah.
- c) **Pemilihan Lokasi yang Minim Bayangan:** Hindari pemasangan panel di lokasi yang sering terkena bayangan dari pohon, bangunan, atau objek lain karena hal ini akan mengurangi intensitas cahaya yang diterima.
- d) **Pemeliharaan Rutin:** Bersihkan panel secara berkala untuk menghindari penumpukan debu dan kotoran yang dapat menghalangi cahaya matahari. Ini sangat penting terutama di wilayah yang berdebu atau sering hujan.
- e) **Penggunaan Teknologi Sel Surya yang Sesuai:** Pilih jenis sel surya yang tahan terhadap kondisi cuaca ekstrem. Misalnya, sel surya *thin-film* lebih efektif di kondisi cahaya rendah (mendung) dibandingkan sel silikon kristalin.
- f) **Pendinginan Panel:** Pada cuaca panas, efisiensi sel surya dapat menurun. Sistem pendinginan aktif atau pasif, seperti penggunaan bahan pendingin atau pemasangan ventilasi di bawah panel, dapat membantu menjaga suhu panel tetap rendah.

Pedoman penskoran lihat Tabel 1.3.

b. Aktivitas 1.2

1) Keunggulan dan Tantangan

PLTS Atap	
Keunggulan	Tantangan
<ul style="list-style-type: none">- Memanfaatkan ruang atap yang tidak terpakai sehingga tidak memerlukan lahan tambahan.- Instalasi lebih mudah dan lebih murah dibandingkan PLTS darat.- Dapat langsung disambungkan ke sistem kelistrikan bangunan atau rumah (<i>on-grid</i>)	<ul style="list-style-type: none">- Terbatas oleh luas atap dan kondisi struktural bangunan.- Potensi kinerja berkurang jika atap tidak memiliki orientasi atau kemiringan yang optimal untuk sinar matahari
Terapung	
Keunggulan	Tantangan
<ul style="list-style-type: none">- Menghemat lahan darat, memanfaatkan badan air seperti waduk, danau, atau kolam.- Pendinginan alami dari air di bawahnya meningkatkan efisiensi panel surya.	<ul style="list-style-type: none">- Biaya instalasi dan pemeliharaan lebih tinggi karena lingkungan perairan yang dinamis.- Memerlukan sistem tambahan untuk menghindari dampak terhadap ekosistem air.
PLTS di Atas Tanah	
Keunggulan	Tantangan
<ul style="list-style-type: none">- Tidak dibatasi oleh ukuran lahan sehingga bisa digunakan untuk skala besar (<i>utility scale</i>).- Fleksibilitas tinggi dalam pengaturan orientasi dan sudut kemiringan panel untuk kinerja optimal.	<ul style="list-style-type: none">- Membutuhkan lahan yang luas, yang dapat mengorbankan lahan pertanian atau lingkungan alami.- Biaya lahan dan konstruksi lebih tinggi dibanding PLTS atap.

2) Aplikasi sektor industri di mana tipe konstruksi tersebut paling efektif digunakan

PLTS Atap
Perumahan, gedung perkantoran, dan bangunan komersial di area perkotaan yang ingin mengurangi biaya energi dan jejak karbon.
PLTS Terapung
Proyek energi besar yang memanfaatkan waduk atau danau, misalnya proyek air dan pertanian, seperti untuk bendungan atau irigasi.
PLTS di Atas Tanah
Pembangkit listrik skala besar, seperti PLTS <i>utility-scale</i> di area lahan kosong atau gurun; industri energi terbarukan yang memasok listrik ke jaringan nasional atau regional.

3) Studi Kasus

Contoh proyek nyata yang menggunakan tipe konstruksi tersebut dan analisis keberhasilannya.

a) PLTS Atap

PLTS Atap di Singapura: Banyak rumah dan gedung komersial di Singapura telah mengadopsi PLTS atap, mengurangi konsumsi energi dari jaringan dan menurunkan emisi karbon. Keberhasilan ditunjukkan melalui penurunan tagihan listrik dan partisipasi dalam program energi hijau.

b) PLTS Terapung

PLTS Terapung di Waduk Cirata, Indonesia: Salah satu proyek PLTS terapung terbesar di dunia, yang memanfaatkan waduk besar. Proyek ini berhasil meningkatkan produksi listrik tanpa mengorbankan lahan darat dan telah berkontribusi pada energi terbarukan nasional.

c) PLTS di Atas Tanah

PLTS Tengger Desert, Tiongkok: Salah satu instalasi PLTS darat terbesar di dunia, terletak di Gurun Tengger. Proyek ini mampu menghasilkan energi dalam skala besar untuk mendukung jaringan listrik nasional dan telah membuktikan keberhasilannya dalam mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

Pedoman penskoran lihat Tabel 1.4.

c. Aktivitas 1.3

1) Identifikasi Daya Keluaran yang Dibutuhkan

Laboratorium membutuhkan daya sebesar 1.440 W dengan tegangan sistem 48 V.

2) Spesifikasi Panel Surya

- Setiap panel surya memiliki tegangan keluaran 24 V dan arus keluaran 5 A.
- Daya setiap panel dapat dihitung dengan rumus:

$$P = V \times I = 120 \text{ Wp}$$

➡ Jadi, satu panel surya dapat menghasilkan daya 120 W.

3) Hitung Jumlah Panel yang Dibutuhkan

- Total daya yang diperlukan ialah 1.440 W. Jadi, jumlah panel yang dibutuhkan dapat dihitung dengan membagi total daya dengan daya per panel:

$$\text{Jumlah Panel} = \frac{1.440 \text{ W}}{120 \text{ W/Panel}} = 12 \text{ panel}$$

- Maka, diperlukan 12 panel surya untuk memenuhi kebutuhan daya laboratorium.

4) Konfigurasi Tegangan Sistem

- Sistem memerlukan tegangan 48 V, sementara tegangan per panel ialah 24 V.
- Untuk mencapai tegangan 48 V, kita perlu menghubungkan 2 panel secara seri (karena $24 \text{ V} + 24 \text{ V} = 48 \text{ V}$).

5) Konfigurasi Arus Sistem

- Setiap rangkaian seri akan menghasilkan tegangan 48 V, tetapi arus keluaran tetap 5 A.
- Kebutuhan daya total ialah 1.440 W sehingga arus yang dibutuhkan dapat dihitung dengan rumus:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1.440 \text{ W}}{48 \text{ V}} = 30 \text{ A}$$

- Untuk mencapai arus total 30 A, kita perlu menghubungkan 6 rangkaian seri secara paralel. Setiap rangkaian seri terdiri atas 2 panel (yang menghasilkan 48 V dan 5 A) sehingga 6 rangkaian seri akan memberikan 48 V dengan total arus 30 A (karena $6 \times 5 \text{ A} = 30 \text{ A}$).

6) Konfigurasi Akhir

- Hubungkan 2 panel secara seri untuk mendapatkan tegangan 48 V.
- Ulangi langkah ini 6 kali untuk membuat 6 rangkaian seri.
- Hubungkan semua 6 rangkaian seri secara paralel untuk mencapai arus total 30 A.

Pedoman penskoran lihat Tabel 1.5.

d. Aktivitas 1.4

1) Menentukan Jenis Solar Charge Controller (SCC) yang Paling Sesuai

a) Faktor yang Perlu Dipertimbangkan

(1) Jenis Baterai: Pilih SCC yang kompatibel dengan jenis baterai yang digunakan, misalnya seperti berikut.

- Baterai Lead-Acid: Memerlukan SCC dengan pengaturan pengisian yang lebih sederhana.
- Baterai Lithium-ion: Memerlukan SCC dengan algoritma pengisian lebih canggih untuk memaksimalkan umur baterai.

(2) Kapasitas SCC

- Tentukan kapasitas SCC berdasarkan total daya dan arus dari sistem PLTS.
- Pastikan kapasitas SCC lebih besar daripada total arus keluaran dari panel surya, untuk menghindari *overheating* atau kerusakan. Misalnya, jika sistem memiliki *output* 30 A, pilih SCC dengan kapasitas minimal 40 A.

(3) Kebutuhan Tegangan dan Arus: Sesuaikan SCC dengan kebutuhan sistem. Jika sistem beroperasi pada 48 V, pastikan SCC juga mendukung tegangan tersebut dan dapat menangani arus yang dihasilkan.

b) Jenis SCC yang Direkomendasikan

MPPT (*Maximum Power Point Tracking*): Direkomendasikan untuk sistem dengan efisiensi tinggi, dapat mengoptimalkan pengisian baterai dan menangani fluktuasi daya dari modul surya. Cocok untuk aplikasi yang memerlukan output tinggi dan efisiensi maksimal.

2) Menentukan Lokasi Optimal untuk Pemasangan SCC

a) Faktor Lokasi yang Perlu Dipertimbangkan

(1) Keamanan: Pasang SCC di lokasi yang aman dari cuaca ekstrem, air, dan potensi kerusakan fisik.

(2) Jarak dari Baterai: Minimalkan jarak antara SCC dan baterai untuk mengurangi kehilangan energi pada kabel dan memastikan efisiensi pengisian.

(3) Kemudahan Akses untuk Pemeliharaan: Pilih lokasi yang mudah diakses untuk memudahkan pemeliharaan dan pemeriksaan rutin. Lokasi yang baik juga memungkinkan inspeksi tanpa harus mengganggu sistem secara keseluruhan.

b) Rekomendasi Lokasi

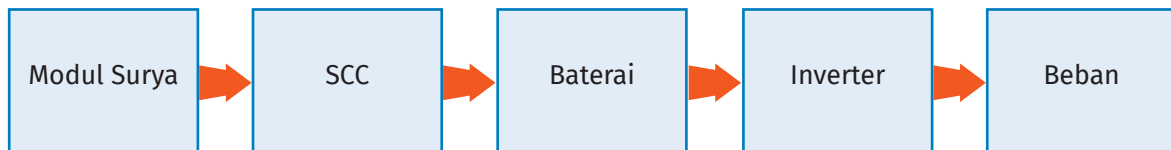
Tempatkan SCC di dalam ruangan yang terlindung, dekat dengan baterai tetapi cukup jauh dari sumber panas atau kelembapan yang berlebihan. Pastikan juga ada ventilasi yang baik untuk mencegah *overheating*.

3) Rancangan Diagram Instalasi

Contoh Alur Energi:

Energi dari modul surya → SCC (mengatur pengisian dan pengeluaran) → Baterai (menyimpan energi) → Inverter (mengubah DC ke AC) → Beban Listrik (menggunkan energi yang disimpan).

Gambar Diagram (Secara Manual)



Keterangan Diagram Instalasi

1. Modul Surya: Menghasilkan listrik dan terhubung ke SCC.
2. *Solar Charge Controller* (SCC): Mengatur alur energi dari modul surya ke baterai dan memastikan pengisian yang optimal.
3. Baterai: Menyimpan energi yang dihasilkan dari modul surya, terhubung langsung ke SCC.
4. Inverter : Terhubung antara baterai dan beban listrik.
5. Beban Listrik: Terhubung ke inverter untuk mendapatkan daya saat diperlukan.

Pedoman penskoran lihat Tabel 1.6.

e. Aktivitas 1.5

1) Menentukan Jenis Inverter yang Paling Sesuai

Inverter Tipe MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)

- (1) Kapasitas: Pilih inverter dengan kapasitas yang lebih besar dari total arus keluaran panel surya. Misalnya, jika total arus dari panel surya 30 A pada 48 V, inverter yang dipilih harus memiliki kapasitas minimal 1.500 W ($30 \text{ A} \times 48 \text{ V}$).
- (2) Jenis Arus Listrik: Inverter harus mampu mengubah arus DC (*Direct Current*) yang dihasilkan oleh modul surya menjadi arus AC (*Alternating Current*) untuk digunakan oleh peralatan listrik.
- (3) Efisiensi: Pastikan inverter memiliki efisiensi minimal 90% untuk mengurangi kehilangan energi selama proses konversi. Inverter MPPT cenderung memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan inverter tipe PWM (*Pulse Width Modulation*).

2) Menentukan Lokasi Optimal untuk Pemasangan Inverter

a) Faktor yang Perlu Dipertimbangkan

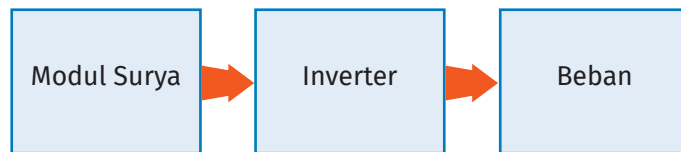
- 1) Keamanan: Pasang inverter di lokasi yang aman dari cuaca ekstrem, air, dan potensi kerusakan fisik. Hindari area yang rawan banjir atau paparan langsung sinar matahari yang berlebihan.
- 2) Ventilasi: Pilih lokasi yang memiliki sirkulasi udara baik untuk mencegah *overheating*. Inverter perlu memiliki ruang yang cukup di sekitarnya agar panas dapat keluar dengan baik.
- 3) Aksesibilitas: Pastikan lokasi inverter mudah diakses untuk pemeliharaan dan pemeriksaan rutin. Ini penting agar teknisi dapat dengan mudah melakukan inspeksi tanpa mengganggu sistem keseluruhan.

b) Rekomendasi Lokasi

Tempatkan inverter di dalam ruangan yang terlindung (misalnya, di ruang kontrol atau panel) dan dekat dengan baterai tetapi cukup jauh dari sumber panas atau kelembapan yang berlebihan. Pastikan ada ventilasi yang baik di sekitar inverter.

3) Rancangan Diagram Instalasi

Diagram Instalasi:



Keterangan:

- Modul Surya terhubung ke Inverter, yang mengubah arus DC dari modul menjadi arus AC.
- Inverter terhubung ke Beban Listrik, yang menggunakan energi AC yang dihasilkan.

Pedoman penskoran lihat Tabel 1.7.

f. Aktivitas 1.6

1) Jumlah Baterai yang Diperlukan

- a) Total energi yang dibutuhkan = 2.400 Wh
- b) Kapasitas baterai = 200 Ah
- c) Tegangan baterai = 12 V

Energi per baterai = Kapasitas \times Tegangan = 200 Ah \times 12 V = 2.400 Wh

2) Konfigurasi Seri

Misalkan kita ingin menggunakan tegangan sistem 24 V.

Jumlah baterai dalam rangkaian seri untuk mencapai 24 V ialah $\frac{24 \text{ v}}{12 \text{ v}} = 2$ baterai

Energi Total = 2 Baterai \times 2.400 Wh = 4.800 wh

Maka, sistem ini dapat memenuhi kebutuhan energi harian sebesar 2.400 Wh.

3) Konfigurasi Paralel

Misalkan kita ingin mencapai total kapasitas penyimpanan untuk memenuhi kebutuhan harian. Dengan satu *string* baterai dalam rangkaian seri:

Kapasitas penyimpanan total dari satu rangkaian = 2.400 Wh.

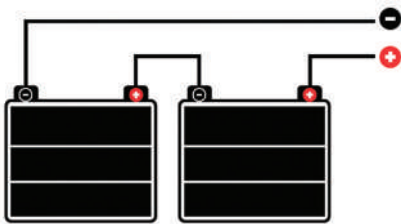
Untuk memenuhi kapasitas penyimpanan yang memadai, misalkan kita menggunakan 2 string paralel (setiap *string* terdiri atas 2 baterai dalam seri).

Jumlah Baterai Paralel = 2 *string* \times 2 $\frac{\text{Baterai}}{\text{String}}$ = 4 baterai

4) Dua Konfigurasi Baterai

a) Rangkaian Seri

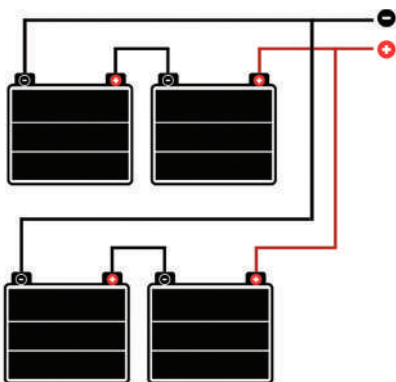
Diagram Rangkaian Seri:



Setiap baterai disambungkan dalam satu garis untuk mencapai total tegangan 24 V.

b) Rangkaian Paralel

Diagram Rangkaian Paralel:



Setiap dua baterai (dalam rangkaian seri) terhubung paralel untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan.

5) *Konfigurasi Memengaruhi Kinerja Sistem Penyimpanan Energi*

	Konfigurasi Seri	Konfigurasi Pararel
Kinerja	Menyediakan tegangan yang lebih tinggi dengan menggabungkan tegangan dari setiap baterai.	Meningkatkan kapasitas penyimpanan total, tetapi tetap mempertahankan tegangan yang sama.
Kelebihan	<ul style="list-style-type: none"> - Memungkinkan penggunaan perangkat yang membutuhkan tegangan lebih tinggi. - Energi total yang dapat disuplai lebih besar. 	<ul style="list-style-type: none"> - Jika satu baterai gagal, baterai lain tetap dapat menyuplai energi. - Memungkinkan lebih banyak kapasitas penyimpanan untuk memenuhi kebutuhan energi yang lebih besar.
Kekurangan	Jika salah satu baterai dalam rangkaian mengalami kegagalan, semua rangkaian tidak berfungsi.	<ul style="list-style-type: none"> - Lebih rumit dalam hal pengaturan dan perawatan. - Dapat menyebabkan masalah dalam hal manajemen daya jika baterai memiliki kapasitas atau umur yang berbeda.

6) *Dampak pada Kinerja Sistem PLTS*

a) Efisiensi

Pilihan konfigurasi memengaruhi efisiensi sistem penyimpanan energi. Konfigurasi paralel dapat mengurangi kehilangan energi karena tidak ada satu titik kegagalan, sementara konfigurasi seri dapat menyebabkan pemborosan energi jika tidak terkelola dengan baik.

b) Daya Tahan

Konfigurasi paralel cenderung lebih tahan lama karena memungkinkan baterai untuk bekerja secara independen, sementara konfigurasi seri dapat memperpendek umur baterai jika ada satu baterai yang lebih lemah.

Pedoman penskoran lihat Tabel 1.8.

g. Aktivitas 1.7

1) *Jumlah dan Jenis Fuse atau Pemutus Sirkuit*

a) Jumlah Fuse/Pemutus Sirkuit yang Diperlukan

- (1) Setiap *string* modul surya memerlukan satu *fuse* untuk proteksi.
- (2) Dengan total 6 *string*, maka jumlah *fuse* yang diperlukan ialah 6 *fuse*.

b) Jenis dan Rating Fuse

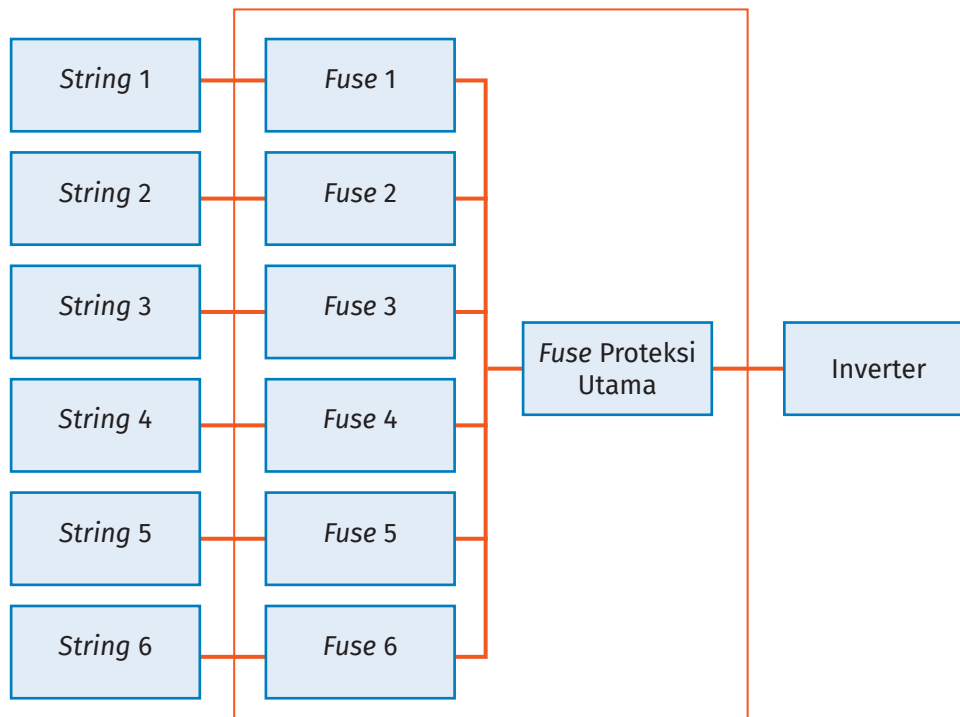
- (1) Jenis Fuse: Fuse cepat (*fast-acting fuse*) atau pemutus sirkuit otomatis yang dapat dipilih untuk proteksi arus lebih.
- (2) Rating Fuse: Fuse harus dipilih berdasarkan arus maksimum yang dihasilkan oleh *string*.
 - o Arus maksimum per *string* = 8 A.
 - o Rekomendasi rating *fuse* ialah 10 A (untuk memberikan margin yang cukup).

2) Desain Sistem Pengumpulan Kabel

- a) Setiap *string* akan terhubung ke satu terminal di *combiner box* melalui kabel yang sesuai dengan arus dan tegangan.
- b) Gunakan kabel yang sesuai untuk arus 8 A dan tegangan 144 V.
- c) Pengaturan Kabel:
 - o Pastikan kabel dari setiap *string* tertata rapi dan tidak bersentuhan satu sama lain untuk mencegah hubung singkat.
 - o Gunakan pengikat kabel untuk mengatur dan menjaga kebersihan instalasi.
 - o Pastikan kabel dilindungi dengan selubung yang sesuai agar tahan cuaca dan aman.

3) Diagram Sistem Combiner Box

- a) Diagram berikut mencakup jumlah *string*, jenis *fuse*, konfigurasi kabel, dan alur energi.



Deskripsi Diagram:

String Modul Surya: Terdapat 6 *string*, masing-masing terdiri atas 4 modul surya yang dihubungkan secara seri, menghasilkan tegangan total 144 V dan arus 8 A.

Fuse: Setiap *string* dilindungi oleh *fuse* dengan rating 10 A, untuk mencegah kerusakan akibat arus lebih atau hubung singkat.

Combiner Box: Menghubungkan output dari semua *string* ke satu input utama ke inverter.

Inverter: Mengubah energi DC dari sistem PLTS menjadi energi AC yang dapat digunakan dalam proses produksi.

Pedoman penskoran lihat Tabel 1.9. Penilaian diskusi dan presentasi dapat dilihat di Panduan Umum.

h. Aktivitas 1.8

1) Perancangan Panel Distribusi DC

a) Jumlah *Fuse*/Pemutus Sirkuit:

- Proteksi untuk Setiap String Modul Surya:

Setiap *string* modul surya (6 *string*) memerlukan satu *fuse* atau pemutus sirkuit. Jadi, ada 6 *fuse* untuk proteksi *string*.

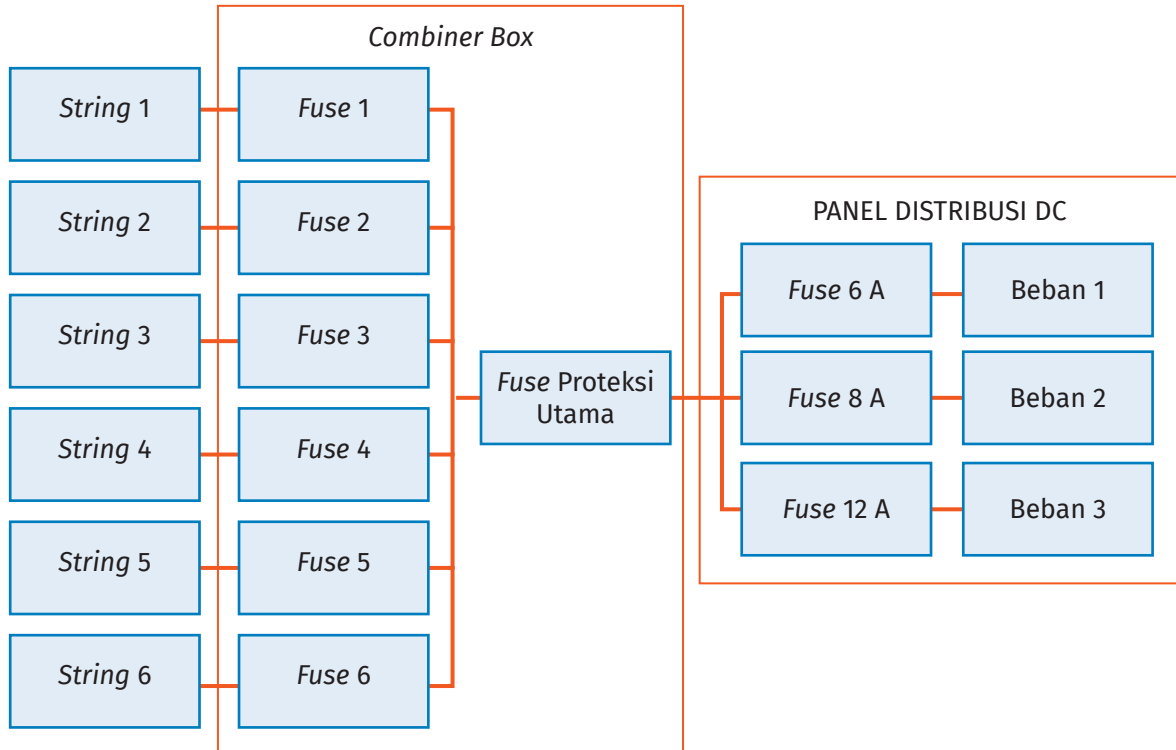
- Proteksi untuk Setiap Jalur Beban DC:

Ada 3 jalur beban (pencahayaan, ventilasi, dan peralatan lainnya). Setiap jalur juga memerlukan proteksi dengan *fuse* atau pemutus sirkuit sehingga total *fuse*/pemutus sirkuit pada bagian distribusi adalah 3 *fuse*.

b) Desain Distribusi DC

- Koneksi Kabel: Kabel dari setiap string modul surya (6 *string*) dihubungkan terlebih dahulu ke *combiner box*. *Fuse* 10 A untuk setiap *string* disertakan dalam *combiner box*. Dari *combiner box*, energi DC diteruskan ke panel distribusi. Dalam panel distribusi, energi tersebut kemudian didistribusikan ke 3 jalur beban.
- Proteksi Jalur Beban: Setiap jalur beban DC (pencahayaan, ventilasi, dan peralatan lainnya) harus dilengkapi dengan *fuse* yang sesuai berdasarkan arus setiap jalur. Misalnya, jika beban pencahayaan membutuhkan arus 5 A, ventilasi 7 A, dan peralatan lainnya 10 A, *fuse* dipilih dengan margin keamanan yang sesuai (misalnya *fuse* 6 A, 8 A, dan 12 A).

2) Diagram Manual dari Panel Distribusi DC



Penjelasan Diagram:

1. *String* Modul Surya: Terdapat 6 *string* yang masing-masing terhubung ke *fuse* (10 A).
2. *Combiner Box*: *Fuse-fuse* dari *string* dihubungkan ke *combiner box*, yang kemudian terhubung ke panel distribusi DC.
3. Panel Distribusi DC: *Fuse* utama atau pemutus sirkuit ada di antara *combiner box* dan panel distribusi untuk melindungi keseluruhan sistem dari arus lebih.
4. Distribusi Beban: Panel distribusi mengarahkan energi DC ke 3 jalur beban: pencahayaan, ventilasi, dan peralatan lainnya. Setiap jalur beban memiliki fuse/pemutus sirkuit dengan rating sesuai kebutuhan arus.

Pedoman penskoran lihat Tabel 1.10. Penilaian diskusi dan presentasi dapat dilihat di Panduan Umum.

i. Aktivitas 1.9

1) Rancangan Panel Distribusi AC

a) Komponen Utama

- (1) Inverter 5 kW: Mengubah arus DC dari panel surya menjadi arus AC.
- (2) Panel Distribusi AC: Mengelola dan mendistribusikan daya dari inverter ke beberapa jalur beban.
- (3) Pemutus Sirkuit (MCB - *Miniature Circuit Breaker*): Proteksi terhadap arus lebih dan korsleting di setiap jalur beban.
- (4) SPD (*Surge Protection Device*): Proteksi terhadap lonjakan tegangan yang dapat merusak peralatan.

b) Langkah-Langkah Perancangan

(1) Koneksi dari Inverter ke Panel Distribusi

- Kabel dari inverter ke panel distribusi harus memiliki kapasitas arus yang cukup untuk menyalurkan daya sebesar 5 kW. Dengan tegangan standar 230 V, arus yang dialirkan sekitar 21,7 A ($I = P/V$).
- Pemutus sirkuit utama (Main MCB) dipasang setelah inverter untuk melindungi seluruh sistem. Nilai arus yang disarankan untuk MCB ini ialah 30 A.

(2) Proteksi Lonjakan Tegangan (SPD)

- SPD dipasang di panel distribusi untuk melindungi peralatan dari lonjakan tegangan yang disebabkan oleh petir atau gangguan listrik lainnya.
- SPD dipasang paralel dengan sirkuit utama sehingga ketika terjadi lonjakan tegangan, perangkat ini dapat menyerap dan membuang tegangan berlebih.

(3) Distribusi Energi ke Jalur Beban

- Setiap jalur beban (lampu, AC, peralatan dapur) harus dilindungi dengan pemutus sirkuit terpisah sesuai dengan kebutuhan arus masing-masing beban.
- Pemutus sirkuit yang dipasang harus memiliki rating yang sesuai:

Lampu: 10 A

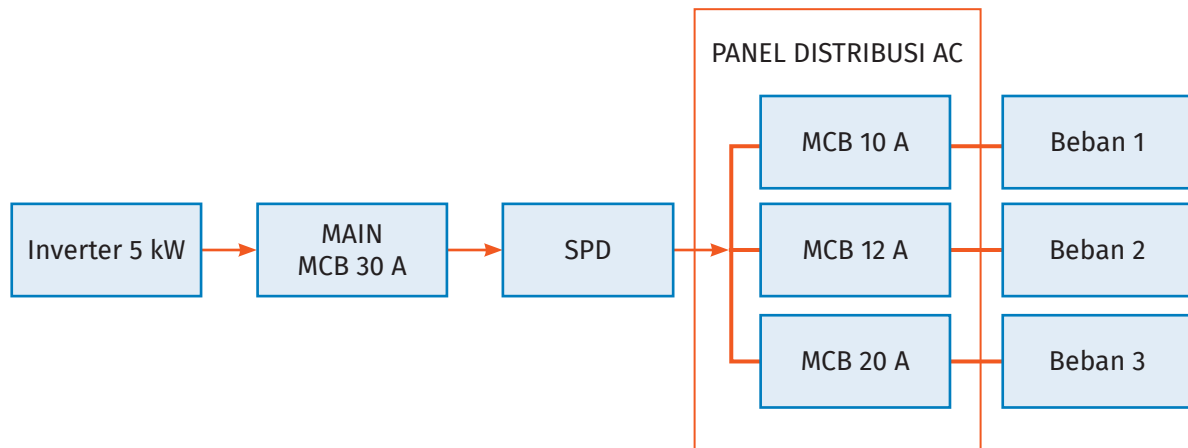
AC: 16 A

Peralatan Dapur: 20 A

(4) Pengaturan Koneksi Kabel:

Koneksi kabel dari panel distribusi ke setiap beban harus disesuaikan dengan kapasitas arus yang dialirkan. Misalnya, kabel dengan ukuran 2,5 mm² untuk jalur lampu, dan kabel 4 mm² untuk jalur peralatan dapur.

2) Diagram Manual Panel Distribusi AC dengan SPD



Penjelasan Diagram:

1. Inverter 5 kW: Mengubah arus DC menjadi arus AC dan mengalirkan daya ke panel distribusi.
2. *Main* MCB (30 A): Berfungsi sebagai pemutus utama untuk melindungi seluruh sistem dari arus lebih atau korsleting.
3. SPD (*Surge Protection Device*): Dipasang di jalur setelah pemutus utama untuk melindungi peralatan dari lonjakan tegangan.
4. Panel Distribusi AC: Panel ini mendistribusikan daya dari inverter ke tiga jalur beban (lampu, AC, dan peralatan dapur).
5. MCB untuk Setiap Jalur Beban: o MCB dengan rating yang sesuai dipasang pada setiap jalur untuk melindungi dari arus lebih.

Lampu: MCB 10 A

AC: MCB 16 A

Peralatan Dapur: MCB 20 A

6. Koneksi Kabel: Kabel yang digunakan untuk menghubungkan inverter, panel distribusi, dan beban dipilih berdasarkan kapasitas arus yang sesuai untuk memastikan distribusi daya yang aman dan efisien

Pedoman penskoran lihat Tabel 1.11. Penilaian diskusi dan presentasi dapat dilihat di Panduan Umum.

j. **Aktivitas 1.10**

1) *Fungsi dan Koneksi Dasar*

- a) Panel Surya: Mengubah energi matahari menjadi energi listrik dalam bentuk arus DC.

- b) Inverter: Mengubah arus DC dari panel surya atau baterai menjadi arus AC untuk digunakan oleh beban listrik.
- c) *Solar Charge Controller*: Mengatur pengisian baterai dari panel surya, mencegah *overcharging*, dan menjaga kesehatan baterai.
- d) Baterai: Menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya untuk digunakan saat dibutuhkan.
- e) Panel Distribusi: Mendistribusikan daya ke berbagai beban listrik, dilengkapi dengan pemutus sirkuit untuk perlindungan.

2) Spesifikasi Dasar

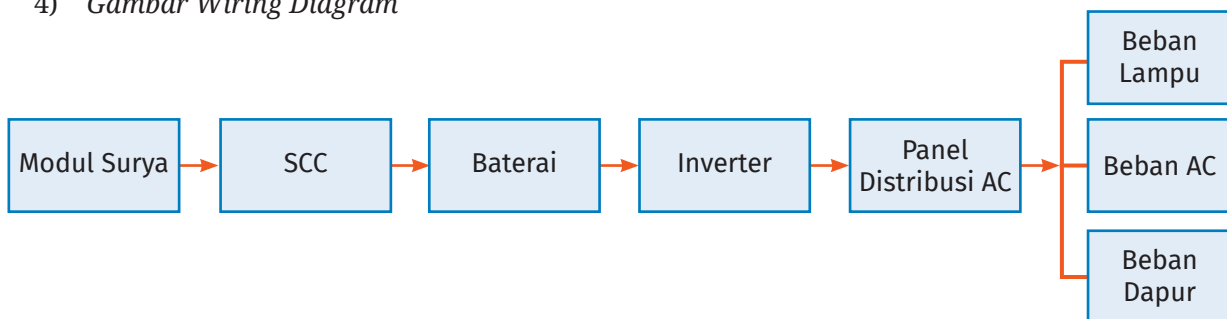
- a) Jumlah Panel Surya: Misalnya, 4 panel surya 250 W.
- b) Kapasitas Baterai: Misalnya, baterai 12V 200 Ah.
- c) Jenis Inverter: Inverter 1.000 W untuk kebutuhan daya yang lebih kecil, atau inverter 5 kW untuk kebutuhan yang lebih besar.

3) Rencana Koneksi Komponen

Energi akan mengalir sebagai berikut

- (a) Panel Surya ke SSC: Panel surya mengirimkan arus DC ke SSC.
- (b) SSC ke Baterai: Daya dari solar charge controller digunakan untuk mengisi baterai.
- 3. Baterai ke Inverter: Daya yang tersimpan dalam baterai akan disuplai ke inverter.
- 4. Inverter ke Panel Distribusi: Inverter mengubah arus DC dari baterai menjadi arus AC untuk didistribusikan ke beban.

4) Gambar Wiring Diagram



5) Cakupan Wiring Diagram

- a) Jalur Koneksi:
 - Dari panel surya ke SSC.
 - Dari SSC ke baterai untuk pengisian.
 - Dari baterai ke inverter.
 - Dari inverter ke panel distribusi dan beban.

- b) Konektor dan Pemutus Sirkuit:
 - Konektor antara panel surya dan SSC.
 - Pemutus sirkuit (MCB) setelah inverter.
 - Konektor antara inverter dan panel distribusi.
- 6) *Penjelasan Wiring Diagram*
 - a) Panel Surya: Mengumpulkan sinar matahari dan mengonversinya menjadi energi listrik DC, kemudian mengalirkan arus ini ke SSC.
 - b) SSC: Mengatur arus dari panel surya untuk mengisi baterai, melindungi dari pengisian berlebih, dan memastikan baterai tidak terlalu cepat habis.
 - c) Baterai: Menyimpan energi listrik yang dihasilkan. Arus dari baterai kemudian dialirkan ke inverter.
 - d) Inverter: Mengonversi arus DC dari baterai menjadi arus AC, siap digunakan oleh peralatan listrik di gedung.
 - e) Panel Distribusi: Mendistribusikan daya ke berbagai beban listrik, seperti lampu, AC, dan peralatan dapur. Setiap jalur beban dilengkapi dengan pemutus sirkuit untuk mencegah arus lebih yang dapat merusak peralatan.

Pedoman penskoran lihat Tabel 1.12.

k. **Aktivitas 1.11**

Peserta didik mengikuti langkah-langkah yang terdapat pada aktivitas konsep perencanaan pada pemilihan lokasi penempatan pemasangan PLTS. Untuk pedoman penskoran dapat dilihat pada Tabel 1.13.

l. **Aktivitas 1.12**

1) *Penghitungan Kebutuhan Energi*

a) Perhitungan Konsumsi Energi:

- Lampu LED:

$$\text{Total Daya} = 10 \text{ lampu} \times 5 \text{ watt} = 50 \text{ watt}$$

$$\text{Konsumsi Harian} = 50 \text{ watt} \times 5 \text{ jam} = 250 \text{ watt} - \text{jam} = 0,25 \text{ kWh}$$

- Kulkas:

Asumsi konsumsi energi: 1,5 kWh/hari (umumnya untuk kulkas 200 liter)

- TV LED:

$$\text{Daya TV} = 50 \text{ inchi (asumsi)} = 100 \text{ watt}$$

$$\text{Konsumsi Harian} = 100 \text{ watt} \times 4 \text{ jam} = 400 \text{ watt} - \text{jam} = 0,4 \text{ kWh}$$

- Komputer:

$$\text{Total Daya} = 2 \text{ unit} \times 200 \text{ watt} = 400 \text{ watt}$$

$$\text{Konsumsi Harian} = 400 \text{ watt} \times 4 \text{ jam} = 1.600 \text{ watt} - \text{jam} = 1,6 \text{ kWh}$$

- Pompa Air:

$$\text{Konsumsi Harian} = 500 \text{ watt} \times 4 \text{ jam} = 500 \text{ watt} - \text{jam} = 0,5 \text{ kWh}$$

- b) Total Kebutuhan Energi Harian:

$$\text{Total Kebutuhan} = 0,25 + 1,5 + 0,4 + 1,6 + 0,5 = 4,25 \text{ kWh}$$

2) Perencanaan Modul Surya

- a) Estimasi Radiasi Matahari:

- Misalkan lokasi memiliki radiasi matahari rata-rata 5 jam/hari.

- b) Kebutuhan Energi Harian:

$$\text{Kebutuhan Energi} = 6 \text{ kWh}$$

- c) Penghitungan Jumlah Modul Surya:

- Misalkan daya satu modul surya = 300 watt.

$$\text{Energi dari 1 Modul} = 300 \text{ watt} \times 5 \text{ jam} = 1,5 \text{ kWh}$$

$$\text{Jumlah Modul Diperlukan} = \frac{6 \text{ kWh}}{1,5 \text{ kWh/modul}} = 4 \text{ modul}$$

3) Perencanaan Baterai

- a) Kapasitas Baterai yang Dibutuhkan:

- Mempertimbangkan cadangan energi:

$$\text{Cadangan Energi} = 6 \text{ kWh untuk 1 hari}$$

- b) Estimasi Kapasitas Baterai:

- Pilih baterai lithium-ion dengan efisiensi 90%.

$$\text{Kapasitas Baterai} = \frac{6 \text{ kWh}}{0,9} \approx 6,67 \text{ kWh}$$

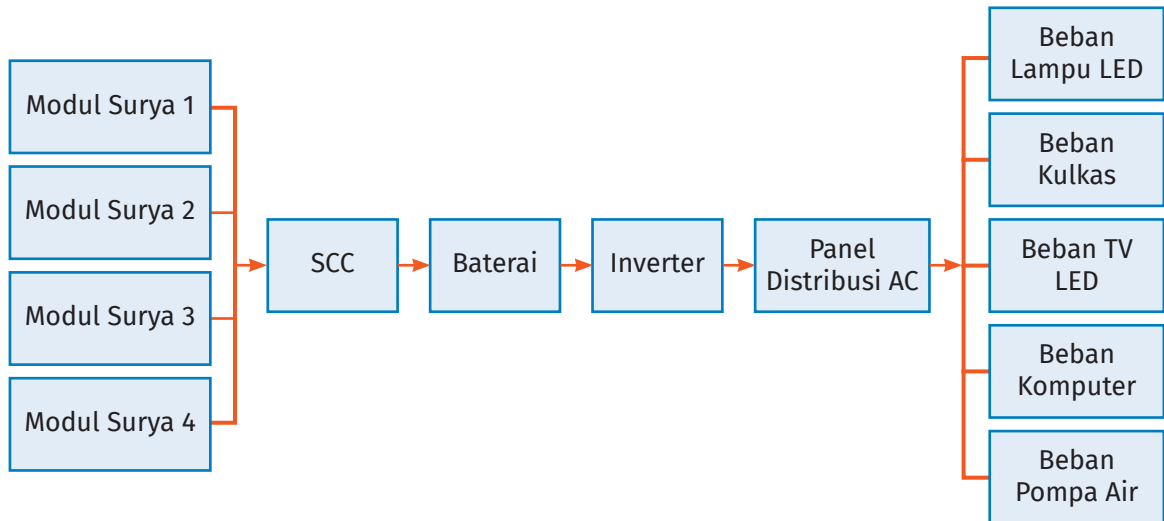
4) Estimasi Biaya

Perkiraan Biaya

- Modul Surya: 4 modul surya \times Rp1.500.000 = Rp6.000.000
- Baterai: 1 unit baterai 6.67 kWh \times Rp2.000.000 = Rp13.340.000
- Inverter: 1 unit inverter = Rp3.000.000
- Instalasi dan Peralatan Tambahan: Biaya instalasi = Rp2.000.000

$$\text{Total Estimasi} = 6.000.000 + 13.340.000 + 3.000.000 + 2.000.000 = \text{Rp}24.340.000$$

5) *Diagram Sistem PLTS Off-Grid*



Pedoman penskoran lihat Tabel 1.14.

m. Aktivitas 1.13

Aktivitas dilaksanakan sesuai langkah-langkah yang diberikan dan untuk pedoman penskoran dapat dilihat pada Tabel 1.15.

n. Aktivitas 1.14

Aktivitas rencana pemasanganudukan dan modul surya pada perencanaan lokasi dan struktur pemasangan PLTS di atas tanah dilaksanakan sesuai langkah-langkah yang diberikan dan untuk pedoman penskoran dapat dilihat pada Tabel 1.16.

o. Aktivitas 1.15

Aktivitas merencanakan dan menentukan lokasi strategis pemasangan PJUTS di lingkungan sekolah atau area yang ditentukan, dengan mempertimbangkan efisiensi penerangan dan estetika lingkungan dilaksanakan sesuai langkah-langkah yang diberikan dan untuk pedoman penskoran dapat dilihat pada Tabel 1.17.

p. Aktivitas 1.16

Aktivitas pemasangan instalasi kelistrikan PLTS *Off-Grid* dilaksanakan sesuai langkah-langkah yang diberikan dan untuk pedoman penskoran dapat dilihat pada Tabel 1.18.

q. Aktivitas 1.17

Peserta didik mengikuti setiap langkah yang terdapat pada aktivitas pemasangan instalasi kelistrikan PLTS *On-Grid* dan untuk pedoman penskoran dapat dilihat pada Tabel 1.19.

r. Aktivitas 1.18

Aktivitas pemasangan instalasi kelistrikan PLTS Hibrida dilaksanakan sesuai langkah-langkah yang diberikan dan untuk pedoman penskoran dapat dilihat pada Tabel 1.20.

2. Uji Kompetensi

Berikut ini kunci jawaban Uji Kompetensi.

1. Prinsip Kerja Sel Surya

Sel surya bekerja berdasarkan efek fotovoltaik, di mana foton dari sinar matahari diserap oleh material semikonduktor (biasanya silikon) dalam sel surya. Foton yang diserap ini melepaskan elektron dari atomnya, menciptakan aliran listrik.

Penurunan Produksi Listrik Selama Musim Hujan: Selama musim hujan, intensitas cahaya matahari yang mencapai permukaan panel surya berkurang secara signifikan karena adanya awan dan curah hujan. Meskipun ada cahaya, intensitasnya tidak cukup untuk melepaskan elektron dalam jumlah yang optimal dari sel surya, sehingga menghasilkan arus listrik yang lebih rendah.

Faktor-faktor yang memengaruhi kinerja sel surya seperti berikut.

- a. Intensitas Cahaya: Sel surya membutuhkan cahaya matahari yang cukup untuk menghasilkan listrik. Awan tebal dan hujan menghalangi cahaya matahari, mengurangi jumlah foton yang mencapai panel surya.
- b. Sudut Incidensi Cahaya: Pada musim hujan, posisi matahari lebih rendah dan sudut incidensi cahaya terhadap panel mungkin kurang optimal, yang mengurangi efisiensi penyerapan foton.
- c. Kotoran pada Panel: Hujan membawa kotoran dan debu yang dapat menumpuk di permukaan panel surya, mengurangi jumlah cahaya yang masuk.

Solusi untuk Mengoptimalkan Efisiensi

- a. Penggunaan Panel Surya yang Lebih Sensitif: Memasang panel surya yang dirancang khusus untuk beroperasi dengan baik di kondisi cahaya rendah atau difus.
- b. Pembersihan Panel Secara Berkala: Membersihkan permukaan panel surya secara rutin untuk memastikan tidak ada kotoran atau air yang mengurangi intensitas cahaya yang masuk.
- c. Penggunaan Sistem Penyimpanan Energi: Memasang baterai untuk menyimpan energi yang dihasilkan selama hari-hari cerah, yang kemudian dapat digunakan selama musim hujan saat produksi listrik menurun.

2. Kemungkinan besar masalah ini disebabkan oleh inverter yang tidak mampu menyediakan daya yang cukup pada saat terjadi lonjakan beban (*power surge*) ketika perangkat listrik dinyalakan. Inverter harus mampu mengatasi lonjakan daya ini tanpa menyebabkan perangkat listrik mati. Faktor lain yang mungkin ialah kualitas gelombang listrik yang dihasilkan oleh inverter. Jika inverter menghasilkan gelombang sinusoidal yang tidak murni (misalnya, gelombang modifikasi atau gelombang persegi), beberapa perangkat listrik yang sensitif bisa mengalami gangguan dan mati tiba-tiba.

Peran Inverter dalam Masalah

- a. Kemampuan Penanganan Lonjakan Daya: Inverter harus dirancang untuk menangani lonjakan daya saat perangkat listrik dihidupkan, seperti kulkas, AC, atau peralatan listrik lainnya yang membutuhkan arus awal tinggi. Jika inverter tidak cukup kuat, ia mungkin akan gagal untuk menyediakan daya yang diperlukan, menyebabkan perangkat mati atau tidak berfungsi.
- b. Kualitas Gelombang Listrik: Inverter yang tidak menghasilkan gelombang sinusoidal murni dapat menyebabkan beberapa peralatan, terutama yang sensitif seperti komputer atau peralatan elektronik presisi, tidak bekerja dengan benar atau bahkan rusak.

Solusi Masalah

- a. Menggunakan Inverter dengan Kapasitas Lebih Tinggi: Pastikan inverter memiliki kapasitas yang cukup untuk menangani lonjakan daya. Menggunakan inverter dengan kapasitas yang lebih besar atau inverter yang dirancang khusus untuk beban tinggi dapat mengatasi masalah ini.
 - b. Memilih Inverter Gelombang Sinus Murni: Untuk memastikan stabilitas operasi peralatan listrik yang sensitif, gunakan inverter gelombang sinus murni. Ini akan memberikan output listrik yang lebih stabil dan kompatibel dengan semua jenis perangkat listrik.
 - c. Pengelompokan Beban: Kelompokkan perangkat listrik yang memiliki lonjakan daya tinggi dan nyalakan satu per satu, bukan secara bersamaan, untuk mengurangi beban lonjakan pada inverter. Ini juga membantu inverter menangani daya secara lebih efektif tanpa kelebihan beban.
3. *Faktor-Faktor yang Perlu Dipertimbangkan dalam Perencanaan Lokasi PLTS*
 - a. Akses Sinar Matahari: Lokasi pemasangan PLTS harus memiliki akses sinar matahari yang maksimal sepanjang hari. Adanya bayangan dari pohon besar atau bangunan tinggi di sekitar lokasi dapat mengurangi jumlah energi yang dihasilkan oleh panel surya.
 - b. Bayangan: Bayangan dari pohon atau bangunan di dekat area terbuka dapat mengurangi efisiensi panel surya, bahkan jika area tersebut tampaknya terbuka.

Bayangan yang jatuh pada panel surya mengurangi intensitas cahaya yang diterima, yang secara signifikan mengurangi *output* listrik.

- c. Sudut Kemiringan dan Arah Panel: Panel surya sebaiknya dipasang dengan sudut kemiringan yang sesuai dan menghadap ke arah yang mendapatkan sinar matahari maksimal sepanjang hari, biasanya ke arah utara atau selatan, bergantung pada lokasi geografis.
- d. Aksesibilitas untuk Pemeliharaan: Lokasi yang dipilih harus mudah diakses untuk instalasi awal, perawatan rutin, dan pembersihan panel surya.
- e. Keamanan: Lokasi juga harus dipertimbangkan dari segi keamanan, baik dari potensi kerusakan fisik maupun keamanan sistem secara keseluruhan. Pilihan Lokasi yang Optimal: Antara atap bangunan tinggi dan area terbuka dekat pohon, lokasi yang paling optimal adalah atap bangunan tinggi.

Alasan:

- a. Minim Bayangan: Atap bangunan tinggi cenderung bebas dari bayangan pohon atau bangunan lain sehingga panel surya dapat menerima sinar matahari langsung sepanjang hari, meningkatkan efisiensi sistem.
- b. Optimalisasi Arah dan Sudut: Panel surya di atap dapat dipasang dengan sudut dan arah yang optimal untuk menangkap sinar matahari maksimum.
- c. Aksesibilitas: Meskipun mungkin memerlukan peralatan khusus untuk akses pemeliharaan, atap bangunan tinggi masih memberikan akses yang relatif lebih mudah dibandingkan area terbuka dekat pohon yang mungkin memerlukan pemotongan pohon atau pemindahan rintangan.

4. *Penyebab Masalah*

- a. Kondisi Cuaca: Lampu PJUTS bergantung pada sinar matahari untuk mengisi daya baterai di siang hari. Pada hari yang mendung atau berawan, intensitas sinar matahari yang diterima oleh panel surya berkurang, yang berarti baterai tidak terisi penuh. Akibatnya, baterai mungkin tidak memiliki cukup energi untuk menyalakan lampu sepanjang malam.
- b. Penempatan Panel Surya: Jika panel surya tidak dipasang dengan sudut dan orientasi yang optimal, atau jika ada bayangan dari pepohonan, bangunan, atau rintangan lainnya, efisiensi pengisian daya baterai juga akan berkurang.
- c. Kapasitas Baterai: Kapasitas baterai yang digunakan mungkin tidak cukup besar untuk menyimpan energi yang diperlukan selama malam yang panjang atau selama beberapa hari cuaca buruk berturut-turut.

Faktor-faktor yang Harus Diperhatikan

- a. Lokasi Pemasangan: Pilih lokasi yang mendapatkan sinar matahari maksimal tanpa gangguan bayangan sepanjang hari. Hindari lokasi yang sering berawan atau mendung, jika memungkinkan, atau pertimbangkan untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan energi untuk mengatasi kondisi tersebut.
 - b. Orientasi dan Sudut Panel Surya: Pastikan panel surya dipasang dengan sudut dan orientasi yang tepat untuk memaksimalkan penyerapan sinar matahari. Di belahan bumi utara, panel biasanya menghadap ke selatan untuk mendapatkan sinar matahari maksimum, sedangkan di belahan bumi selatan, panel menghadap ke utara.
 - c. Kapasitas Baterai: Gunakan baterai dengan kapasitas yang cukup untuk menyimpan energi yang cukup untuk malam yang panjang atau beberapa hari mendung. Pertimbangkan penggunaan baterai yang dirancang untuk siklus pengisian dan pengosongan yang dalam (*deep cycle*) untuk meningkatkan keandalan sistem.
 - d. Pemantauan dan Pemeliharaan: Pasang sistem pemantauan untuk memastikan bahwa panel surya dan baterai berfungsi dengan baik, dan lakukan pemeliharaan rutin untuk membersihkan panel surya dari debu atau kotoran yang dapat mengurangi efisiensi.
 - e. Solusi: Untuk mengatasi masalah lampu PJUTS yang tidak menyala secara konsisten, pemerintah daerah harus memastikan bahwa lokasi pemasangan dipilih dengan cermat, memperhatikan faktor-faktor cuaca, sudut pemasangan panel surya, dan kapasitas baterai. Selain itu, dengan pemantauan dan pemeliharaan yang rutin, masalah serupa dapat dicegah di lokasi pemasangan yang akan datang.
5. *Penyebab Masalah*
- a. Prioritas Penggunaan Energi: Mungkin sistem PLTS Hibrida tidak dikonfigurasi dengan benar untuk memprioritaskan penggunaan energi dari panel surya dan jaringan PLN sebelum beralih ke generator diesel. Jika pengaturan kontroler sistem tidak optimal, generator diesel dapat diaktifkan lebih sering daripada yang seharusnya.
 - b. Kapasitas Penyimpanan Energi: Kapasitas penyimpanan baterai mungkin tidak cukup besar untuk menampung energi yang dihasilkan dari panel surya, sehingga saat energi dari baterai habis atau tidak cukup, sistem secara otomatis beralih ke generator diesel.
 - c. Pengelolaan Beban: Beban listrik mungkin tidak dikelola dengan baik sehingga pada saat-saat tertentu, beban puncak (*peak load*) lebih tinggi dari kapasitas yang dapat disediakan oleh panel surya dan baterai, yang memicu penggunaan generator diesel.

Strategi Pengelolaan Energi

- a. Optimalkan Pengaturan Prioritas Energi: Pastikan sistem PLTS hybrid dikonfigurasi untuk menggunakan energi dari panel surya terlebih dahulu, kemudian dari jaringan PLN, dan terakhir dari generator diesel. Ini akan meminimalkan penggunaan generator diesel dan memaksimalkan pemanfaatan energi yang lebih murah dan ramah lingkungan.
- b. Tingkatkan Kapasitas Penyimpanan Energi: Pertimbangkan untuk meningkatkan kapasitas baterai agar dapat menyimpan lebih banyak energi yang dihasilkan dari panel surya. Dengan demikian, energi dari baterai dapat digunakan lebih lama sebelum perlu beralih ke generator diesel.
- c. Pemantauan dan Manajemen Beban: Lakukan pemantauan dan manajemen beban yang lebih baik untuk menghindari lonjakan beban yang tidak perlu. Mengelola beban puncak dengan lebih efektif dapat mengurangi kebutuhan penggunaan generator diesel. Gunakan perangkat lunak manajemen energi untuk mengoptimalkan distribusi energi sesuai dengan ketersediaan dan biaya.
- d. Integrasi dengan *Smart Grid* (Jika Tersedia): Jika memungkinkan, integrasikan sistem PLTS Hibrida dengan teknologi *smart grid* yang memungkinkan pengelolaan energi secara otomatis berdasarkan kondisi jaringan listrik dan kebutuhan pabrik. Ini akan membantu mengurangi penggunaan generator diesel pada saat energi dari jaringan atau panel surya tersedia.
- e. Solusi: Dengan mengoptimalkan konfigurasi sistem PLTS Hibrida dan strategi pengelolaan energi, perusahaan dapat meminimalkan penggunaan generator diesel, yang akan menurunkan biaya operasional. Ini juga akan meningkatkan efisiensi sistem dan memastikan penggunaan energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

I. Refleksi

Refleksi terdiri atas dua refleksi, yakni refleksi peserta didik dan refleksi guru.

1. Refleksi Peserta Didik

Refleksi pada Buku Siswa intinya berisi pertanyaan, ajakan, ulasan, persepsi, dan sejenisnya terkait manfaat yang dirasakan oleh peserta didik setelah mempelajari bab teknik energi surya. Oleh karena itu, guru dapat memberikan pertanyaan kunci yang membantu peserta didik untuk merefleksikan kegiatan pembelajaran, di antaranya dengan pertanyaan berikut.

- Apakah ada kendala yang kamu alami saat mempelajari materi ini?
- Apakah ada manfaat yang kamu peroleh setelah mempelajari materi ini?
- Apakah selama pembelajaran kamu mendapatkan keleluasaan dalam mengekspresikan kemampuan pengetahuan dan sikapmu?
- Berdasarkan materi yang kamu pelajari, bagian manakah yang paling kamu sukai? Mengapa?
- Apa manfaat yang kamu dapatkan setelah mempelajari materi ini untuk kehidupan sehari-hari?

2. Refleksi Guru

- Setelah memberikan materi Teknik Energi Surya, berilah tanda centang (✓) pada jawaban yang kamu anggap sesuai!

Materi	Bobot			
	1	2	3	4
Bagaimana keterlibatan peserta didik dalam proses pembelajaran?				
Apakah tujuan pembelajaran hari ini tercapai?				
Apakah kegiatan pembelajaran sudah sesuai target?				
Apakah strategi/rencana pembelajaran berjalan dengan baik?				
Apakah metode pembelajaran yang digunakan cocok untuk materi ini?				
Bagaimana keterlibatan peserta didik dalam proses pembelajaran?				

Keterangan Bobot	1. Kurang
	2. Cukup
	3. Baik
	4. Sangat Baik

- b. Kesulitan-kesulitan apa saja yang dialami peserta didik yang ditemukan dalam proses pembelajaran?
- c. Apakah yang harus diperbaiki dan bagaimana cara memperbaiki proses pembelajaran?

J. Sumber Belajar

Buku Panduan Pengoperasian dan Pemeliharaan PLTS Off-Grid. Ditjen EBTKE Kementerian ESDM, 2017.

Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya: Dos & Don'ts. GIZ dan Ditjen EBTKE Kementerian ESDM, 2018.

Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS Atap di Indonesia. ICED II, 2020.

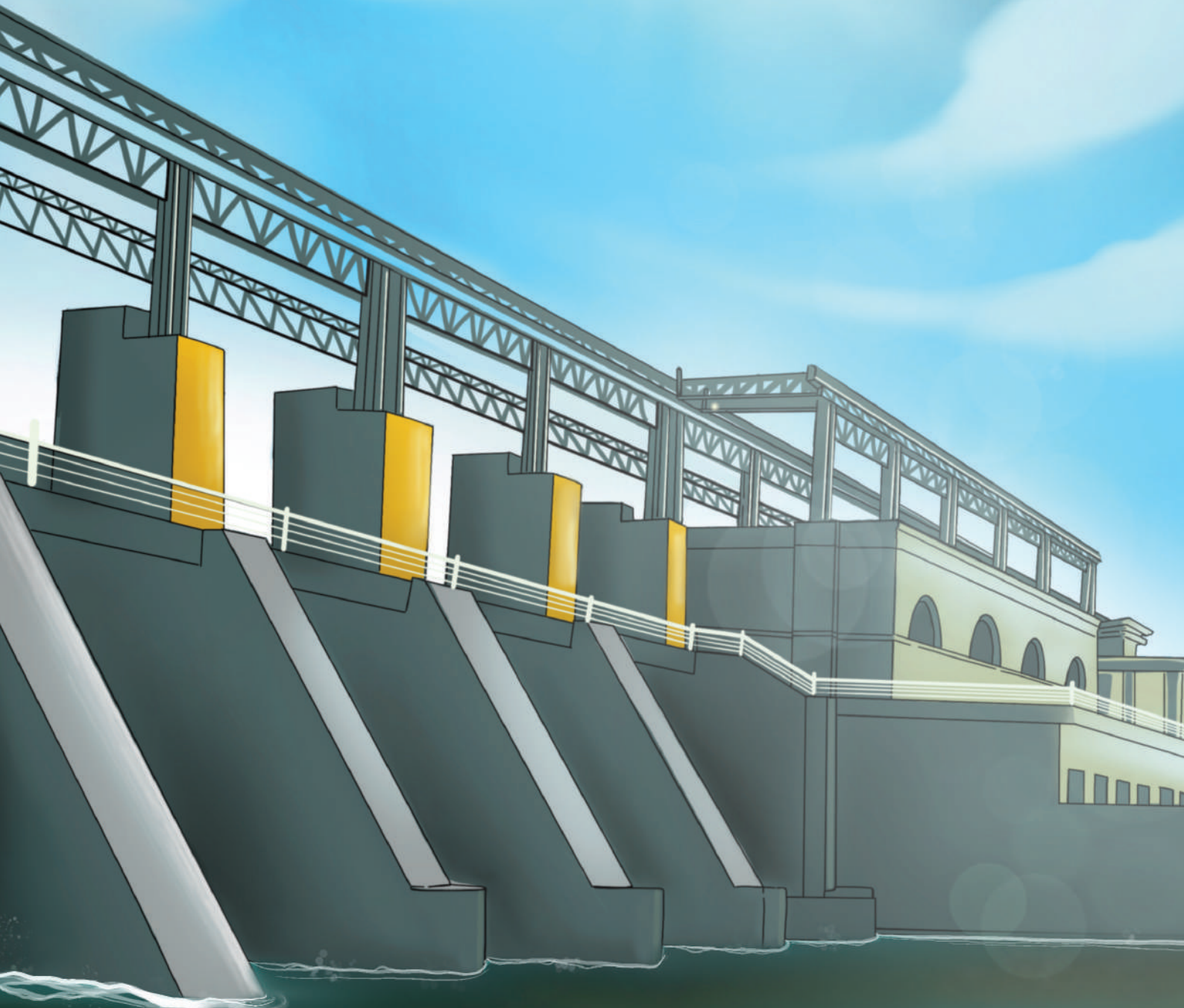
Tanya-Jawab Seputar Penggunaan Sistem PLTS Atap oleh Konsumen PT PLN (Persero). Ditjen EBTKE Kementerian ESDM, 2021.

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2024

Panduan Guru Teknik Energi Surya, Hidro, dan Angin
untuk SMK/MAK Kelas XI

Penulis: Zainul M. Pulungan, Feviana Idarrani, dan Amin Wahyono

ISBN: 978-634-00-0201-0



Panduan Khusus

Bab 2 Teknik Energi Hidro

A. Pendahuluan

Bab Teknik Energi Hidro merupakan bab yang proses pembelajarannya fokus mempelajari materi Pembangkit Listrik Tenaga Hidro. Bab ini dipelajari selama satu tahun atau dua semester. Sebelum memfasilitasi kegiatan pembelajaran bab ini, guru dapat melaksanakan aktivitas penunjang pembelajaran. Untuk aktivitas ini, guru perlu mengalokasikan waktu khusus, dalam satu pekan atau satu pertemuan. Adapun aktivitas penunjang pembelajarannya ialah kegiatan *ice breaking*, pengenalan, dan kegiatan asesmen awal. Penjelasan tentang ketiga hal ini dapat dilihat di Bab 1.

1. Tujuan Pembelajaran

Pada Bab Teknik Energi Hidro ini, guru perlu mencermati tujuan pembelajaran, yaitu peserta didik mampu memasang pembangkit listrik tenaga hidro secara bergotong royong dan kreatif. Tujuan pembelajaran bab ini pada Buku Siswa dibuat sangat ringkas untuk memudahkan peserta didik memahaminya.

Tabel 2.1 CP Elemen Teknik Energi Hidro dan Tujuan Pembelajarannya di Kelas XI

Capaian Pembelajaran Fase	Tujuan Pembelajaran
1. Peserta didik mampu menerapkan pemasangan, pemeriksaan, pengujian, pengoperasian, pemeliharaan, perawatan, dan perbaikan terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro.	2.1. Memahami konsep dasar dan komponen PLTMH. 2.2. Menerapkan pengetahuan perancangan konstruksi sipil PLTMH. 2.3. Menerapkan pengetahuan perancangan sistem mekanik PLTMH. 2.4. Menerapkan pengetahuan perancangan sistem kelistrikan PLTMH. 2.5. Menerapkan pengetahuan pemasangan konstruksi sipil PLTMH. 2.6. Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem mekanik PLTMH. 2.7. Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem kelistrikan PLTMH.

Tujuan pembelajaran di atas kemudian diturunkan ke dalam indikator tujuan pembelajaran seperti berikut.

Tabel 2.2 Indikator Tujuan Pembelajaran Teknik Energi Hidro Kelas XI

Tujuan Pembelajaran	Indikator	
2.1 Memahami konsep dasar dan komponen PLTMH.	1	Peserta didik mampu menjelaskan kekurangan pembangkit tenaga listrik tenaga hidro dari aspek teknis, sosial, lingkungan, dan ekonomi secara mandiri.
	2	Peserta didik mampu menjelaskan bangunan sipil pada PLTMH secara mandiri.
	3	Peserta didik mampu menjelaskan fungsi turbin pada PLTMH secara mandiri.
	4	Peserta didik mampu menjelaskan transmisi mekanik pada PLTMH secara mandiri.
	5	Peserta didik mampu menerapkan spesifikasi generator pada PLTMH secara mandiri.
	6	Peserta didik mampu menerapkan transmisi mekanik pada PLTMH secara mandiri.
	7	Peserta didik mampu menjelaskan tentang sistem kontrol, sistem monitoring, sistem proteksi, transmisi dan distribusi tenaga listrik pada PLTMH secara gotong royong.
	8	Peserta didik mampu menjelaskan sistem kerja PLTMH secara gotong royong.
	9	Peserta didik mampu menerapkan keselamatan ketenagalistrikan (K2) serta kesehatan dan keselamatan kerja (K3) secara gotong royong.
2.2 Menerapkan pengetahuan perancangan konstruksi sipil PLTMH.	10	Peserta didik mampu menganalisis potensi PLTMH secara gotong royong.
	11	Peserta didik mampu menganalisis debit PLTMH secara gotong royong.

Tujuan Pembelajaran	Indikator	
	12	Peserta didik mampu menganalisis debit air dan <i>head</i> pada PLTMH secara gotong royong.
	13	Peserta didik mampu merancang bangunan sipil PLTMH secara gotong royong.
2.3 Menerapkan pengetahuan perancangan sistem mekanik PLTMH.	14	Peserta didik mampu merancang sistem mekanik PLTMH secara gotong royong.
	15	Peserta didik mampu memilih turbin PLTMH yang tepat secara gotong royong.
2.4 Menerapkan pengetahuan perancangan sistem kelistrikan PLTMH.	16	Peserta didik mampu merancang sistem elektrik PLTMH secara gotong royong.
	17	Peserta didik mampu memilih jenis generator PLTMH yang tepat secara gotong royong.
2.5 Menerapkan pengetahuan pemasangan konstruksi sipil PLTMH.	18	Peserta didik mampu memasang alat pelindung diri saat bekerja di PLTMH secara gotong royong.
	19	Peserta didik mampu melaksanakan pembangunan bendung PLTMH secara gotong royong.
	20	Peserta didik mampu melaksanakan pembangunan bak penenang PLTMH secara gotong royong.
	21	Peserta didik mampu melaksanakan pembangunan saluran pelimpah PLTMH secara gotong royong.
	22	Peserta didik mampu melaksanakan pembangunan pipa pesat PLTMH secara gotong royong.
	23	Peserta didik mampu melaksanakan pembangunan rumah pembangkit PLTMH secara gotong royong.
	24	Peserta didik mampu melaksanakan pembangunan saluran pembuang PLTMH secara gotong royong.
2.6 Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem mekanik PLTMH.	25	Peserta didik mampu melaksanakan pembangunan sistem mekanik PLTMH secara gotong royong.
	26	Peserta didik mampu menganalisis standar pemasangan peralatan mekanik PLTMH secara gotong royong.

Tujuan Pembelajaran	Indikator	
2.7 Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem kelistrikan PLTMH.	27	Peserta didik mampu memasang generator PLTMH secara gotong royong.
	28	Peserta didik mampu menganalisis standar pemasangan generator PLTMH secara gotong royong.

2. Pokok Materi

Pokok materi yang disajikan mencakup berbagai aspek dari konsep dasar hingga penerapan praktis dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Hubungan antarpokok materi ini dirancang untuk membentuk kemampuan teknis dan sikap kerja peserta didik, seperti mandiri, gotong royong, bernalar kritis, serta beriman, bertakwa kepada Tuhan YME, dan berakhlak mulia.

a. Konsep Dasar dan Komponen PLTMH

Pokok materi ini mencakup pemahaman dasar tentang prinsip kerja sel hidro dan komponen utama dari sistem PLTMH. Dengan tujuan pembelajaran, peserta didik memahami prinsip dasar dan komponen-komponen utama sistem PLTMH sehingga mereka dapat mengaplikasikannya pada skenario yang lebih kompleks di pokok materi berikutnya.

b. Konsep Dasar Perencanaan PLTMH

Dalam pokok materi ini, peserta didik mempelajari perencanaan pemasangan PLTMH, yang meliputi analisis potensi, perancangan bangunan sipil, mekanik, dan elektrik. Pengetahuan ini penting untuk menentukan efisiensi sistem yang dipasang di lokasi yang tepat dengan mempertimbangkan faktor lingkungan.

Hubungan dengan pokok materi sebelumnya, pemahaman mengenai komponen PLTMH digunakan untuk merencanakan sistem yang sesuai dengan kebutuhan energi di lokasi pemasangan.

c. Pembangunan dan Pemasangan PLTMH

Pada pokok materi ini, peserta didik belajar pembangunan dan pemasangan komponen sipil, mekanik, dan elektrik. Mereka mempelajari teknik pemasangan yang tepat untuk memastikan stabilitas dan efisiensi produksi energi.

Hubungan dengan pokok materi sebelumnya, pemahaman tentang sistem dan komponen, serta perencanaan lokasi dipraktekkan dalam pembangunan dan pemasangan pada sistem ini.

3. Hubungan Antarpokok Materi dalam Mencapai Tujuan Pembelajaran

- a. Konsep dasar dan komponen PLTMH menjadi fondasi utama dalam memahami bagaimana sistem PLTMH bekerja. Ini merupakan dasar yang dibutuhkan untuk melangkah ke perencanaan dan pemasangan sistem PLTMH yang lebih kompleks.
- b. Perencanaan pemasangan PLTMH merupakan langkah penting setelah memahami komponen-komponen karena lokasi dan analisis kebutuhan energi akan menentukan keberhasilan instalasi.
- c. Perancangan PLTMH memastikan komponen-komponen yang dipilih bekerja secara optimal sesuai dengan perencanaan yang dilakukan.
- d. Pembangunan dan pemasangan memberikan keterampilan teknis yang relevan untuk memasang sistem PLTMH pada berbagai kondisi dan situasi.

Dengan saling keterkaitan antara pokok materi ini, peserta didik akan memiliki pemahaman komprehensif dari mulai konsep dasar hingga aplikasi praktis. Dengan demikian, mereka mampu mencapai tujuan pembelajaran.

4. Hubungan dengan Materi Lain

Pembelajaran bab Teknik Energi Hidro memiliki keterkaitan erat dengan berbagai materi lain yang ada di mata pelajaran dan ilmu terkait di bidang teknik. Keterkaitan ini terjadi karena teknologi energi hidro melibatkan berbagai disiplin ilmu dalam aplikasinya. Berikut ini hubungan pembelajaran Teknik Energi Hidro dengan mata pelajaran terkait.

a. Fisika

Pembelajaran Teknik Energi Hidro sangat erat kaitannya dengan Fisika, khususnya dalam konsep perubahan energi. Pemahaman tentang hukum kekekalan energi, termodinamika, dan prinsip kerja energi potensial mendasari bagaimana panel hidro mengonversi energi potensial menjadi listrik. Selain itu, topik fisika tentang elektromagnetik menjelaskan bagaimana turbin berinteraksi dengan material dalam generator untuk menghasilkan arus listrik.

b. Dasar-Dasar Teknik Energi Terbarukan

Teknik Energi Hidro merupakan bagian integral dari pembelajaran Energi Terbarukan, di mana peserta didik mempelajari berbagai sumber energi yang ramah lingkungan seperti angin, air, dan biomassa. Energi hidro dianggap sebagai salah satu teknologi paling potensial dalam mendukung transisi energi global. Pembelajaran ini menekankan perbandingan

efisiensi, biaya, dan dampak lingkungan dari energi hidro dengan sumber energi terbarukan lainnya, serta penerapan teknologi hidro dalam berbagai skala, mulai dari rumah tangga hingga industri.

c. Dasar-Dasar Teknik Ketenagalistrikan

Teknik Energi Hidro berhubungan langsung dengan konsep dasar ketenagalistrikan, seperti distribusi tenaga listrik, sistem pengkabelan, dan proteksi listrik. Energi yang dihasilkan oleh energi hidro harus dikonversi dan disalurkan melalui sistem listrik sehingga peserta didik perlu memahami cara kerja generator. Pemahaman tentang jaringan distribusi listrik, baik untuk sistem *off-grid* maupun *on-grid*, sangat penting dalam mengintegrasikan sistem tenaga hidro ke dalam jaringan listrik yang lebih luas.

d. Dasar-Dasar Teknik Elektronika

Teknik Energi Hidro berkaitan erat dengan elektronika, khususnya dalam memahami komponen kontroler yang menjadi inti dari energi hidro. Peserta didik mempelajari bagaimana kontroler bekerja. Selain itu, rangkaian elektronik yang mengatur aliran arus dan tegangan dalam sistem hidro, seperti dioda, transistor, dan penguat, juga merupakan bagian penting dalam implementasi teknologi energi hidro.

e. Dasar-Dasar Teknik Pemesinan

Teknik Energi Hidro membutuhkan pemahaman dalam teknik pemesinan, terutama dalam pembuatan dan pemasangan komponen fisik sistem energi hidro, seperti turbin, sangat penting untuk memastikan instalasi panel hidro dapat menahan beban dan kondisi lingkungan. Pengetahuan tentang bahan-bahan yang digunakan dan teknik manufaktur komponen juga relevan dalam proses instalasi dan pemeliharaan sistem hidro.

f. Dasar-Dasar Desain Pemodelan dan Informasi Bangunan

Dalam konteks energi hidro, desain bangunan ramah energi menjadi fokus utama, di mana peserta didik mempelajari cara mengintegrasikan panel hidro ke dalam desain arsitektur bangunan. Pemodelan bangunan dengan mempertimbangkan orientasi dan tata letak bangunan sipil untuk memaksimalkan aliran air. Mata pelajaran ini juga mengajarkan penggunaan perangkat lunak untuk merancang sistem energi hidro yang efisien, termasuk penentuan lokasi.

g. Dasar-Dasar Teknik Konstruksi dan Perumahan

Teknik Energi Hidro juga terhubung dengan teknik konstruksi, terutama dalam hal instalasi dan integrasi bangunan sipil. Pemahaman tentang teknik konstruksi bangunan diperlukan

untuk memastikan bahwa bangunan sipil dapat dipasang dengan aman dan efektif di berbagai jenis struktur. Selain itu, perencanaan konstruksi yang mempertimbangkan penggunaan energi hidro sebagai bagian dari desain keseluruhan bangunan menjadi bagian penting dalam menciptakan bangunan berkelanjutan.

h. Teknik Instalasi Tenaga Listrik

Pembelajaran Teknik Energi Hidro memerlukan pengetahuan mendalam tentang teknik instalasi tenaga listrik karena sistem hidro harus dihubungkan dengan perangkat listrik lainnya melalui sistem pengkabelan yang tepat. Peserta didik perlu mempelajari teknik instalasi yang aman dan efisien untuk mengalirkan listrik dari turbin ke generator dan akhirnya ke jaringan listrik atau sistem penyimpanan energi. Pemahaman tentang standar instalasi listrik dan proteksi sistem listrik juga sangat penting dalam memastikan keandalan dan keamanan instalasi hidro.

i. Teknik Pembangkit Tenaga Listrik

Teknik Energi Hidro merupakan salah satu metode pembangkit listrik yang dibahas dalam mata pelajaran Teknik Pembangkit Tenaga Listrik. Peserta didik belajar bagaimana sistem pembangkit listrik tenaga hidro bekerja dan diintegrasikan dengan pembangkit listrik lain, seperti pembangkit listrik berbasis bahan bakar fosil atau pembangkit tenaga angin. Selain itu, topik tentang efisiensi energi, pengelolaan beban, dan teknologi penyimpanan energi terkait erat dengan operasi dan pemeliharaan sistem pembangkit listrik tenaga hidro.

j. Teknik Jaringan Tenaga Listrik

Sistem energi hidro memerlukan integrasi yang tepat dengan jaringan listrik yang ada sehingga pengetahuan tentang teknik jaringan tenaga listrik sangat penting. Peserta didik mempelajari bagaimana sistem hidro dihubungkan ke jaringan listrik umum (*grid-tied*) dan bagaimana pengelolaan aliran listrik antara produksi energi hidro dan konsumsi diatur. Topik seperti *smart grid* dan distribusi listrik cerdas juga sangat relevan, karena memungkinkan integrasi dinamis dari berbagai sumber energi terbarukan, termasuk tenaga hidro, ke dalam jaringan listrik yang lebih besar.

5. Peta Materi

Peta materi dalam bagian ini merupakan bagan yang menunjukkan materi yang perlu dikuasai untuk mencapai Tujuan Pembelajaran. Materi tersebut menyangkut konsep dasar dan komponen PLTMH, Perencanaan PLTMH, serta Pembangunan dan Pemasangan PLTMH. Keseluruhannya merupakan bagian dari pembelajaran teknik energi Hidro.



6. Alokasi Waktu

Rekomendasi alokasi waktu yang diperlukan untuk pembelajaran bab ini ialah satu tahun atau tiga puluh enam pekan. Hal itu termasuk untuk pekan *ice breaking*, pengenalan, dan asesmen awal. Adapun untuk pembelajaran materi bab ini yang terdiri atas tiga subbab dapat dialokasikan waktu tiga puluh dua pekan. Selanjutnya, dua pekan terakhir dapat dikhususkan untuk kegiatan refleksi dan asesmen bagi peserta didik.

Guru perlu mencermati ketentuan dan keperluan pembelajaran yang nyata di sekolah. Pembelajaran ini dapat dilakukan dalam enam jam pelajaran atau jumlah lainnya dalam sepekan. Guru hendaknya mampu beradaptasi dengan berbagai kemungkinan yang ada.

B. Apersepsi

Pada Buku Siswa, terdapat Apersepsi dimana sebelum pembelajaran dimulai, guru menampilkan tautan gambar. Setelah peserta didik menyimak video tersebut, guru memberikan pertanyaan-pertanyaan yang berkaitan dengan gambar tersebut, yakni seperti berikut.

1. Pernahkah kamu melihat air terjun yang jatuh dari ketinggian tertentu?
2. Mengapa air tersebut dapat jatuh dari atas ke bawah dengan debit tertentu?
3. Apa saja faktor yang memengaruhi? Energi apa yang dihasilkan?
4. Bagaimana proses energi yang jatuh pada air dapat dikoversi menjadi energi listrik?

C. Konsep dan Keterampilan Prasyarat

Sebelum mempelajari materi bab ini, peserta didik harus telah memiliki kompetensi berikut.

1. Menerapkan Alat Pelindung Diri (APD) dalam Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3).
2. Menerapkan perkakas praktik, terutama perkakas tangan dan bertenaga.

3. Membaca gambar teknik energi terbarukan.
4. Menerapkan alat ukur dan alat uji
5. Menerapkan perhitungan konversi energi hidro.
6. Menerapkan dasar energi terbarukan.

D. Penilaian Sebelum Pembelajaran

Penilaian sebelum pembelajaran diberikan untuk mengetahui kemampuan awal peserta didik terhadap materi yang akan disampaikan. Bentuk penilaian sebelum pembelajaran berupa soal yang dapat dilakukan secara lisan. Peserta didik diminta mengangkat tangan pada jawaban yang dipilih. Dari sini, guru dapat langsung melihat berapa banyak peserta didik yang mempunyai pemahaman dasar tentang materi yang akan diberikan.

Berikut contoh pernyataan yang dapat disampaikan guru untuk melakukan penilaian sebelum pembelajaran.

1. Apa yang dimaksud dengan energi hidro dan bagaimana cara kerjanya?
2. Bagaimana proses konversi energi air menjadi listrik?
3. Apa saja komponen utama dari sistem pembangkit listrik tenaga hidro?
4. Apa saja alat ukur yang biasa digunakan dalam instalasi sistem PLTMH?

E. Panduan Pembelajaran

Kegiatan pembelajaran merupakan tahap yang sangat penting. Oleh sebab itu, perlu direncanakan secara serius. Bab ini terdiri atas tiga subbab. Proses pembelajaran pada setiap subbab akan dijelaskan seperti berikut. Proses pembelajaran ini merupakan inspirasi bagi guru. Guru disarankan untuk mengembangkan proses pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik peserta didik, sarana dan prasarana serta lingkungan sekolahnya.

1. Konsep Dasar dan Komponen PLTMH

Subbab ini merupakan implementasi dari Tujuan Pembelajaran 1, yaitu Menerapkan konsep dasar dan komponen PLTMH. Tujuan Pembelajaran ini diturunkan menjadi 6 indikator. Di dalam Buku Siswa, subbab Konsep Dasar dan Komponen PLTMH terdiri atas pengenalan energi hidro, komponen sipil, komponen mekanik, komponen elektrik, sistem kerja PLTMH, K2 dan K3.

Tujuan Materi	Menerapkan konsep dasar dan komponen PLTMH
Subpokok	Konsep Dasar dan Komponen PLTMH
Alokasi Waktu	54 JP (disajikan dalam 9 minggu) Rancangan pembelajaran pada contoh ini disajikan dalam 9 kali pertemuan. Alokasi waktu dapat dikembangkan sesuai kebutuhan di sekolah.

a. Pengenalan Energi Hidro

Alokasi Waktu	6 JP × 45 Menit
Tujuan	Menerapkan konsep dasar dan komponen PLTMH
Indikator	Peserta didik mampu menjelaskan kekurangan pembangkit tenaga listrik tenaga hidro dari aspek teknis, sosial, lingkungan, dan ekonomi secara mandiri.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Subbab ini membahas tentang konsep dasar pada PLTMH. Guru dapat mengajarkan dan mendorong eksplorasi materi yang tersedia pada kompetensi keahlian atau dari sumber belajar lainnya seperti Buku Siswa, modul, internet, dan lain-lain.

Pada awal materi dijelaskan prinsip kerja sel hidro, yang berfungsi berdasarkan energi potensial, memiliki relevansi penting dalam industri dan dunia kerja, terutama dalam sektor energi terbarukan dan teknologi hijau. Dalam konteks ini, pemahaman tentang sejarah PLTMH, potensi energi hidro di Indonesia, jenis-jenis energi hidro, dan keunggulan energi hidro. Kegiatan dilanjutkan dengan Aktivitas 2.1.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran untuk materi Pengenalan Energi Hidro, peserta didik dapat dilibatkan dalam studi kasus dan diskusi kelompok dengan menganalisis skenario nyata terkait potensi dan tantangan penerapan PLTMH di berbagai daerah di Indonesia. Setiap kelompok mempelajari studi kasus yang diberikan, melakukan riset singkat, menganalisis data, serta menyusun dan mempresentasikan solusi berdasarkan situasi yang ada. Mereka juga saling bertanya dan menanggapi antarkelompok untuk memperkaya perspektif. Kegiatan ini mendorong peserta didik berpikir kritis, bekerja sama, dan memahami lebih dalam tentang pemanfaatan energi hidro secara kontekstual di wilayah Indonesia.

b. Komponen Sipil

Alokasi Waktu	12 JP × 45 Menit (2 Pertemuan)
Tujuan	Menerapkan konsep dasar dan komponen PLTMH
Indikator	Peserta didik mampu menjelaskan bangunan sipil pada PLTMH secara mandiri.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Materi pada subbab ini dibagi menjadi dua pekan. Pada minggu pertama, peserta didik mampu menerapkan bendung, *intake*, saluran pelimpah, bak pengendap, dan saluran pembawa. Pada minggu kedua, peserta didik mampu menerapkan bak penenang, pipa pesat, rumah pembangkit, dan saluran pembuang

a) Bendung, *intake*, Saluran Pelimpah, Bak Pengendap, dan Saluran Pembawa

Bendung, *intake*, saluran pelimpah, bak pengendap, dan saluran pembawa ialah komponen utama pada bangunan sipil. Pada materi ini, peserta didik diharapkan mampu menerapkan fungsi dan contoh gambar dari setiap bangunan sipil. Kegiatan ini dilanjutkan dengan Aktivitas 2.2.

b) Bak Penenang, Pipa Pesat, Rumah Pembangkit, dan Saluran Pembuang

Bak penenang, pipa pesat, rumah pembangkit, dan saluran pembuang ialah komponen utama pada bangunan sipil. Pada materi ini, peserta didik diharapkan mampu menerapkan fungsi dan contoh gambar dari masing-masing bangunan sipil. Kegiatan ini di lanjutkan dengan Aktivitas 2.3

2) Alternatif Pembelajaran

Alternatif pembelajaran materi Komponen Sipil PLTMH, guru dapat mengarahkan peserta didik untuk melakukan studi literatur yang mendalam dan diskusi kelompok. Peserta didik dapat ditugaskan untuk mencari informasi dari buku teks, artikel ilmiah, atau sumber *online* mengenai fungsi dari komponen-komponen bangunan sipil PLTMH. Setelah itu, setiap kelompok dapat mendiskusikan temuan mereka dan membuat alur kerja dari bangunan sipil. Diagram ini kemudian dapat dipresentasikan kepada kelas untuk mendorong pemahaman kolektif dan penguatan konsep, sekaligus mengembangkan keterampilan komunikasi dan kolaborasi.

c. Komponen Mekanik

Alokasi Waktu	12 JP × 45 Menit
Tujuan	Menerapkan konsep dasar dan komponen PLTMH
Indikator	<ol style="list-style-type: none">1. Peserta didik mampu menjelaskan fungsi turbin pada PLTMH secara mandiri.2. Peserta didik mampu menjelaskan transmisi mekanik pada PLTMH secara mandiri.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Materi pada subbab ini dibagi menjadi dua pekan. Pada minggu pertama, peserta didik mampu menerapkan komponen turbin pada PLTMH. Pada minggu kedua, peserta didik mampu menerapkan transmisi mekanik pada PLTMH.

a) Turbin

Turbin merupakan komponen utama pada sistem mekanik. Pada materi ini, peserta didik diharapkan mampu menerapkan prinsip kerja turbin, fungsi, serta jenis dan karakteristik turbin yang ada beserta gambar-gambarnya. Kegiatan ini di lanjutkan dengan Aktivitas 2.4

b) Transmisi Mekanik

Transmisi mekanik merupakan komponen pada sistem mekanik PLTMH. Pada materi ini, peserta didik diharapkan mampu menerapkan fungsi transmisi mekanik, jenis transmisi mekanik, dan contoh gambar dari masing-masing sistem mekanik. Kegiatan ini di lanjutkan dengan Aktivitas 2.5

2) Alternatif Pembelajaran

Alternatif pembelajaran materi Komponen Mekanik PLTMH, guru dapat mengarahkan peserta didik untuk melakukan studi literatur yang mendalam dan diskusi kelompok. Peserta didik dapat ditugaskan untuk mencari informasi dari buku teks, artikel ilmiah, atau sumber *online* mengenai turbin dan transmisi mekanik. Setelah itu, setiap kelompok dapat mendiskusikan temuan mereka dan membuat alur kerja dari sistem mekanik. Diagram ini kemudian dapat dipresentasikan kepada seluruh kelas untuk mendorong pemahaman kolektif dan penguatan konsep, sekaligus Alternatif Pembelajaran.

d. Komponen Elektrik

Alokasi Waktu	12 JP × 45 Menit (2 Pertemuan)
Tujuan	Menerapkan konsep dasar dan komponen PLTMH
Indikator	<ol style="list-style-type: none">1. Peserta didik mampu menerapkan spesifikasi generator pada PLTMH secara mandiri.2. Peserta didik mampu menjelaskan tentang sistem kontrol, sistem monitoring, sistem proteksi, transmisi dan distribusi tenaga listrik pada PLTMH secara gotong royong.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Materi pada subbab ini diberikan dalam dua pekan. Pada minggu pertama, peserta didik mampu menerapkan prinsip kerja generator pada PLTMH. Pada minggu kedua, peserta didik mampu menerapkan prinsip kerja sistem kontrol, sistem monitoring, sistem proteksi, transmisi, dan distribusi tenaga listrik pada PLTMH.

a) Generator

Generator merupakan komponen utama pada sistem elektrik PLTMH. Pada materi ini, peserta didik diharapkan mampu menerapkan prinsip kerja generator, fungsi, serta jenis, spesifikasi, dan karakteristik generator. Kegiatan ini dilanjutkan dengan Aktivitas 2.6.

b) Sistem Kontrol, Sistem Monitoring, Sistem Proteksi, Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik

Sistem kontrol, sistem monitoring, sistem proteksi, transmisi dan distribusi tenaga listrik ialah komponen pada sistem elektrik PLTMH. Pada materi ini, peserta didik diharapkan mampu menerapkan prinsip kerja dan jenis dari sistem kontrol, sistem monitoring, sistem proteksi, transmisi dan distribusi tenaga listrik. Kegiatan ini dilanjutkan dengan Aktivitas 2.7

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran materi Komponen Elektrik PLTMH, guru dapat mengarahkan peserta didik untuk melakukan studi literatur yang mendalam dan diskusi kelompok. Peserta didik dapat ditugaskan untuk mencari informasi dari buku teks, artikel ilmiah, atau sumber *online* mengenai sistem elektrik PLTMH. Setelah itu, setiap kelompok dapat mendiskusikan temuan mereka dan membuat alur kerja dari sistem elektrik. Diagram ini kemudian dapat dipresentasikan kepada seluruh kelas untuk mendorong pemahaman kolektif dan penguatan konsep.

e. Sistem Kerja PLTMH

Alokasi Waktu	6 JP × 45 Menit
Tujuan	Menerapkan konsep dasar dan komponen PLTMH
Indikator	Peserta didik mampu menjelaskan sistem kerja PLTMH secara gotong royong.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Peserta didik dapat memahami prinsip kerja PLTMH dan diagram aliran air sehingga dapat dihasilkan energi listrik. Selain itu, materi ini juga menjelaskan tentang proses konversi energi yang terjadi pada PLTMH. Alur energi tersebut dijelaskan dalam *single line diagram* (SLD) PLTMH. Kegiatan ini dilanjutkan dengan Aktivitas 2.8.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran materi Sistem Kerja PLTMH, guru dapat mengarahkan peserta didik untuk membuat infografis atau contoh gambar PLTMH. Dalam kelompok, peserta didik dapat menyusun infografis yang menjelaskan komponen-komponen PLTMH dan diagram alir sistem kerja PLMTH. Dengan membuat infografis, peserta didik dapat mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan kreatif dalam menyajikan informasi kompleks secara visual dan mudah dipahami. Setelah infografis selesai, setiap kelompok dapat memajangkannya di kelas untuk digunakan sebagai referensi selama pembelajaran lebih lanjut.

f. K2 dan K3

Alokasi Waktu	6 JP × 45 Menit
Tujuan	Menerapkan konsep dasar dan komponen PLTMH
Tujuan	Peserta didik mampu menerapkan keselamatan ketenagalistrikan (K2) serta kesehatan dan keselamatan kerja (K3) secara gotong royong.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Peserta didik dapat menerapkan keselamatan ketenagalistrikan (K2) serta kesehatan dan keselamatan kerja (K3) ketika bekerja di PLTMH. Pada materi ini, peserta didik juga harus memahami penyebab terjadinya kecelakaan dari perbuatan berbahaya dan kondisi berbahaya. Setelah materi ini, peserta didik harus mampu mengidentifikasi potensi bahaya pada PLMTH

sehingga dapat meminimalisir risiko kecelakaan akibat kerja. Kegiatan dilanjutkan dengan Aktivitas 2.9.

2) Alternatif Pembelajaran

Alternatif pembelajaran materi K2 dan K3 tanpa menggunakan komponen fisik, video, animasi, atau studi kasus, guru dapat mengarahkan peserta didik untuk membuat infografis. Dalam kelompok, peserta didik dapat menyusun infografis yang menjelaskan contoh perbuatan berbahaya dan kondisi berbahaya. Infografis ini dapat mencakup elemen-elemen seperti gambar contoh aktivitas serta penggunaan warna dan ikon untuk memperjelas informasi. Dengan membuat infografis, peserta didik dapat mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan kreatif dalam menyajikan informasi kompleks secara visual dan mudah dipahami. Setelah infografis selesai, setiap kelompok dapat memajangnya di kelas untuk digunakan sebagai referensi selama pembelajaran lebih lanjut.

2. Perencanaan PLTMH

Subbab ini merupakan implementasi dari Tujuan Pembelajaran 2 seperti tampak berikut ini. Tujuan Pembelajaran ini diturunkan menjadi 6 indikator. Di dalam Buku Siswa, subbab Perencanaan PLTMH terdiri atas analisis potensi PLTMH, perencanaan bangunan sipil, perencanaan sistem mekanik, dan perencanaan sistem elektrik.

Tujuan Materi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menerapkan pengetahuan perancangan konstruksi sipil PLTMH. 2. Menerapkan pengetahuan perancangan sistem mekanik PLTMH. 3. Menerapkan pengetahuan perancangan sistem kelistrikan PLTMH.
Subpokok	Konsep Perencanaan PLTMH
Alokasi Waktu	54 JP (disajikan dalam 9 minggu) Rancangan pembelajaran pada contoh ini disajikan dalam 9 kali pertemuan. Alokasi waktu dapat dikembangkan sesuai kebutuhan di sekolah.

a. Analisis Potensi PLTMH

Alokasi Waktu	18 JP × 45 Menit
Tujuan	Menerapkan pengetahuan perancangan konstruksi sipil PLTMH.

Indikator	<ol style="list-style-type: none"> 1. Peserta didik mampu menganalisis potensi PLTMH secara gotong royong. 2. Peserta didik mampu menganalisis debit PLTMH secara gotong royong. 3. Peserta didik mampu menganalisis debit air dan head pada PLTMH secara gotong royong.
-----------	---

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Aktivitas pembelajaran tentang perencanaan pemasangan PLTMH difokuskan pada analisis potensi debit, *head*, dan kapasitas, yang bertujuan membekali peserta didik dengan keterampilan teknis dan pengambilan keputusan yang cermat. Melalui simulasi dan studi kasus, peserta didik belajar bekerja dalam tim, berkomunikasi efektif, dan menyusun rencana yang realistis, sambil menumbuhkan karakter Profil Pelajar Pancasila seperti tanggung jawab, kepemimpinan, dan kerja sama. Pembelajaran berdiferensiasi dilakukan dengan membagi tugas sesuai tingkat pemahaman peserta didik, serta menyediakan alat bantu seperti simulasi, video, dan sesi tanya jawab. Aktivitas ini berbasis kompetensi dan berorientasi pada pengembangan keterampilan yang relevan dengan kebutuhan industri dan sesuai dengan SKKNI sehingga peserta didik siap menghadapi tantangan di bidang energi terbarukan. Kegiatan dilanjutkan dengan aktivitas 2.10; 2.11; 2.12.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran untuk peserta didik dalam menerapkan konsep perencanaan pembangunan dan pemasangan PLTMH, termasuk analisis potensi, peserta didik dapat memanfaatkan video edukatif dan sesi diskusi kelompok. Video ini akan menyajikan informasi mendalam mengenai berbagai metode dalam menghitung debit dan *head*. Setelah menonton video, peserta didik dibagi dalam kelompok kecil untuk berdiskusi dan membuat presentasi alur pengukuran dari metode analisis debit dan potensi yang dipilih. Diskusi kelompok ini mendukung pembelajaran kolaboratif, memungkinkan peserta didik untuk menggabungkan pengetahuan teoretis dengan aplikasi praktis, serta meningkatkan keterampilan kerja sama dan penyelesaian masalah dalam konteks yang relevan dan nyata.

b. Perancangan Bangunan Sipil PLTMH

Alokasi Waktu	12 JP × 45 Menit
Tujuan	Menerapkan pengetahuan perancangan konstruksi sipil PLTMH.
Indikator	Peserta didik mampu merancang bangunan sipil PLTMH secara gotong royong.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Aktivitas pembelajaran tentang konsep perancangan bangunan sipil PLTMH bertujuan untuk membekali peserta didik dengan pemahaman teknis mengenai ketentuan umum dalam pembangunan, sekaligus menumbuhkan karakter sesuai Profil Pelajar Pancasila (P3), seperti tanggung jawab, kerja sama, dan sikap profesional. Melalui diskusi kelompok dan presentasi rancangan, peserta didik dilatih untuk merancang solusi yang mempertimbangkan keberagaman kebutuhan dan konteks lapangan, sehingga mengembangkan keterampilan kepemimpinan dan penyelesaian masalah. Pembelajaran ini dirancang berbasis kompetensi dengan fokus pada pengetahuan teknis, keterampilan praktis, dan sikap yang sesuai dengan kebutuhan dunia kerja dan standar industri, memastikan peserta didik siap menghadapi tantangan nyata di bidang energi terbarukan. Kegiatan dilanjutkan dengan Aktivitas 2.13.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran, peserta didik dapat mengikuti kegiatan yang melibatkan video edukasi dan diskusi kelompok untuk menerapkan konsep perancangan bangunan sipil PLTMH secara bergotong royong. Pertama, peserta didik akan menonton video yang menjelaskan langkah-langkah perencanaan PLTMH. Setelah itu, mereka akan berdiskusi dalam kelompok untuk membahas dan mengembangkan rencana pembangunan sipil berdasarkan informasi dari video. Diskusi ini akan memperkuat pemahaman peserta didik tentang sistem bangunan sipil serta mendorong kerja sama dalam merancang solusi yang tepat untuk skenario nyata, sekaligus mengasah keterampilan komunikasi dan kolaborasi mereka.

c. Perancangan Sistem Mekanik PLTMH

Alokasi Waktu	12 JP × 45 Menit
Tujuan	Menerapkan pengetahuan perancangan sistem mekanik PLTMH.
Indikator	<ol style="list-style-type: none">1. Peserta didik mampu merancang sistem mekanik PLTMH secara gotong royong.2. Peserta didik mampu memilih turbin PLTMH yang tepat secara gotong royong.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Aktivitas pembelajaran mengenai perancangan sistem mekanik PLTMH dirancang tidak hanya untuk membekali peserta didik dengan pemahaman teknis terkait ketentuan umum sistem mekanik, tetapi juga untuk menumbuhkan karakter sesuai Profil Pelajar Pancasila

(P3), seperti tanggung jawab, kerja sama, dan sikap profesional. Melalui diskusi kelompok dan presentasi rancangan, peserta didik dilatih menyusun solusi yang mempertimbangkan keberagaman kebutuhan dan konteks lapangan, sekaligus mengembangkan keterampilan kepemimpinan dan penyelesaian masalah. Pembelajaran ini berbasis kompetensi dengan fokus pada penguasaan pengetahuan teknis, keterampilan praktis, dan sikap kerja profesional yang sesuai dengan standar industri dan kebutuhan dunia kerja. Kegiatan dilanjutkan dengan Aktivitas 2.14.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran, peserta didik dapat mengikuti kegiatan membuat gambar teknik rancangan sistem mekanik yang terdiri atas turbin dan sistem transmisi secara bergotong royong. Pertama, peserta didik membuat rancangan gambar teknik sistem mekanik. Setelah itu, mereka akan berdiskusi dalam kelompok untuk membahas dan mengembangkan rencana pemasangan sistem mekanik. Diskusi ini akan memperkuat pemahaman peserta didik tentang sistem mekanik serta mendorong kerja sama dalam merancang solusi yang tepat untuk skenario nyata, sekaligus mengasah keterampilan komunikasi dan kolaborasi mereka.

d. Perancangan Sistem Elektrik PLTMH

Alokasi Waktu	12 JP × 45 Menit
Tujuan	Menerapkan pengetahuan perancangan sistem kelistrikan PLTMH.
Indikator	<ol style="list-style-type: none"> 1. Peserta didik mampu merancang sistem elektrik PLTMH secara gotong royong. 2. Peserta didik mampu memilih jenis generator PLTMH yang tepat secara gotong royong.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Aktivitas pembelajaran mengenai perancangan sistem elektrik PLTMH mencakup ketentuan-ketentuan umum yang harus dipenuhi, dan tidak hanya bertujuan mengajarkan aspek teknis, tetapi juga mengembangkan karakter peserta didik sesuai Profil Pelajar Pancasila (P3), seperti tanggung jawab, kerja sama, dan sikap profesional. Melalui diskusi kelompok dan presentasi rencana perancangan, peserta didik belajar merancang solusi yang mempertimbangkan keberagaman kebutuhan dan konteks, sekaligus mengasah keterampilan kepemimpinan dan pemecahan masalah yang penting di dunia kerja. Aktivitas ini dirancang sebagai pembelajaran berbasis kompetensi yang menekankan penguasaan pengetahuan, keterampilan teknis, dan sikap kerja sesuai standar industri. Dalam perancangannya, peserta didik diajak memahami

bagaimana sistem elektrik PLTMH yang rapi dan terstruktur, seperti kabel dan alat yang diberi label, susunan komponen yang efisien, serta panel yang aman dan mudah diperbaiki, menjadi contoh praktik terbaik. Kegiatan dilanjutkan dengan Aktivitas 2.15 dan 2.16.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran, peserta didik dapat mengikuti kegiatan yang melibatkan video edukasi dan diskusi kelompok untuk menerapkan konsep perancangan sistem elektrik PLTMH secara bergotong royong. Pertama, peserta didik akan menonton video yang menjelaskan langkah-langkah perencanaan PLTMH. Setelah itu, mereka akan berdiskusi dalam kelompok untuk membahas dan mengembangkan rencana sistem elektrik berdasarkan informasi dari video. Diskusi ini akan memperkuat pemahaman peserta didik tentang sistem elektrik serta mendorong kerja sama dalam merancang solusi yang tepat untuk skenario nyata, sekaligus mengasah keterampilan komunikasi dan kolaborasi mereka.

3. Pembangunan dan Pemasangan PLTMH

Di dalam Buku Siswa, subbab Pembangunan dan Pemasangan PLTMH terdiri atas persiapan pembangunan dan pemasangan PLTMH, pelaksanaan pembangunan dan pemasangan bangunan sipil, pelaksanaan pemasangan sistem mekanik, dan pelaksanaan pemasangan sistem elektrik.

Tujuan Materi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menerapkan pengetahuan pemasangan konstruksi sipil PLTMH. 2. Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem mekanik PLTMH 3. Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem kelistrikan PLTMH.
Subpokok	Pembangunan dan pemasangan PLTMH
Alokasi Waktu	<p>108 JP (disajikan dalam 18 minggu)</p> <p>Rancangan pembelajaran pada contoh ini disajikan dalam 18 kali pertemuan. Alokasi waktu dapat dikembangkan sesuai kebutuhan di sekolah.</p>

a. Persiapan Pembangunan dan Pemasangan PLTMH

Alokasi Waktu	6 JP × 45 Menit
Tujuan	Menerapkan pengetahuan pemasangan konstruksi sipil PLTMH.
Indikator	Peserta didik mampu memasang alat pelindung diri saat bekerja di PLTMH secara gotong royong.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Aktivitas pembelajaran ini bertujuan untuk membekali peserta didik dengan pengetahuan dan keterampilan tentang alat pelindung diri saat bekerja. Selain itu, peserta didik juga dapat memahami dokumen kerja yang diperlukan serta peralatan dan perlengkapan kerja yang dibutuhkan. Kegiatan dilanjutkan dengan Aktivitas 2.17.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran, peserta didik dapat menerapkan peralatan dan perlengkapan kerja yang dibutuhkan ketika melakukan pembangunan dan pemasangan PLTMH. Setelah itu, mereka akan mempresentasikan hasil mereka kepada kelas, menerima masukan dari kelompok lain, dan bersama-sama menyempurnakan konsep yang telah mereka buat. Aktivitas ini akan mengembangkan kemampuan berpikir kritis, kolaborasi, dan komunikasi yang efektif.

b. Pelaksanaan Pembangunan dan Pemasangan PLTMH

Alokasi Waktu	36 JP × 45 Menit
Tujuan	Menerapkan pengetahuan pemasangan konstruksi sipil PLTMH.
Indikator	<ol style="list-style-type: none">1. Peserta didik mampu melaksanakan pembangunan bendung PLTMH secara gotong royong.2. Peserta didik mampu melaksanakan pembangunan bak penenang PLTMH secara gotong royong.3. Peserta didik mampu melaksanakan pembangunan saluran pelimpah PLTMH secara gotong royong.4. Peserta didik mampu melaksanakan pembangunan pipa pesat PLTMH secara gotong royong.5. Peserta didik mampu melaksanakan pembangunan rumah pembangkit PLTMH secara gotong royong.6. Peserta didik mampu melaksanakan pembangunan saluran pembuang PLTMH secara gotong royong.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Aktivitas pembelajaran ini bertujuan untuk membekali peserta didik dengan pengetahuan dan keterampilan tentang pelaksanaan pembangunan dan pemasangan bangunan sipil pada PLTMH, sambil mendukung pengembangan karakter dalam Profil Pelajar Pancasila (P3) seperti gotong royong dan tanggung jawab melalui kerja kelompok. Peserta didik diajak

untuk memahami pentingnya keberlanjutan energi dan dampak lingkungan, mempersiapkan mereka menjadi individu yang peduli terhadap penggunaan energi terbarukan. Pembelajaran berdiferensiasi diterapkan dengan memberikan tugas sesuai kemampuan teknis dan minat peserta didik, baik yang fokus pada analisis pelaksanaan atau teknik praktis pembangunan. Aktivitas ini berbasis kompetensi, mengembangkan pengetahuan teknis, keterampilan perencanaan dan pemasangan, serta sikap profesional sesuai standar industri, memastikan peserta didik siap memasuki dunia kerja dengan keterampilan yang relevan dan adaptif terhadap perkembangan energi terbarukan sesuai dengan SKKNI. Kegiatan dilanjutkan dengan pemahaman di antaranya:

- a. bendung dan intake dengan Aktivitas 2.18
- b. bak penenang dengan Aktivitas 2.19
- c. saluran pelimpah dengan Aktivitas 2.20
- d. pipa pesat dengan Aktivitas 2.21
- e. rumah pembangkit dengan Aktivitas 2.22
- f. saluran pembuang dengan Aktivitas 2.23

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran, peserta didik dapat menerapkan peralatan dan perlengkapan kerja yang dibutuhkan ketika melakukan pembangunan dan pemasangan PLTMH. Setelah itu, mereka akan mempresentasikan hasil mereka kepada kelas, menerima masukan dari kelompok lain, dan bersama-sama menyempurnakan konsep yang telah mereka buat. Aktivitas ini akan mengembangkan kemampuan berpikir kritis, kolaborasi, dan komunikasi yang efektif.

c. Pemasangan Sistem Mekanik

Alokasi Waktu	30 JP × 45 Menit
Tujuan	Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem mekanik PLTMH
Indikator	<ol style="list-style-type: none"> 1. Peserta didik mampu menerapkan pelaksanaan pembangunan sistem mekanik PLTMH secara gotong royong. 2. Peserta didik mampu menganalisis standar pemasangan peralatan mekanik PLTMH secara gotong royong.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Pembelajaran ini bertujuan untuk membekali peserta didik dengan pengetahuan dan keterampilan dalam pemasangan turbin dan sistem transmisi mekanik PLTMH, sambil

mendukung pengembangan karakter dalam Profil Pelajar Pancasila (P3) seperti gotong royong dan tanggung jawab melalui kerja kelompok. Peserta didik berkolaborasi dalam merancang dan memasang sistem mekanik PLTMH serta memahami pentingnya keberlanjutan energi dan dampak lingkungan. Pembelajaran berdiferensiasi diterapkan dengan memberikan tugas sesuai kemampuan teknis dan minat, seperti menghitung efisiensi turbin bagi peserta didik yang lebih analitis, atau fokus pada teknik pemasangan bagi yang lebih praktis. Aktivitas ini berbasis kompetensi, mengembangkan pengetahuan teknis, keterampilan perencanaan, serta sikap profesional sesuai dengan standar industri, memastikan peserta didik siap memasuki dunia kerja dengan keterampilan yang relevan dan adaptif terhadap perkembangan teknologi energi terbarukan sesuai dengan SKKNI. Kegiatan dilanjutkan dengan Aktivitas 2.24 s.d. 2.25.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran, peserta didik dapat menerapkan pemasangan sistem mekanik di atas tanah melalui kegiatan simulasi dan kerja kelompok. Dalam kegiatan ini, peserta didik akan dibagi menjadi kelompok-kelompok yang bertugas untuk merancang pemasangan turbin dan sistem transmisi. Setiap kelompok akan membuat sketsa rancangan dan mempresentasikan solusi mereka, termasuk bagaimana memastikan stabilitas dan efisiensi sistem. Diskusi kelompok dan presentasi ini akan menumbuhkan sikap gotong royong serta keterampilan analisis dan komunikasi dalam merencanakan proyek energi terbarukan.

d. Pemasangan Sistem Elektrik

Alokasi Waktu	36 JP × 45 Menit
Tujuan	Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem kelistrikan PLTMH.
Indikator	<ol style="list-style-type: none"> 1. Peserta didik mampu memasang generator PLTMH secara gotong royong. 2. Peserta didik mampu menganalisis standar pemasangan generator PLTMH secara gotong royong.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Aktivitas pembelajaran mengenai pemasangan sistem elektrik PLTMH dirancang untuk membekali peserta didik dengan keterampilan teknis dan pemahaman tentang pentingnya keandalan serta keselamatan dalam penerapan teknologi ini, sekaligus mengembangkan karakter Profil Pelajar Pancasila (P3) seperti tanggung jawab, ketelitian, dan kerja sama.

Melalui proyek berbasis tim, peserta didik belajar merencanakan, memasang, dan memahami komponen sistem PLTMH secara menyeluruh, termasuk sistem penerangan jalan tenaga hidro, serta prosedur pengujian dan pemeliharaannya. Pembelajaran berdiferensiasi diterapkan dengan membagi tugas berdasarkan tingkat keterampilan, sehingga setiap peserta didik dapat berkembang sesuai potensinya. Guru juga memastikan tidak terjadi miskonsepsi terkait fungsi dan pengaturan sistem elektrik serta memperhatikan latar belakang budaya peserta didik. Aktivitas ini berbasis kompetensi, menekankan materi esensial dan standar industri yang relevan dengan kebutuhan dunia kerja dan SKKNI, dan dilanjutkan dengan Aktivitas 2.26 tentang Pemasangan Generator, Sistem Kontrol, dan Pengkabelan.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran, peserta didik dapat melaksanakan simulasi pemasangan sistem elektrik secara bergotong royong. Dalam kegiatan ini, peserta didik akan dibagi dalam kelompok untuk merencanakan dan menentukan lokasi pemasangan yang tepat, memperhitungkan faktor-faktor seperti arah matahari, keamanan, dan efisiensi penerangan. Setiap kelompok akan bekerja sama untuk membuat model atau sketsa penempatan kedudukan generator dan sistem kontrol, serta menyusun strategi implementasi yang efektif. Diskusi kelompok akan dilakukan untuk mengevaluasi dan memperbaiki rencana pemasangan sehingga peserta didik dapat memahami pentingnya kolaborasi dalam mengembangkan solusi energi terbarukan yang bermanfaat bagi masyarakat.

F. Tindak Lanjut

Kegiatan tindak lanjut dapat dilakukan dengan dua kegiatan, yaitu Pengayaan dan Remedial

1. Pengayaan

Pengayaan diberikan bagi peserta didik yang telah mencapai kriteria ketercapaian dari tujuan pembelajaran yang telah ditetapkan. Peserta didik diarahkan untuk mengeksplorasi kompetensi dengan membaca materi pada Buku Siswa bagian Pengayaan.

2. Remedial

Bagi peserta didik yang belum memenuhi Kriteria Ketercapaian Tujuan Pembelajaran (KKTP), guru perlu melakukan hal berikut.

- a. Guru memberikan bimbingan individu atau secara kelompok.
- b. Guru memberikan pembelajaran ulang dengan metode berbeda.

- c. Guru memanfaatkan tutor sebaya, yaitu peserta didik lain membantu temannya yang masih belum dapat menapai KKTP dengan cara membuat kelompok belajar. Peserta didik yang dianggap mampu akan menjadi narasumber bagi temannya.

G. Asesmen

Asesmen awal disampaikan pada saat awal kegiatan pembelajaran. Asesmen formatif menggunakan instrumen asesmen berupa aktivitas peserta didik baik individu maupun kelompok. Pada bab ini, asesmen aktivitas dapat dilakukan dengan rubrik asesmen pada Panduan Umum. Asesmen sumatif dilakukan pada bagian uji kompetensi merupakan penilaian dalam instrumen tes tertulis dengan bentuk uraian. Untuk lebih jelas guru dapat melihat tabel rubrik asesmen berikut.

1. Rubrik Penilaian Aktivitas

a. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.1

Tabel 2.3 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.1

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Kekurangan PLTMH dari Aspek Teknis	Mampu menjelaskan tiga kekurangan PLTMH dari aspek teknis.	Mampu menjelaskan dua kekurangan PLTMH dari aspek teknis.	Mampu menjelaskan satu kekurangan PLTMH dari aspek teknis.	Tidak dapat menjelaskan kekurangan PLTMH dari aspek teknis.
Kekurangan PLTMH dari Aspek Sosial	Mampu menjelaskan tiga kekurangan PLTMH dari aspek sosial.	Mampu menjelaskan dua kekurangan PLTMH dari aspek sosial.	Mampu menjelaskan satu kekurangan PLTMH dari aspek sosial.	Tidak dapat menjelaskan kekurangan PLTMH aspek sosial.
Kekurangan PLTMH dari Aspek Lingkungan	Mampu menjelaskan tiga kekurangan PLTMH dari aspek lingkungan.	Mampu menjelaskan dua kekurangan PLTMH dari aspek lingkungan.	Mampu menjelaskan satu kekurangan PLTMH dari aspek lingkungan.	Tidak dapat menjelaskan kekurangan PLTMH aspek lingkungan
Kekurangan PLTMH dari Aspek Ekonomi	Mampu menjelaskan tiga kekurangan PLTMH dari aspek ekonomi.	Mampu menjelaskan dua kekurangan PLTMH dari aspek ekonomi.	Mampu menjelaskan satu kekurangan PLTMH dari aspek ekonomi.	Tidak dapat menjelaskan kekurangan PLTMH aspek ekonomi.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

b. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.2

Tabel 2.4 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.2

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Tantangan teknis dan lingkungan pada bangunan sipil serta pengaruh terhadap efisiensi dan keberlanjutan.	Mampu menjelaskan tantangan teknis dan lingkungan pada bangunan sipil serta pengaruh terhadap efisiensi dan keberlanjutan secara komprehensif.	Mampu menjelaskan tantangan teknis dan lingkungan pada bangunan sipil serta pengaruh terhadap efisiensi dan keberlanjutan, tetapi kurang lengkap.	Mampu menjelaskan tantangan teknis dan lingkungan pada bangunan sipil, tetapi tidak dapat menjelaskan pengaruh terhadap efisiensi dan keberlanjutan.	Tidak mampu menjelaskan tantangan teknis dan lingkungan pada bangunan sipil.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

c. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.3

Tabel 2.5 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.3

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Mengidentifikasi masalah, menganalisis dampak penyebab, dan mengevaluasi solusi alternatif.	Dapat mengidentifikasi masalah, menganalisis dampak penyebab, mengevaluasi solusi alternatif secara komprehensif.	Dapat mengidentifikasi masalah, menganalisis dampak penyebab, mengevaluasi solusi alternatif, tetapi tidak lengkap.	Dapat mengidentifikasi masalah, menganalisis dampak penyebab, tetapi tidak dapat mengevaluasi solusi alternatif.	Tidak dapat menjelaskan mengidentifikasi masalah, menganalisis dampak penyebab, dan mengevaluasi solusi alternatif.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

d. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.4

Tabel 2.6 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.4

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Jenis Generator PLTMH (AC Generator)	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/pengukuran jenis generator secara komprehensif.	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/pengukuran jenis generator, tetapi kurang lengkap.	Menjelaskan spesifikasi, tetapi tidak dapat menjelaskan aktual pengamatan/pengukuran jenis generator.	Tidak dapat menjelaskan spesifikasi dan aktual pengamatan/pengukuran jenis generator.
Merek Generator PLTMH (MJL 160 MA4)	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/pengukuran merek generator secara komprehensif.	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/pengukuran merek generator, tetapi kurang lengkap.	Menjelaskan spesifikasi, tetapi tidak dapat menjelaskan aktual pengamatan/pengukuran merek generator.	Tidak dapat menjelaskan spesifikasi dan aktual pengamatan/pengukuran merek generator.
Kapasitas Generator (Rentang 28-33.6 KVA)	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/pengukuran kapasitas generator secara komprehensif.	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/pengukuran kapasitas generator, tetapi kurang lengkap.	Menjelaskan spesifikasi, namun tidak dapat menjelaskan aktual pengamatan/pengukuran kapasitas generator.	Tidak dapat menjelaskan spesifikasi dan aktual pengamatan/pengukuran kapasitas generator.
Putaran Generator (1500-1800 RPM)	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/pengukuran putaran generator secara komprehensif.	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/pengukuran putaran generator, tetapi kurang lengkap.	Menjelaskan spesifikasi, tetapi tidak dapat menjelaskan aktual pengamatan/pengukuran putaran generator.	Tidak dapat menjelaskan spesifikasi dan aktual pengamatan/pengukuran putaran generator.

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Frekuensi Generator (50-60 HZ)	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/pengukuran frekuensi generator secara komprehensif.	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/pengukuran frekuensi generator, tetapi kurang lengkap.	Menjelaskan spesifikasi, tetapi tidak dapat menjelaskan aktual pengamatan/pengukuran frekuensi generator.	Tidak dapat menjelaskan spesifikasi dan aktual pengamatan/pengukuran frekuensi generator.
Voltase Generator (220-480 V)	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/pengukuran voltase generator secara komprehensif.	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/pengukuran voltase generator, tetapi kurang lengkap.	Menjelaskan spesifikasi, tetapi tidak dapat menjelaskan aktual pengamatan/pengukuran jenis voltase generator.	Tidak dapat menjelaskan spesifikasi dan aktual pengamatan/pengukuran voltase generator.
Jumlah Fasa Generator (3 phasa)	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/pengukuran fasa generator secara komprehensif.	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/pengukuran fasa generator, tetapi kurang lengkap.	Menjelaskan spesifikasi, tetapi tidak dapat menjelaskan aktual pengamatan/pengukuran fasa generator.	Tidak dapat menjelaskan spesifikasi dan aktual pengamatan/pengukuran fasa generator.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

e. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.5

Tabel 2.7 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.5

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Jenis Transmisi dan Fungsi	Dapat menjelaskan jenis transmisi dan fungsi secara komprehensif.	Dapat menjelaskan jenis transmisi dan fungsi, tetapi kurang lengkap.	Hanya dapat menjelaskan jenis transmisi.	Tidak dapat menjelaskan jenis transmisi dan fungsi.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

f. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.6

Tabel 2.8 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.6

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Jenis Generator PLTMH	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/ pengukuran jenis generator secara komprehensif.	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/ pengukuran jenis generator, tetapi kurang lengkap.	Menjelaskan spesifikasi, tetapi tidak dapat menjelaskan aktual pengamatan/ pengukuran jenis generator.	Tidak dapat menjelaskan spesifikasi dan aktual pengamatan/ pengukuran jenis generator.
Merek Generator PLTMH	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/ pengukuran merek generator secara komprehensif.	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/ pengukuran merek generator, tetapi kurang lengkap.	Menjelaskan spesifikasi, tetapi tidak dapat menjelaskan aktual pengamatan/ pengukuran merek generator.	Tidak dapat menjelaskan spesifikasi dan aktual pengamatan/ pengukuran merek generator.
Kapasitas Generator	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/ pengukuran kapasitas generator secara komprehensif.	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/ pengukuran kapasitas generator, tetapi kurang lengkap.	Menjelaskan spesifikasi, tetapi tidak dapat menjelaskan aktual pengamatan/ pengukuran kapasitas generator.	Tidak dapat menjelaskan spesifikasi dan aktual pengamatan/ pengukuran kapasitas generator.
Putaran Generator	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/ pengukuran putaran generator secara komprehensif.	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/ pengukuran putaran generator, tetapi kurang lengkap.	Menjelaskan spesifikasi, tetapi tidak dapat menjelaskan aktual pengamatan/ pengukuran putaran generator.	Tidak dapat menjelaskan spesifikasi dan aktual pengamatan/ pengukuran putaran generator.

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Frekuensi Generator	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/pengukuran frekuensi generator secara komprehensif.	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/pengukuran frekuensi generator, tetapi kurang lengkap.	Menjelaskan spesifikasi, tetapi tidak dapat menjelaskan aktual pengamatan/pengukuran frekuensi generator.	Tidak dapat menjelaskan spesifikasi dan aktual pengamatan/pengukuran frekuensi generator.
Tegangan Generator	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/pengukuran voltase generator secara komprehensif.	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/pengukuran voltase generator, tetapi kurang lengkap.	Menjelaskan spesifikasi, tetapi tidak dapat menjelaskan aktual pengamatan/pengukuran jenis voltase generator.	Tidak dapat menjelaskan spesifikasi dan aktual pengamatan/pengukuran voltase generator.
Jumlah Fasa Generator	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/pengukuran fasa generator secara komprehensif.	Menjelaskan spesifikasi dan pengamatan/pengukuran fasa generator, tetapi kurang lengkap.	Menjelaskan spesifikasi, tetapi tidak dapat menjelaskan aktual pengamatan/pengukuran fasa generator.	Tidak dapat menjelaskan spesifikasi dan aktual pengamatan/pengukuran fasa generator.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

g. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.7

Tabel 2.9 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.7

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Sistem Kontrol	Menjelaskan fungsi tentang sistem kontrol dengan komprehensif.	Menjelaskan fungsi tentang sistem kontrol, tetapi kurang lengkap.	Menjelaskan fungsi tentang sistem kontrol, tetapi kurang tepat.	Tidak dapat menjelaskan fungsi tentang sistem kontrol.
Sistem Monitoring	Menjelaskan fungsi tentang sistem monitoring dengan komprehensif.	Menjelaskan fungsi tentang sistem monitoring, tetapi kurang lengkap.	Menjelaskan fungsi tentang sistem monitoring dengan kurang tepat.	Tidak dapat menjelaskan fungsi tentang sistem monitoring.

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Sistem Proteksi	Menjelaskan fungsi tentang sistem proteksi dengan komprehensif.	Menjelaskan fungsi tentang sistem proteksi, tetapi kurang lengkap.	Menjelaskan fungsi tentang sistem proteksi, tetapi kurang tepat.	Tidak dapat menjelaskan fungsi tentang sistem proteksi.
Transmisi dan Distribusi	Menjelaskan fungsi tentang transmisi dan distribusi dengan komprehensif.	Menjelaskan fungsi tentang transmisi dan distribusi, tetapi kurang lengkap.	Menjelaskan fungsi tentang transmisi dan distribusi, tetapi kurang tepat.	Tidak dapat menjelaskan fungsi tentang transmisi dan distribusi.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

h. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.8

Tabel 2.10 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.8

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Diagram Alur PLTMH	Dapat membuat diagram alur pltmh dan proses perubahan energi dengan komprehensif.	Dapat membuat diagram alur pltmh dan proses perubahan energi, tetapi kurang lengkap.	Dapat membuat diagram alur pltmh dan proses perubahan energi, tetapi kurang tepat.	Tidak dapat membuat diagram alur pltmh dan proses perubahan energi.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

i. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.9

Tabel 2.11 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.9

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Contoh Perbuatan Berbahaya	Dapat membuat ≥ 5 contoh perbuatan berbahaya.	Dapat membuat ≥ 3 contoh perbuatan berbahaya.	Dapat membuat ≥ 1 contoh perbuatan berbahaya.	Tidak dapat membuat contoh perbuatan berbahaya.
Contoh Kegiatan Berbahaya	Dapat membuat ≥ 5 contoh kegiatan berbahaya.	Dapat membuat ≥ 3 contoh kegiatan berbahaya.	Dapat membuat ≥ 1 contoh kegiatan berbahaya.	Tidak dapat membuat contoh kegiatan berbahaya.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

j. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.10

Tabel 2.12 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.10

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Kapasitas Pemangkit	Dapat menghitung kapasitas pembangkit dengan benar.	Dapat menghitung kapasitas pembangkit, tetapi kurang lengkap.	Dapat menghitung kapasitas pembangkit, tetapi kurang tepat.	Tidak dapat menghitung kapasitas pembangkit.
Lokasi PLTMH	Dapat menentukan lokasi dengan alasan yang tepat.	Dapat menentukan lokasi, tetapi alasan kurang tepat.	Dapat menentukan lokasi, tetapi kurang tepat.	Tidak dapat menentukan Lokasi.
Jenis Turbin	Dapat menentukan jenis turbin dengan alasan yang tepat.	Dapat menentukan jenis turbin, tetapi alasan kurang tepat.	Dapat menentukan jenis turbin, tetapi kurang tepat.	Tidak dapat menentukan jenis turbin.
Jenis Generator	Dapat menentukan jenis generator dengan alasan yang tepat.	Dapat menentukan jenis generator, tetapi alasan kurang tepat.	Dapat menentukan jenis generator, tetapi kurang tepat.	Tidak dapat menentukan jenis generator.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

k. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.11

Tabel 2.13 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.11

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Debit Air	Dapat menghitung debit air dengan benar.	Dapat menghitung debit air, tetapi kurang tepat.	Dapat menghitung debit air, tetapi dengan cara yang salah.	Tidak dapat menghitung debit air.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

l. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.12

Tabel 2.14 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.12

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Mengukur dan mengevaluasi debit	Dapat mengukur debit dan mengevaluasi hasil dengan benar.	Dapat mengukur debit dan mengevaluasi hasil, tetapi kurang benar.	Dapat mengukur debit, tetapi tidak mengevaluasi hasil.	Tidak dapat mengukur debit.
Mengukur dan mengevaluasi head	Dapat mengukur <i>head</i> dan mengevaluasi hasil dengan benar.	Dapat mengukur <i>head</i> dan mengevaluasi hasil, tetapi kurang benar.	Dapat mengukur <i>head</i> , tetapi tidak mengevaluasi hasil.	Tidak dapat mengukur <i>head</i> .

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

m. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.13

Tabel 2.15 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.13

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Gambar Teknik Bangunan Sipil PLTMH	Dapat merancang gambar teknik bangunan sipil PLTMH secara benar.	Dapat merancang gambar teknik bangunan sipil PLTMH, tetapi alur kurang lengkap.	Dapat merancang gambar teknik bangunan sipil PLTMH, tetapi bentuk kurang tepat.	Tidak dapat merancang gambar teknik bangunan sipil PLTMH.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

n. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.14

Tabel 2.16 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.14

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Jenis Turbin	Dapat menentukan jenis turbin dengan hasil yang tepat, serta tepat dalam pemilihan turbin beserta kelebihan dan kekurangannya.	Dapat menentukan jenis turbin dengan alasan yang tepat, tetapi kurang tepat dalam menjelaskan kelebihan dan kekurangannya.	Dapat menentukan jenis turbin, tetapi kurang tepat dalam menyebutkan alasan serta kelebihan dan kekurangannya.	Kurang tetap dalam menentukan jenis turbin, alasan pemilihan, serta kelebihan dan kekurangannya.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

o. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.15

Tabel 2.17 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.15

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Jenis Generator dan Peralatan Kontrol	Dapat menentukan jenis generator dan peralatan kontrol tepat dengan penjelasan lengkap.	Dapat menentukan jenis generator dan peralatan kontrol tepat, tetapi penjelasan kurang lengkap.	Dapat menentukan jenis generator dan peralatan, tetapi kurang tepat.	Tidak dapat menentukan jenis generator dan peralatan kontrol.
Single Line Diagram	Membuat <i>single line</i> diagram tepat dan lengkap.	Membuat <i>single line</i> diagram kurang lengkap.	Membuat <i>single line</i> diagram kurang tepat.	Tidak dapat membuat <i>single line</i> diagram.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

p. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.16

Tabel 2.18 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.16

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Analisis Studi Kasus Gambar	Dapat menganalisis ≥ 2 kelebihan studi kasus gambar dengan tepat.	Dapat menganalisis 1 kelebihan studi kasus gambar dengan tepat.	Dapat menganalisis kelebihan studi kasus, tetapi kurang tepat.	Tidak dapat menganalisis kelebihan studi kasus gambar.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

q. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.17

Tabel 2.19 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.17

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
APD Beserta Fungsi	Dapat mengidentifikasi ≥ 5 APD dan fungsinya.	Dapat mengidentifikasi ≥ 3 APD dan fungsinya.	Dapat mengidentifikasi ≥ 1 APD dan fungsinya.	Tidak dapat mengidentifikasi APD dan fungsinya.

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Risiko Kecelakaan	Dapat mengidentifikasi ≥ 5 risiko kecelakaan.	Dapat mengidentifikasi ≥ 3 risiko kecelakaan.	Dapat mengidentifikasi ≥ 1 risiko kecelakaan.	Tidak dapat mengidentifikasi risiko kecelakaan.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

r. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.18

Tabel 2.20 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.18

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Kekurangan PLTMH	Dapat mengidentifikasi 4 kekurangan PLTMH	Dapat mengidentifikasi 3 kekurangan PLTMH	Dapat mengidentifikasi 1 atau 2 kekurangan PLTMH	Tidak dapat mengidentifikasi kekurangan PLTMH
Cara Memperbaiki	Dapat mengidentifikasi 4 cara memperbaiki PLTMH.	Dapat mengidentifikasi 3 cara PLTMH.	Dapat mengidentifikasi 1 atau 2 cara memperbaiki PLTMH.	Tidak dapat mengidentifikasi cara memperbaiki PLTMH.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

s. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.19

Tabel 2.21 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.19

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Gambar Sesuai Standar	Dapat mengidentifikasi ≥ 5 kelebihan PLTMH.	Dapat mengidentifikasi ≥ 3 kelebihan PLTMH.	Dapat mengidentifikasi ≥ 1 kelebihan PLTMH.	Tidak dapat mengidentifikasi kelebihan PLTMH.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

t. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.20

Tabel 2.22 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.20

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Saluran Pelimpah	Dapat mengidentifikasi 3 kekurangan saluran pelimpah.	Dapat mengidentifikasi 2 kekurangan saluran pelimpah.	Dapat mengidentifikasi 1 kekurangan saluran pelimpah.	Tidak dapat mengidentifikasi kekurangan saluran pelimpah.
Cara Memperbaiki	Dapat mengidentifikasi 3 cara memperbaiki saluran pelimpah.	Dapat mengidentifikasi 2 cara saluran pelimpah.	Dapat mengidentifikasi 1 cara memperbaiki saluran pelimpah.	Tidak dapat mengidentifikasi cara memperbaiki saluran pelimpah.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

u. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.21

Tabel 2.23 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.21

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Kekurangan PLTMH	Dapat mengidentifikasi 3 kekurangan PLTMH.	Dapat mengidentifikasi 2 kekurangan PLTMH.	Dapat mengidentifikasi 1 kekurangan PLTMH.	Tidak dapat mengidentifikasi kekurangan PLTMH.
Cara Memperbaiki	Dapat mengidentifikasi 3 cara memperbaiki PLTMH.	Dapat mengidentifikasi 2 cara PLTMH.	Dapat mengidentifikasi 1 cara memperbaiki PLTMH.	Tidak dapat mengidentifikasi cara memperbaiki PLTMH.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

v. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.22

Tabel 2.24 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.22

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Gambar Sesuai Standar	Dapat mengidentifikasi 3 kelebihan PLTMH.	Dapat mengidentifikasi 2 kelebihan PLTMH.	Dapat mengidentifikasi 1 kelebihan PLTMH.	Tidak dapat mengidentifikasi kelebihan PLTMH.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

w. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.23

Tabel 2.25 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.23

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Saluran Pembuang	Dapat mengidentifikasi 3 kekurangan saluran pembuang.	Dapat mengidentifikasi 2 kekurangan saluran pembuang.	Dapat mengidentifikasi 1 kekurangan saluran pembuang.	Tidak dapat mengidentifikasi kekurangan saluran pembuang.
Cara Memperbaiki	Dapat mengidentifikasi 3 cara memperbaiki saluran pembuang.	Dapat mengidentifikasi 2 cara PLTMH.	Dapat mengidentifikasi 1 cara memperbaiki saluran pembuang.	Tidak dapat mengidentifikasi cara memperbaiki saluran pembuang.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

x. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.24

Tabel 2.26 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.24

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Gambar Sesuai Standar	Dapat mengidentifikasi ≥ 3 kelebihan PLTMH.	Dapat mengidentifikasi ≥ 2 kelebihan PLTMH.	Dapat mengidentifikasi ≥ 1 kelebihan PLTMH.	Tidak dapat mengidentifikasi kelebihan PLTMH.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

y. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.25

Tabel 2.27 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.25

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Pemasangan Turbin dan Sistem Mekanik	Dapat memasang turbin dan sistem mekanik dengan tepat dan waktu yang sesuai.	Dapat memasang turbin dan sistem mekanik dengan tepat dan waktu yang lama.	Dapat memasang turbin dan sistem, tetapi kurang tepat.	Tidak dapat memasang turbin dan sistem mekanik.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

z. Rubrik Penilaian Aktivitas 2.26

Tabel 2.28 Rubrik Penilaian Aktivitas 2.26

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Pemasangan Generator, Sistem Kontrol, dan Pengkabelan	Dapat memasang generator, sistem kontrol, dan pengkabelan dengan tepat dan waktu yang sesuai.	Dapat memasang generator, sistem kontrol, dan pengkabelan dengan tepat dan waktu yang lama.	Dapat memasang generator, sistem kontrol, tetapi kurang tepat.	Tidak dapat memasang generator, sistem kontrol, dan pengkabelan.

Untuk penilaian presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

2. Rubrik Penilaian Uji Kompetensi

a. Rubrik Penilaian Uji Kompetensi Pilihan Ganda dan esai

Tabel 2.29 Rubrik Penilaian Pilihan Ganda dan Esai

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Jumlah Jawaban Benar	Lebih dari 4 jawaban benar.	Lebih dari 3 jawaban benar.	Lebih dari 2 jawaban benar.	Tidak ada jawaban benar.

b. Rubrik Penilaian Uji Kompetensi Menjodohkan

Tabel 2.30 Rubrik Penilaian Menjodohkan

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Jumlah Jawaban Benar	Lebih dari 9 jawaban benar.	Lebih dari 7 jawaban benar.	Lebih dari 6 jawaban benar.	Kurang dari 5 jawaban benar.

c. Rubrik Penilaian Uji Kompetensi Tugas Kelompok

Tabel 2.31 Rubrik Penilaian Tugas Kelompok

Kriteria	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Rancangan Sistem PLTMH	Dapat mengidentifikasi kapasitas pembangkit, komponen sipil, jenis turbin dan generator yang tepat, serta gambar blok diagram sistem kerja.	Dapat mengidentifikasi kapasitas pembangkit, komponen sipil serta jenis turbin dan generator yang tepat.	Dapat mengidentifikasi kapasitas pembangkit, komponen sipil namun jenis turbin, tetapi kurang tepat.	Tidak dapat merancang system PLTMH.

H. Kunci Jawaban

1. Aktivitas

Aktivitas 2.1

1. Aspek Teknis

- Ketergantungan pada Debit Air: PLTMH hanya dapat beroperasi jika aliran air cukup sehingga saat musim kemarau daya listrik yang dihasilkan dapat menurun atau bahkan berhenti.
- Efisiensi Terbatas: Dibandingkan dengan PLTA skala besar, efisiensi konversi energi PLTMH lebih rendah dan hanya mampu menghasilkan daya listrik dalam jumlah terbatas.
- Pemeliharaan Berkala: Komponen seperti turbin, pipa *penstock*, dan generator memerlukan pemeliharaan rutin untuk menghindari gangguan operasional.
- Rentan terhadap Kerusakan: Banjir atau longsor dapat merusak sistem PLTMH, terutama karena banyaknya yang dibangun di daerah pedesaan dengan infrastruktur terbatas.

2. Aspek Sosial

- Dampak terhadap Masyarakat Sekitar: Pembangunan PLTMH dapat mengubah pola penggunaan air oleh masyarakat, terutama bagi petani dan nelayan lokal.

- Kurangnya Tenaga Ahli Lokal: Dalam beberapa daerah, keterbatasan tenaga teknis yang memahami cara pengoperasian dan pemeliharaan PLTMH dapat menjadi kendala dalam keberlanjutan sistem.
 - Pemanfaatan Terbatas: PLTMH biasanya hanya mampu memenuhi kebutuhan listrik lokal sehingga tidak dapat mendukung pertumbuhan industri besar di wilayah tersebut.
3. Aspek Lingkungan
- Gangguan terhadap Ekosistem Sungai: Pengambilan air dari sungai untuk PLTMH dapat memengaruhi habitat ikan dan organisme air lainnya.
 - Erosi dan Sedimentasi: Pembangunan infrastruktur seperti bendungan kecil atau saluran air dapat menyebabkan erosi dan peningkatan sedimentasi di sungai.
 - Dampak terhadap Keanekaragaman Hayati: Jika tidak dirancang dengan baik, PLTMH dapat mengganggu jalur migrasi ikan dan spesies lainnya yang bergantung pada aliran sungai.
4. Aspek Ekonomi
- Investasi Awal yang Cukup Mahal: Meskipun lebih murah dibandingkan PLTA besar, pembangunan PLTMH tetap membutuhkan biaya awal yang cukup tinggi, terutama untuk infrastruktur dan peralatan.
 - Keterbatasan Skala Ekonomi: PLTMH hanya menghasilkan daya dalam jumlah kecil, sehingga tidak dapat bersaing secara ekonomis dengan sumber energi lain yang lebih besar dalam hal efisiensi dan kapasitas.
 - Biaya Pemeliharaan dan Operasional: Diperlukan biaya untuk pemeliharaan rutin dan perbaikan jika terjadi kerusakan akibat bencana alam atau gangguan teknis.

Aktivitas 2.2

1. Bendung
- Fungsi: Struktur yang digunakan untuk menaikkan tinggi muka air sungai guna mengalirkan air ke saluran irigasi atau sistem pembangkit listrik.
 - Contoh: Bendung Gerak Serayu, Bendung Katulampa.
2. Intake
- Fungsi: Struktur yang berfungsi untuk mengambil air dari sungai atau bendung dan menyalurkannya ke sistem irigasi atau pembangkit listrik.
 - Contoh: Intake Waduk Jatiluhur, Intake PLTA Cirata.
3. Saluran Pelimpah (*Spillway*)
- Fungsi: Saluran untuk mengalirkan kelebihan air dari bendungan guna menghindari kerusakan akibat luapan air.
 - Contoh: *Spillway* Waduk Saguling, *Spillway* Waduk Kedung Ombo.

4. Bak Pengendap (*Settling Basin*)
 - Fungsi: Struktur yang digunakan untuk mengendapkan material sedimen agar tidak terbawa ke saluran pembawa atau turbin pembangkit listrik.
 - Contoh: Bak pengendap di PLTA Sigura-Gura.
5. Saluran Pembawa (*Conveyance Channel*)
 - Fungsi: Menyalurkan air dari intake atau bak pengendap menuju lokasi pemanfaatan, seperti irigasi atau pembangkit listrik.
 - Contoh: Saluran pembawa di sistem irigasi Kalimantan Selatan.

Aktivitas 2.3

1. Bak Penenang (*Forebay*)
 - Fungsi:
 - o Menstabilkan aliran air sebelum masuk ke pipa pesat untuk menghindari turbulensi dan kehilangan energi.
 - o Menjadi tempat penampungan sementara untuk memastikan pasokan air ke turbin tetap stabil.
 - Contoh:
 - o Bak penenang di PLTA Saguling (Jawa Barat, Indonesia).
 - o Bak penenang di PLTA Asahan (Sumatra Utara, Indonesia).
2. Pipa Pesat (*Penstock*)
 - Fungsi:
 - o Mengalirkan air bertekanan tinggi dari bak penenang atau waduk menuju turbin.
 - o Mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik untuk memutar turbin.
 - Contoh:
 - o Pipa pesat di PLTA Cirata (Jawa Barat, Indonesia).
 - o Pipa pesat di PLTA Tangga (Sumatra Utara, Indonesia).
3. Rumah Pembangkit (*Powerhouse*)
 - Fungsi:
 - o Menjadi tempat utama pembangkit listrik yang berisi turbin, generator, dan peralatan kontrol lainnya.
 - o Melindungi komponen pembangkit dari cuaca dan gangguan luar.
 - Contoh:
 - o Rumah pembangkit PLTA Jatiluhur (Jawa Barat, Indonesia).
 - o Rumah pembangkit PLTA Koto Panjang (Riau, Indonesia).

4. Saluran Pembuang (*Tailrace Channel*)

- Fungsi:
 - o Mengalirkan air buangan dari turbin kembali ke sungai atau waduk setelah digunakan untuk menghasilkan listrik.
 - o Mengurangi turbulensi dan memastikan pembuangan air tidak mengganggu ekosistem sekitar.
- Contoh:
 - o Saluran pembuang di PLTA Sigura-gura (Sumatra Utara, Indonesia).
 - o Saluran pembuang di PLTA Bakaru (Sulawesi Selatan, Indonesia).

Aktivitas 2.4

A. Fungsi dan Prinsip Kerja Turbin

1. Fungsi Turbin

- Mengubah energi kinetik air menjadi energi mekanik berupa putaran poros turbin.
- Menyalurkan energi mekanik ke generator untuk menghasilkan listrik.
- Menyesuaikan kecepatan putaran berdasarkan debit dan tekanan air agar sesuai dengan kebutuhan pembangkitan listrik.

2. Prinsip Kerja Turbin

- Air yang memiliki energi potensial dan energi kinetik dialirkan ke turbin melalui pipa pesat (*penstock*).
- Air menabrak sudu (*blade*) turbin sehingga menghasilkan gaya dorong yang membuat turbin berputar.
- Putaran turbin diteruskan ke poros generator untuk menghasilkan listrik melalui induksi elektromagnetik.
- Air bekas pakai dialirkan kembali ke sungai melalui saluran pembuang (*tailrace*).

B. Jenis-Jenis Turbin, Karakteristik, dan Contoh

Jenis Turbin	Karakteristik	Contoh
1. Turbin Pelton	<ul style="list-style-type: none">- Termasuk turbin impuls.- Cocok untuk debit air kecil dengan tekanan tinggi (<i>head</i> tinggi).- Memiliki sudu berbentuk mangkuk (<i>bucket</i>) yang menerima pancaran air dari nosel.	<ul style="list-style-type: none">- Turbin Pelton di PLTA Sipansihaporas, Sumatra Utara.- Turbin Pelton di PLTA Sigura-Gura, Sumatra Utara.

Jenis Turbin	Karakteristik	Contoh
2. Turbin Francis	<ul style="list-style-type: none"> - Termasuk turbin reaksi. - Cocok untuk debit air sedang dengan tekanan sedang (<i>head</i> menengah). - Air masuk melalui saluran melingkar (<i>spiral casing</i>) dan berputar melalui sudu berbentuk melengkung. 	<ul style="list-style-type: none"> - Turbin Francis di PLTA Cirata, Jawa Barat. - Turbin Francis di PLTA Jatiluhur, Jawa Barat.
3. Turbin Kaplan	<ul style="list-style-type: none"> - Termasuk turbin reaksi. - Cocok untuk debit air besar dengan tekanan rendah (<i>head</i> rendah). - Memiliki sudu yang dapat diatur kemiringannya sesuai dengan aliran air. 	<ul style="list-style-type: none"> - Turbin Kaplan di PLTA Asahan, Sumatra Utara. - Turbin Kaplan di PLTA Koto Panjang, Riau.
4. Turbin Crossflow (Banki-Mitchell)	<ul style="list-style-type: none"> - Termasuk turbin impuls. - Cocok untuk debit air kecil hingga menengah dan <i>head</i> rendah hingga menengah. - Air masuk secara melintang melalui sudu berbentuk silinder. 	<ul style="list-style-type: none"> - Turbin Crossflow di PLTMH daerah pedesaan Indonesia. - Turbin Crossflow di PLTA mikro-hidro komunitas lokal.

Aktivitas 2.5

Jenis Transmisi	Fungsi
1. Turbin Pelton	<ul style="list-style-type: none"> - Meningkatkan atau menurunkan kecepatan putaran dari turbin ke generator. - Memungkinkan perubahan torsi agar sesuai dengan kebutuhan generator.
2. Transmisi Sabuk dan Pulley (<i>Belt and Pulley Transmission</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Menghubungkan poros turbin dan generator dengan fleksibilitas lebih tinggi. - Menyerap getaran dan memungkinkan penyesuaian kecepatan dengan mudah.
3. Transmisi Kopling (<i>Coupling Transmission</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Menghubungkan poros turbin dan generator secara langsung tanpa kehilangan daya yang signifikan. - Mengurangi gesekan dan meningkatkan efisiensi transmisi daya.

Jenis Transmisi	Fungsi
4. Transmisi Rantai (<i>Chain Transmission</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Digunakan untuk transmisi daya pada sistem dengan jarak yang lebih jauh. - Memiliki efisiensi lebih tinggi dibandingkan sabuk tetapi membutuhkan pelumasan.

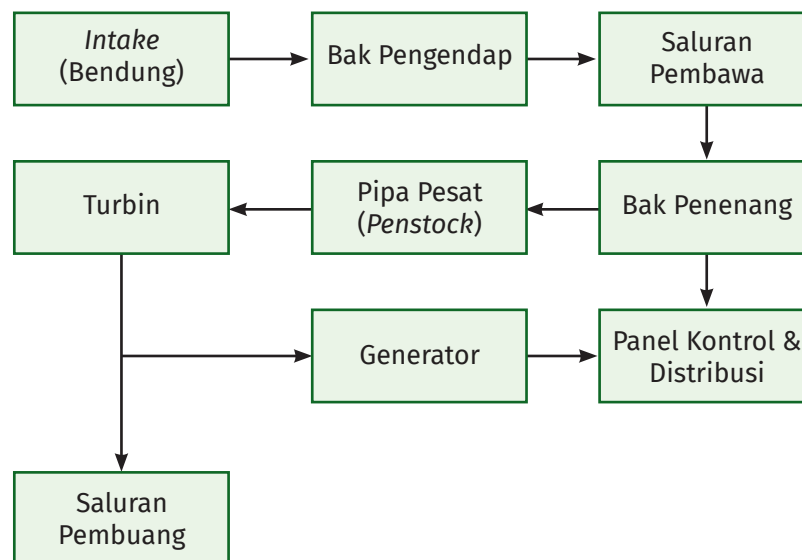
Aktivitas 2.6

Jenis Transmisi	Fungsi
Jenis generator PLTMH	AC generator
Merek generator PLTMH	MJL 160 MA4
Kapasitas generator	rentang 28-33.6 KVA
Putaran generator	1500-1800 RPM
Frekuensi generator	50-60 HZ
Voltase generator	220-480 V
Jumlah fasa generator	3 phasa

Aktivitas 2.7

Aktivitas diskusi tentang sistem kontrol, sistem monitoring, sistem proteksi, transmisi dan distribusi tenaga listrik dilaksanakan sesuai langkah-langkah yang diberikan.

Aktivitas 2.8



Proses Perubahan Energi yang Terjadi

1. *Intake* & Bak Pengendap → Energi potensial air (karena perbedaan ketinggian).
2. Saluran Pembawa & Bak Penenang → Air tetap memiliki energi potensial.
3. Pipa Pesat (Penstock) → Energi potensial berubah menjadi energi kinetik saat air mengalir deras ke turbin.
4. Turbin → Energi kinetik berubah menjadi energi mekanik (putaran poros turbin).
5. Generator → Energi mekanik berubah menjadi energi listrik melalui induksi elektromagnetik.
6. Panel Kontrol & Distribusi → Energi listrik dialirkan ke pengguna atau jaringan listrik.
7. Saluran Pembuang → Air yang telah digunakan dikembalikan ke sungai, dengan sisa energi kinetik rendah.

Aktivitas 2.9

A. Contoh Perbuatan Berbahaya di PLTMH

1. Tidak Menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) → Seperti helm, sarung tangan, sepatu safety, dan kaca mata pelindung saat bekerja.
2. Mengoperasikan Mesin Tanpa Izin atau Pelatihan → Menghidupkan turbin atau generator tanpa prosedur yang benar dapat menyebabkan kecelakaan.
3. Bekerja di Area Basah atau Licin Tanpa Tindakan Pencegahan → Berjalan di sekitar turbin atau pipa pesat yang basah tanpa alas kaki yang sesuai bisa menyebabkan terpeleset.
4. Menyentuh Peralatan Listrik Tanpa Memastikan Tidak Ada Tegangan → Dapat menyebabkan tersengat listrik karena sistem listrik PLTMH memiliki tegangan tinggi.
5. Tidak Memasang atau Mengabaikan Penguncian (*Lockout-Tagout*) Saat Perbaikan → Bisa menyebabkan mesin menyala tiba-tiba dan mencederai pekerja.

B. Contoh Kondisi Berbahaya di PLTMH

1. Lantai Licin dan Basah → Dapat menyebabkan pekerja terpeleset dan jatuh, terutama di sekitar intake atau turbin.
2. Kebocoran Pipa Pesat (Penstock) → Dapat menyebabkan tekanan air yang tidak terkendali dan risiko banjir di area kerja.
3. Sistem Listrik Tidak Terisolasi dengan Baik → Dapat menyebabkan sengatan listrik atau korsleting yang berpotensi menimbulkan kebakaran.
4. Tingkat Kebisingan Tinggi di Ruang Mesin → Tanpa perlindungan telinga, dapat menyebabkan gangguan pendengaran bagi pekerja dalam jangka panjang.
5. Kurangnya Ventilasi di Ruang Generator → Dapat menyebabkan suhu ruangan meningkat berlebihan, yang berisiko merusak peralatan atau menyebabkan kebakaran.

Aktivitas 2.10

(a) Kapasitas Pembangkit di Tiap Lokasi

Hasil perhitungan kapasitas daya untuk setiap lokasi:

1. Kelungkung 1 → 376.70 kW
2. Kelungkung 2 → 470.88 kW
3. Kelungkung 3 → 565.06 kW
4. Kelungkung 4 → 475.51 kW

(b) Lokasi yang Paling Optimal untuk PLTMH

Kelungkung 3 ialah lokasi yang paling optimal karena memiliki kapasitas pembangkit terbesar, yaitu 565.06 kW. Hal ini disebabkan oleh head yang lebih tinggi (9 m) serta debit yang besar (8 m³/s), yang menghasilkan daya lebih besar dibandingkan dengan lokasi lainnya.

(c) Jenis Turbin yang Digunakan

Pemilihan turbin bergantung pada *head* (H) dan debit (Q):

- *Head* 5 - 50 m dengan debit sedang hingga besar cocok menggunakan Turbin Francis.
- *Head* lebih rendah (< 10 m) dan debit besar juga bisa menggunakan Turbin Kaplan. Karena *head* pada lokasi-lokasi ini berkisar 7.5 m - 9 m, Turbin Kaplan merupakan pilihan terbaik karena dirancang untuk *head* rendah dengan debit besar.

(d) Jenis dan Kapasitas Generator yang Digunakan

- Jenis Generator: Generator Sinkron digunakan karena lebih efisien dalam pembangkit listrik skala menengah.
- Kapasitas Generator: Disesuaikan dengan daya maksimum, yaitu 565 kW (untuk Kelungkung 3). Umumnya, generator yang digunakan memiliki kapasitas sedikit lebih besar untuk mengantisipasi lonjakan beban, misalnya 600 kW, 400 V, 3 fasa.

Aktivitas 2.11

Aktivitas analisis debit air pada Pembangkit Listrik Tenaga Hidro (PLTMH) dilaksanakan sesuai langkah-langkah yang diberikan.

Aktivitas 2.12

Aktivitas analisis debit air dan head pada Pembangkit Listrik Tenaga Hidro (PLTMH) dilaksanakan sesuai langkah-langkah yang diberikan.

Aktivitas 2.13

Aktivitas perancangan bangunan sipil PLTMH dilaksanakan sesuai langkah-langkah yang diberikan.

Aktivitas 2.14

1. Menentukan Jenis Turbin yang Cocok

Diketahui:

- *Head* (H) = 10 meter
- Debit (Q) = 8 liter/s = 0.008 m³/s

Berdasarkan tabel karakteristik turbin:

- *Head* rendah hingga menengah (2 - 30 meter) → Cocok untuk Turbin Kaplan atau Turbin Crossflow
- Debit kecil hingga sedang → Turbin Crossflow lebih cocok karena lebih efisien untuk aliran air yang kecil dan mudah dalam perawatan.

Jawaban: Turbin Crossflow merupakan pilihan yang paling cocok untuk kondisi ini.

2. Alasan Pemilihan Turbin Crossflow

- Efisiensi tinggi pada *head* rendah hingga menengah (2 - 30 m).
- Dapat beroperasi dengan debit kecil (0.002 – 10 m³/s).
- Lebih tahan terhadap kotoran dan sampah di air dibandingkan dengan turbin lainnya.
- Mudah dalam perawatan dan biaya instalasi lebih murah, cocok untuk daerah pedesaan.

3. Kelebihan dan Kekurangan Turbin Crossflow

Kelebihan:

1. Efektif pada debit kecil dan *head* rendah, sesuai dengan kondisi di desa ini.
2. Konstruksi sederhana, mudah dibuat dan dirawat oleh tenaga lokal.
3. Tidak mudah tersumbat karena desainnya memungkinkan air membawa partikel kecil melewati turbin.
4. Biaya murah, baik dalam pembuatan maupun perawatan.
5. Efisiensi cukup baik (~70-80%) untuk pembangkit listrik skala kecil.

Kekurangan:

1. Efisiensinya lebih rendah dibandingkan turbin Francis atau Pelton pada *head* yang lebih tinggi.
2. Lebih besar ukurannya dibandingkan turbin lainnya untuk daya yang sama.
3. Kecepatan putarannya rendah, sehingga membutuhkan *gearbox* atau generator dengan kecepatan rendah.

Aktivitas 2.15

Aktivitas perancangan sistem elektrik PLTMH dilaksanakan sesuai langkah-langkah yang diberikan.

Aktivitas 2.16

Aktivitas perancangan sistem elektrik PLTMH dilaksanakan sesuai langkah-langkah yang diberikan.

Aktivitas 2.17

a. Identifikasi Alat Pelindung Diri (APD) dan Fungsinya saat Pemasangan Sistem Mekanik dan Elektrik

1. Helm Pengaman (*Safety Helmet*)

Fungsi: Melindungi kepala dari benturan, jatuhnya benda keras, atau risiko kejatuhan material saat bekerja.

2. Sarung Tangan Isolasi (*Insulated Gloves*)

Fungsi: Melindungi tangan dari sengatan listrik saat menangani instalasi listrik serta dari benda tajam atau panas pada pekerjaan mekanik.

3. Sepatu Safety (*Safety Shoes*)

Fungsi: Melindungi kaki dari benda tajam, jatuhnya benda berat, dan risiko tersengat listrik jika memiliki sol isolasi.

4. Kacamata Pelindung (*Safety Goggles*)

Fungsi: Melindungi mata dari percikan logam, debu, dan partikel kecil yang bisa menyebabkan cedera mata.

5. Masker atau Respirator

Fungsi: Melindungi sistem pernapasan dari debu, asap, atau uap kimia yang mungkin muncul saat pemasangan mekanik.

6. Pelindung Telinga (*Ear Protection*)

Fungsi: Mengurangi paparan suara bising dari alat listrik atau mesin selama pemasangan.

7. Harness Keselamatan (*Safety Harness*)

Fungsi: Mencegah pekerja jatuh dari ketinggian saat memasang sistem mekanik atau kabel di tempat tinggi.

b. Risiko Kecelakaan Kerja Tanpa Menggunakan APD

1. Tanpa Helm Pengaman:

Risiko cedera kepala akibat jatuhnya benda atau benturan dengan struktur.

2. Tanpa Sarung Tangan Isolasi:
Risiko tersengat listrik saat menangani kabel dan komponen listrik.
Risiko luka akibat benda tajam atau panas pada sistem mekanik.
3. Tanpa Sepatu *Safety*:
Risiko tertusuk benda tajam atau terkena benda berat yang jatuh.
Risiko tersetrum jika bekerja di lingkungan listrik tanpa sol isolasi.
4. Tanpa Kacamata Pelindung:
Risiko terkena percikan logam atau debu yang dapat melukai mata.
5. Tanpa Masker atau Respirator:
Risiko gangguan pernapasan akibat debu, asap, atau zat kimia berbahaya.
6. Tanpa Pelindung Telinga:
Risiko gangguan pendengaran akibat paparan suara bising dari alat listrik.
7. Tanpa Safety Harness:
Risiko jatuh dari ketinggian saat bekerja di atap atau struktur tinggi.

Aktivitas 2.18

Aktivitas pelaksanaan pembangunan bendung PLTMH dilaksanakan sesuai langkah-langkah yang diberikan.

Aktivitas 2.19

Aktivitas pelaksanaan pembangunan bak penenang PLTMH dilaksanakan sesuai langkah-langkah yang diberikan.

Aktivitas 2.20

Aktivitas pelaksanaan pembangunan bak penenang PLTMH dilaksanakan sesuai langkah-langkah yang diberikan.

Aktivitas 2.21

Aktivitas pelaksanaan pembangunan pipa pesat PLTMH dilaksanakan sesuai langkah-langkah yang diberikan.

Aktivitas 2.22

Aktivitas pelaksanaan pembangunan rumah pembangkit PLTMH dilaksanakan sesuai langkah-langkah yang diberikan.

Aktivitas 2.23

Aktivitas pelaksanaan pembangunan saluran pembuang PLTMH dilaksanakan sesuai langkah-langkah yang diberikan.

Aktivitas 2.24

Aktivitas pelaksanaan pembangunan sistem mekanik PLTMH dilaksanakan sesuai langkah-langkah yang diberikan.

Aktivitas 2.25

Aktivitas pelaksanaan pembangunan sistem mekanik PLTMH dilaksanakan sesuai langkah-langkah yang diberikan.

Aktivitas 2.26

Aktivitas pemasangan generator PLTMH dilaksanakan sesuai langkah-langkah yang diberikan.

2. Uji Kompetensi

Pilihan Ganda

1. D
2. B
3. D
4. B
5. C

Esai

1. Komponen utama PLTMH adalah komponen sipil (bendung, *intake*, saluran pembawa, bak pengendap, saluran pelimpah, bak penenang, pipa pesat, rumah pembangkit, saluran pembuang), komponen mekanik (turbin dan sistem transmisi), dan komponen elektrik (generator, sistem kontrol, sistem monitoring, sistem proteksi, transmisi dan distribusi).
2. Fungsi bendung ialah mengarahkan aliran air dari sungai ke saluran *intake*. Fungsi *intake* adalah sebagai lubang/pintu masuk ke saluran pembawa.
3. Jenis-jenis turbin ialah *crossflow*, pelton, Kaplan, dan francis.
4. Sistem elektrik pada PLTMH beserta fungsi ialah seperti berikut.
 - a. Sistem kontrol berfungsi mengendalikan kecepatan turbin untuk mendapatkan tegangan dan frekuensi yang diinginkan serta mengatur kelebihan daya ke *ballast load*.
 - b. Sistem monitoring berfungsi memonitor parameter dan besaran listrik yang dibutuhkan seperti tegangan generator, arus beban, frekuensi, indikator lampu agar sesuai dengan standar yang dibutuhkan.

- c. Sistem proteksi sebagai pengaman generator dan peralatan listrik apabila terjadi tegangan lebih/kurang (*under/over voltage*), frekuensi lebih/kurang (*over/under voltage*), hubung singkat, dan arus beban lebih.
- d. Transmisi dan distribusi digunakan untuk menyalurkan energi dari pembangkit ke pelanggan.

Menjodohkan

- | | |
|------|------|
| 1. D | 6. C |
| 2. G | 7. E |
| 3. F | 8. B |
| 4. H | 9. I |
| 5. A | |

I. Refleksi

Refleksi terdiri atas dua refleksi, yakni refleksi peserta didik dan refleksi guru.

1. Refleksi Peserta didik

Refleksi pada Buku Siswa intinya berisi pertanyaan, ajakan, ulasan, persepsi, dan sejenisnya terkait manfaat yang dirasakan oleh peserta didik setelah mempelajari bab Teknik Energi Hidro. Oleh karena itu, guru dapat memberikan pertanyaan kunci yang membantu peserta didik untuk merefleksikan kegiatan pembelajaran, di antaranya dengan pertanyaan berikut.

- a. Apakah ada kendala yang kamu alami saat mempelajari materi ini?
- b. Apakah ada manfaat yang kamu peroleh setelah mempelajari materi ini?
- c. Apakah selama pembelajaran kamu mendapatkan keleluasaan dalam mengekspresikan kemampuan pengetahuan dan sikapmu?
- d. Berdasarkan materi yang kamu pelajari, bagian manakah yang paling kamu sukai? Mengapa?
- e. Apa manfaat yang kamu dapatkan setelah mempelajari materi ini untuk kehidupan sehari-hari?

2. Refleksi Guru

- a. Setelah memberikan materi Teknik Energi Hidro, berilah tanda centang (✓) pada jawaban yang kamu anggap sesuai!

Materi	Bobot			
	1	2	3	4
Bagaimana keterlibatan peserta didik dalam proses pembelajaran?				
Apakah tujuan pembelajaran hari ini tercapai?				
Apakah kegiatan pembelajaran sudah sesuai target?				
Apakah strategi/rencana pembelajaran berjalan dengan baik?				
Apakah metode pembelajaran yang digunakan cocok untuk materi ini?				
Bagaimana keterlibatan peserta didik dalam proses pembelajaran?				

Keterangan Bobot	1. Kurang
	2. Cukup
	3. Baik
	4. Sangat Baik

- b. Kesulitan-kesulitan apa saja yang dialami peserta didik yang ditemukan dalam proses pembelajaran?
- c. Apakah yang harus diperbaiki dan bagaimana cara memperbaiki proses pembelajaran?

J. Sumber Belajar

Pedoman Teknis Standardisasi Peralatan Dan Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), Ditjen LPE, 2008.

Baik Dan Buruk Dari Mini/Mikro Hidro, Jorde, K., Hartmann, E., Unger, H. 2010.

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2024

Panduan Guru Teknik Energi Surya, Hidro, dan Angin
untuk SMK/MAK Kelas XI

Penulis: Zainul M. Pulungan, Feviana Idarrani, dan Amin Wahyono

ISBN: 978-634-00-0201-0



Panduan Khusus

Bab 3 Teknik Energi Angin

A. Pendahuluan

Bab Teknik Energi Angin merupakan bagian pembelajaran yang difokuskan pada materi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dan dipelajari selama satu tahun atau dua semester. Sebelum memulai pembelajaran inti, guru disarankan melaksanakan aktivitas penunjang seperti *ice breaking*, perkenalan, dan asesmen awal dalam satu pekan atau satu pertemuan. *Ice breaking* bertujuan menciptakan suasana yang menyenangkan, membangun keakraban, dan meningkatkan motivasi serta keterampilan sosial peserta didik. Kegiatan perkenalan membantu menciptakan lingkungan belajar yang nyaman dan memungkinkan guru memahami latar belakang serta minat peserta didik. Sementara itu, asesmen awal berfungsi untuk mengukur kemampuan awal peserta didik terkait materi Teknik Energi Bayu, sekaligus mengidentifikasi kebutuhan belajar mereka, baik yang tertinggal maupun yang lebih maju, serta menumbuhkan diskusi bebas seputar topik PLTB.

1. Tujuan Pembelajaran

Pada Bab Teknik Energi Bayu ini guru perlu mencermati tujuan pembelajaran yang tertera di Buku Siswa, yaitu *peserta didik mampu memasang pembangkit listrik tenaga bayu secara bergotong royong dan kreatif*. Tujuan pembelajaran bab ini pada Buku Siswa dibuat sangat ringkas untuk memudahkan peserta didik memahaminya.

Adapun tujuan yang ringkas di Buku Siswa itu terdiri atas tujuh tujuan pembelajaran yang diturunkan dari Capaian Pembelajaran Elemen Teknik Energi Bayu. Kelima tujuan pembelajaran itu secara terperinci seperti berikut.

- a. Menerapkan Konsep Dasar Energi Angin/Bayu
- b. Menerapkan Komponen PLTB
- c. Menerapkan Sistem dan Keselamatan Kerja
- d. Menerapkan Perancangan Sistem PLTB Skala Kecil
- e. Menerapkan Pembangunan dan Pemasangan Sistem PLTB Skala Kecil

Tabel 3.1 CP Elemen Teknik Energi Angin dan Tujuan Pembelajarannya di Kelas XI

Capaian Pembelajaran Fase	Tujuan Pembelajaran
1. Peserta didik mampu menerapkan pemasangan, pemeriksaan, pengujian, pengoperasian, pemeliharaan, perawatan, dan perbaikan terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Skala Kecil.	3.1. Menahami konsep dasar dan komponen PLTB Skala Kecil. 3.2. Menerapkan pengetahuan perancangan konstruksi sipil PLTB Skala Kecil. 3.3. Menerapkan pengetahuan perancangan sistem mekanik PLTB Skala Kecil. 3.4. Menerapkan pengetahuan perancangan sistem kelistrikan PLTB Skala Kecil. 3.5. Menerapkan pengetahuan pemasangan konstruksi sipil PLTB Skala Kecil. 3.6. Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem mekanik PLTB Skala Kecil. 3.7. Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem kelistrikan PLTB Skala Kecil.

Tujuan pembelajaran di atas kemudian diturunkan ke dalam indikator tujuan pembelajaran seperti berikut.

Tabel 3.2 Indikator Tujuan Pembelajaran Teknik Energi Angin Kelas XI

Tujuan Pembelajaran	Indikator
3.1. Memahami konsep dasar dan komponen PLTB Skala Kecil.	1 Peserta didik mampu mempresentasikan sistem kerja PLTB secara mandiri dan gotong royong.
	2 Peserta didik mampu menginventarisir peralatan PLTB secara gotong royong dan bernalar kritis.
	3 Peserta didik mampu memahami kesehatan dan keselamatan kerja di ketinggian pada pembangkit Listrik Tenaga Bayu Skala Kecil secara mandiri dan bernalar kritis.
3.2. Menerapkan pengetahuan perancangan konstruksi sipil PLTB Skala Kecil.	4 Peserta didik mampu merencanakan bangunan sipil PLTB secara bergotong royong.
	5 Peserta didik mampu mendaftar kebutuhan Bangunan Sipil PLTB secara kreatif.

Tujuan Pembelajaran		Indikator
3.3. Menerapkan pengetahuan perancangan sistem mekanik PLTB Skala Kecil.	6	Peserta didik mampu merencanakan sistem mekanik PLTB dengan bernalar kritis dan kreatif.
	7	Peserta didik mampu merancang komponen mekanik PLTB secara kreatif.
3.4. Menerapkan pengetahuan perancangan sistem kelistrikan PLTB Skala Kecil.	8	Peserta didik mampu merencanakan sistem elektrik PLTB dengan bernalar kritis dan kreatif.
	9	Peserta didik mampu menginventarisir peralatan Sistem Elektrik PLTB secara kreatif.
3.5. Menerapkan pengetahuan pemasangan konstruksi sipil PLTB Skala Kecil.	10	Peserta didik mampu merencanakan bangunan sipil pada PLTB dengan kreatif dan gotong royong.
	11	Peserta didik mampu mendaftar kebutuhan bangunan sipil PLTB secara kreatif.
3.6. Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem mekanik PLTB Skala Kecil.	12	Peserta didikan mampu memasang sistem mekanik PLTB secara gotong royong.
	13	Peserta didik mampu melakukan pemeriksaan untuk memastikan kinerja sistem mekanik dapat bekerja dengan aman secara kreatif.
3.7. Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem kelistrikan PLTB Skala Kecil.	14	Peserta didik mampu memasang sistem kelistrikan pada PLTB secara bergotong royong.
	15	Peserta didik mampu melakukan pemeriksaan untuk memastikan kinerja sistem kelistrikan bekerja dengan aman dengan berpikir kritis.
	16	Peserta didik mampu memasang sistem proteksi PLTB dengan bernalar kritis.
	17	Peserta didik mampu melakukan pemeriksaan untuk memastikan sistem proteksi bekerja dengan aman dengan berpikir kritis.

2. Pokok Materi

Pokok materi yang disajikan mencakup berbagai aspek dari konsep dasar hingga penerapan praktis dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Hubungan antarpokok materi ini dirancang untuk membentuk kemampuan teknis dan sikap kerja peserta didik, seperti beriman dan bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa serta berakhlak mulia, mampu bekerja secara mandiri dan gotong royong serta bernalar kritis.

a. Konsep Energi Angin

Materi ini mencakup pemahaman dasar tentang pemanfaatan energi angin oleh manusia, potensi angin di Indonesia, dan proses konversi energi kinetik menjadi energi mekanik. Peserta didik juga akan mempelajari model bilah pada PLTB, konversi energi mekanik menjadi listrik, serta distribusi energi listrik dan studi kasus terkait. Tujuan pembelajarannya ialah agar peserta didik memahami prinsip dasar dan komponen utama sistem PLTB, sehingga mereka dapat menerapkannya pada skenario yang lebih kompleks di materi selanjutnya.

b. Komponen PLTB

Cakupan materi terkait penerapan komponen PLTB meliputi pemahaman tentang fungsi dan peran berbagai elemen kunci dalam sistem PLTB. Peserta didik akan mempelajari komponen seperti turbin angin sumbu horizontal dan vertikal, bilah turbin, *gearbox*, generator, sistem kontrol, serta proses konversi energi angin menjadi listrik. Selain itu, materi juga mencakup cara kerja sistem transmisi dan distribusi listrik, perlindungan cuaca pada PLTB, serta integrasi dengan jaringan listrik, inverter, dan sistem penyimpanan energi. Pemahaman mendalam terhadap komponen ini sangat penting agar peserta mampu menerapkan teknologi PLTB secara optimal dalam berbagai situasi operasional.

c. Sistem dan Keselamatan Kerja

Peserta didik akan memahami penerapan sistem dan keselamatan kerja pada PLTB mencakup pemahaman tentang prosedur operasional yang aman dan efisien dalam pengelolaan PLTB. Peserta didik akan mempelajari mekanisme kontrol, proses pemeliharaan, serta penerapan langkah-langkah keselamatan untuk melindungi pekerja dan lingkungan. Selain itu, materi ini juga membahas penggunaan alat pelindung diri (APD) yang sesuai di setiap tahap operasional, serta pemahaman tentang standar keselamatan dan tanda-tanda peringatan di area kerja.

d. Perancangan PLTB Skala Kecil

Dalam pokok bahasan ini, peserta didik mempelajari penerapan perancangan PLTB Skala Kecil yang mencakup berbagai langkah desain, mulai dari pemilihan lokasi dengan potensi angin yang cukup, desain turbin yang tepat (baik horizontal maupun vertikal), hingga pemilihan komponen utama dalam aspek bangunan sipil, serta sistem mekanik dan elektrikal.

e. Menerapkan Pembangunan dan Pemasangan PLTB Skala Kecil

Peserta didik diajak menerapkan pembangunan dan pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) meliputi berbagai tahap, mulai dari konstruksi bangunan sipil, instalasi sistem mekanik dan elektrikal, hingga penerapan sistem proteksi. Semua proses ini dilakukan dengan memperhatikan standar keselamatan serta kepatuhan terhadap peraturan lokal sebelum PLTB dapat beroperasi.

Hubungan antarpokok materi dalam mencapai tujuan pembelajaran seperti berikut.

- a. Konsep dasar energi angin PLTB menjadi fondasi utama dalam memahami bagaimana sistem PLTB bekerja. Ini merupakan dasar yang dibutuhkan untuk melangkah ke perencanaan dan pemasangan sistem PLTB yang lebih kompleks.
- b. Menerapkan komponen PLTB merupakan langkah penting setelah memahami konsep dasar karena lokasi dan analisis kebutuhan komponen akan menentukan keberhasilan instalasi.
- c. Menerapkan Sistem Keselamatan Kerja merupakan kemampuan yang perlu dipahami untuk melakukan pekerjaan dengan aman, khususnya bekerja pada ketinggian.
- d. Perancangan sistem PLTB memastikan komponen-komponen yang dipilih bekerja secara optimal sesuai dengan perencanaan yang dilakukan.
- e. Pembangunan dan pemasangan PLTB menutup rangkaian pembelajaran dengan aplikasi yang lebih spesifik yang melibatkan keseluruhan sistem PLTB dan komponen-komponennya dalam konteks yang nyata.

Dengan saling keterkaitan antara pokok materi ini, peserta didik akan memiliki pemahaman komprehensif dari mulai konsep dasar hingga aplikasi praktis. Dengan demikian, mereka akan mampu mencapai tujuan pembelajaran.

3. Hubungan dengan Materi Lain

Pembelajaran bab Teknik Energi Bayu memiliki keterkaitan erat dengan berbagai materi lain yang ada di mata pelajaran dan ilmu terkait di bidang teknik. Keterkaitan ini terjadi karena teknologi energi bayu melibatkan berbagai disiplin ilmu dalam aplikasinya. Berikut ini hubungan pembelajaran teknik energi bayu dengan mata pelajaran terkait.

a. Fisika

Materi tentang PLTB sangat erat kaitannya dengan mata pelajaran Fisika, khususnya dalam beberapa konsep utama. Energi kinetik angin ialah prinsip dasar yang menggerakkan baling-baling turbin, dan ini berhubungan langsung dengan hukum-hukum gerak serta dinamika fluida. Hukum konservasi energi menjelaskan bagaimana energi kinetik angin diubah menjadi energi mekanik pada turbin, lalu menjadi energi listrik melalui generator. Dinamika rotasi juga penting dalam memahami pergerakan baling-baling turbin, seperti torsi, kecepatan sudut, dan momen inersia. Selain itu, konsep induksi elektromagnetik digunakan untuk menjelaskan bagaimana generator menghasilkan arus listrik saat turbin berputar. Semua prinsip fisika ini bekerja sama untuk mengubah energi angin menjadi energi listrik yang dapat digunakan.

b. Matematika

Materi tentang PLTB memiliki keterkaitan kuat dengan mata pelajaran Matematika, terutama dalam berbagai aspek perhitungan dan analisis. Aljabar digunakan untuk menghitung daya listrik yang dihasilkan oleh turbin berdasarkan kecepatan angin, luas area sapuan baling-baling, serta efisiensi sistem. Geometri berperan dalam menghitung luas lingkaran yang dibentuk oleh baling-baling dan menentukan tinggi optimal menara turbin. Trigonometri membantu dalam memahami sudut serangan angin terhadap turbin, terutama untuk desain baling-baling yang efisien. Kalkulus digunakan untuk menghitung perubahan energi angin terhadap ketinggian, serta optimasi kinerja turbin. Statistika juga relevan untuk menganalisis data kecepatan angin dan fluktuasi angin dalam periode waktu tertentu, guna merencanakan operasi dan perancangan PLTB secara lebih efektif.

c. Dasar Teknik Energi Terbarukan

Teknik energi bayu merupakan bagian integral dari pembelajaran energi terbarukan, di mana peserta didik mempelajari berbagai sumber energi yang ramah lingkungan seperti bayu, air, dan biomassa. Energi bayu dianggap sebagai salah satu teknologi paling potensial dalam mendukung transisi energi global. Pembelajaran ini menekankan perbandingan efisiensi, biaya, dan dampak lingkungan dari energi bayu dengan sumber energi terbarukan lainnya, serta penerapan teknologi bayu dalam berbagai skala, mulai dari rumah tangga hingga industri.

d. Dasar Teknik Listrik

Materi tentang PLTB sangat erat kaitannya dengan kelistrikan, terutama dalam konversi energi mekanik menjadi energi listrik. Induksi elektromagnetik, prinsip dasar dalam kelistrikan, terjadi ketika turbin angin memutar rotor generator sehingga menghasilkan arus listrik

melalui perubahan medan magnet. Sistem kelistrikan juga mencakup penggunaan generator, inverter, dan kontroler yang mengubah listrik AC atau DC dari turbin menjadi bentuk yang dapat digunakan oleh peralatan listrik atau disimpan di baterai. Perhitungan daya listrik sangat penting untuk mengetahui jumlah energi yang dihasilkan, yang melibatkan tegangan, arus, dan resistansi dalam sistem. Selain itu, sistem proteksi kelistrikan, seperti penggunaan pemutus arus dan *grounding*, diperlukan untuk menjaga keamanan dan stabilitas operasional PLTB. Semua ini menunjukkan keterkaitan erat antara PLTB dan prinsip-prinsip kelistrikan.

e. Teknik Elektronika

Materi tentang PLTB sangat berkaitan dengan elektronika, khususnya dalam pengelolaan dan pengubahan energi listrik yang dihasilkan turbin angin. Inverter dan kontroler dalam sistem PLTB berperan untuk mengubah listrik DC yang dihasilkan oleh generator menjadi listrik AC yang digunakan oleh peralatan rumah tangga atau jaringan listrik. Komponen elektronika seperti dioda, transistor, dan kapasitor digunakan dalam rangkaian ini untuk mengatur arus, tegangan, dan frekuensi listrik agar sesuai dengan standar operasional. Selain itu, sistem monitoring berbasis elektronik seperti sensor kecepatan angin, suhu, dan tegangan digunakan untuk mengoptimalkan kinerja PLTB dan mencegah kerusakan pada komponen. Dalam sistem proteksi elektronika, rangkaian pelindung seperti pemutus arus otomatis dan regulator tegangan juga diterapkan untuk memastikan keamanan dan keandalan operasional PLTB.

f. Teknik Pemesinan

Materi tentang PLTB memiliki keterkaitan erat dengan permesinan, terutama dalam desain, konstruksi, dan operasi komponen mekanisnya. Baling-baling turbin merupakan komponen utama yang mengonversi energi kinetik angin menjadi energi mekanik sehingga prinsip-prinsip permesinan terkait dinamika fluida, gaya, dan torsi sangat penting. Rotor dan *gearbox* pada PLTB juga memerlukan perhitungan mekanis yang teliti untuk memastikan transfer daya yang efisien dari baling-baling ke generator. Sistem transmisi mekanis, seperti poros dan bantalan, harus dirancang dan dipasang dengan presisi untuk mengurangi gesekan dan keausan, memastikan operasi turbin yang optimal dan tahan lama. Selain itu, proses perawatan mekanis seperti pelumasan, pengecekan kondisi fisik baling-baling, serta perbaikan komponen bergerak juga merupakan bagian penting dalam keberlanjutan operasional PLTB.

g. Desain Pemodelan dan Teknik Pengelasan

Dalam Desain Pemodelan, perancangan komponen seperti baling-baling, menara, dan struktur pendukung turbin melibatkan pemodelan 3D menggunakan perangkat lunak CAD

(*Computer-Aided Design*) untuk memastikan semua bagian memiliki ukuran, kekuatan, dan bentuk yang optimal. Pemodelan ini penting untuk menganalisis faktor seperti beban angin, gaya rotasi, dan kestabilan struktur, serta untuk memvisualisasikan bagaimana seluruh sistem PLTB akan bekerja.

Teknik pengelasan memainkan peran vital dalam menyambungkan komponen logam utama, seperti rangka menara,udukan rotor, dan bagian-bagian turbin lainnya. Kualitas pengelasan harus sangat diperhatikan untuk memastikan kekuatan struktural, khususnya pada bagian yang akan menanggung beban tinggi dan gaya dinamis, seperti menara dan *hub* turbin. Pengelasan yang baik akan memastikan daya tahan dan keamanan sistem, terutama dalam kondisi operasional yang sering terkena getaran, angin kencang, dan beban rotasi.

h. Teknik Instalasi Listrik dan Distribusi

Dalam hal instalasi dan distribusi listrik, PLTB membutuhkan sistem distribusi yang efisien untuk menyalurkan energi listrik dari turbin ke beban atau ke jaringan listrik (jika terhubung ke *grid*). Hal ini melibatkan perancangan jaringan mikrogrid, pemasangan trafo jika diperlukan, serta pengaturan sistem sinkronisasi untuk memastikan listrik yang dihasilkan memiliki tegangan dan frekuensi yang sesuai dengan kebutuhan pengguna atau jaringan lokal. Teknik distribusi juga mencakup pengaturan pembagian beban, penempatan titik-titik distribusi, serta penggunaan *smart grid* untuk pengelolaan energi yang lebih efisien.

4. Peta Materi



5. Saran Alokasi Waktu

Rekomendasi alokasi waktu yang diperlukan untuk pembelajaran bab ini ialah satu tahun. Hal itu termasuk untuk pekan *ice breaking*, pengenalan, dan asesmen awal. Adapun untuk pembelajaran materi bab ini yang terdiri atas lima subbab dapat dialokasikan waktu tiga puluh dua pekan. Selanjutnya, dua pekan terakhir dapat dikhususkan untuk kegiatan refleksi dan asesmen bagi peserta didik.

Guru perlu mencermati ketentuan dan keperluan pembelajaran yang nyata di sekolah. Pembelajaran ini dapat dilakukan dalam enam jam pelajaran atau jumlah lainnya dalam sepekan. Guru hendaknya mampu beradaptasi dengan berbagai kemungkinan yang ada.

B. Apersepsi

Pada Buku Siswa, terdapat apersepsi. Sebelum pembelajaran dimulai, guru memberikan informasi mengenal PLTB yang ada di beberapa negara termasuk yang ada di Indonesia.

Selanjutnya, guru memberikan pertanyaan pemantik sebagai berikut.

1. Apakah peralatan yang digunakan untuk menangkap energi angin?
2. Bagaimana energi angin dapat menggerakkan generator?

C. Konsep dan Keterampilan Prasyarat

Sebelum mempelajari materi bab ini, peserta didik harus telah memiliki kompetensi berikut.

1. Menerapkan Alat Pelindung Diri (APD) dalam Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3).
2. Menerapkan perkakas praktik, terutama perkakas tangan dan bertenaga.
3. Membaca gambar teknik energi terbarukan
4. Menerapkan alat ukur dan alat uji
5. Menerapkan perhitungan konversi energi bayu
6. Menerapkan dasar energi terbarukan

Guru dapat memastikan peserta didik telah menguasai kompetensi-kompetensi di atas agar proses pembelajaran dapat berjalan dengan baik dan lancar.

D. Penilaian Awal Pembelajaran

Penilaian sebelum pembelajaran diberikan untuk mengetahui kemampuan awal peserta didik terhadap materi yang akan disampaikan. Bentuk penilaian sebelum pembelajaran

berupa soal yang dapat dilakukan secara lisan. Peserta didik diminta mengangkat tangan pada jawaban yang dipilih. Dari sini, guru dapat langsung melihat berapa banyak peserta didik yang mempunyai pemahaman dasar tentang materi yang akan diberikan.

Pada Buku Siswa, penilaian awal pembelajaran diberikan setelah peserta didik mengamati materi penerapan PLTB di beberapa negara termasuk Indonesia, dari buku, atau sumber lainnya. Guru dapat mengembangkan berbagai pertanyaan yang berkaitan dengan materi yang akan dipelajari.

Berikut contoh pertanyaan yang dapat disampaikan guru untuk melakukan penilaian sebelum pembelajaran.

- 🔍 Apakah yang dimaksud dengan energi bayu?
- 🔍 Bagaimana proses konversi energi bayu menjadi listrik?
- 🔍 Apa saja komponen utama dari sistem PLTB?
- 🔍 Apa saja alat ukur yang biasa digunakan dalam instalasi sistem PLTB?

E. Panduan Pembelajaran

Kegiatan pembelajaran merupakan tahap yang sangat penting. Oleh sebab itu, perlu direncanakan secara serius. Bab ini terdiri atas lima subbab. Proses pembelajaran pada setiap sub bab akan dijelaskan seperti berikut. Proses pembelajaran ini merupakan inspirasi bagi guru. Guru disarankan untuk mengembangkan proses pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik peserta didik, sarana dan prasarana serta lingkungan sekolahnya.

1. Konsep Dasar dan Komponen PLTB

Subbab ini merupakan implementasi dari Tujuan Pembelajaran 1, yaitu Menerapkan konsep dasar dan komponen PLTB. Tujuan Pembelajaran ini diturunkan menjadi 5 indikator.

Tujuan Materi	:	Menahami konsep dasar dan komponen PLTB Skala Kecil.
Subpokok	:	Konsep Dasar dan Komponen PLTB Skala Kecil
Alokasi Waktu	:	36 JP (disajikan dalam 9 minggu) Rancangan pembelajaran pada contoh ini disajikan dalam 9 kali pertemuan. Alokasi waktu dapat dikembangkan sesuai kebutuhan di sekolah.

a. Konsep Energi Angin

Alokasi Waktu	:	8 JP × 45 Menit
Tujuan	:	Memahami konsep dasar dan komponen PLTB Skala Kecil.
Indikator	:	Peserta didik mampu mempresentasikan sistem kerja PLTB secara mandiri dan gotong royong.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Pembelajaran tentang konsep dasar dan komponen PLTB skala kecil bertujuan agar peserta didik memahami prinsip kerja sistem ini, termasuk turbin angin, generator, kontroler, dan penyimpanan energi. Melalui diskusi dan praktik langsung, peserta didik diharapkan dapat menjelaskan bagaimana angin diubah menjadi energi listrik serta peran setiap komponen dalam sistem. Dengan pendekatan mandiri dan gotong royong, mereka akan berlatih mempresentasikan hasil pemahaman mereka sehingga mampu menjelaskan konsep PLTB secara jelas dan sistematis kepada orang lain.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran, peserta didik dapat dibagi ke dalam kelompok untuk melakukan studi kasus atau proyek sederhana terkait PLTB Skala Kecil. Mereka dapat menganalisis model turbin angin mini, melakukan simulasi konversi energi angin menjadi listrik, atau membuat presentasi interaktif menggunakan media digital. Dengan pendekatan berbasis proyek dan kolaborasi, peserta didik akan lebih aktif dalam mengeksplorasi konsep serta komponen PLTB. Melalui diskusi dan kerja sama, mereka dapat menyusun presentasi yang menjelaskan sistem kerja PLTB secara runtut sehingga mampu menyampaikan pemahaman mereka secara mandiri dan dalam semangat gotong royong.

b. Komponen PLTB

Alokasi Waktu	:	24 JP × 45 Menit
Tujuan	:	Memahami konsep dasar dan komponen PLTB Skala Kecil.
Indikator	:	Peserta didik secara kritis mampu menginventarisir peralatan PLTB secara gotong royong.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Peserta didik berdiskusi interaktif tentang prinsip kerja turbin angin, jenis-jenis turbin (horizontal dan vertikal), serta komponen utama seperti rotor, generator, *gearbox*, *controller*,

dan sistem penyimpanan energi serta sistem pengaman cuaca dan inverter. Peserta didik akan melakukan observasi langsung terhadap model atau prototipe PLTB, mengeksplorasi fungsi setiap komponen, serta mencatat dan menginventarisasi peralatan yang diperlukan, kemudian mencari informasi harga melalui media *online* dan *offline*. Melalui kerja sama dan berpikir kritis, mereka akan mengevaluasi keunggulan dan keterbatasan PLTB Skala Kecil yang selanjutnya menulis sebuah resume yang berkaitan dengan cara kerja komponen di buku, googlesite atau media lainnya.

2) Alternatif Pembelajaran

Aktivitas pembelajaran guru mencakup memberikan penjelasan tentang konsep dasar PLTB Skala Kecil, memperkenalkan komponen utama seperti rotor, generator, dan sistem kontrol, serta memfasilitasi diskusi interaktif untuk mendorong pemikiran kritis peserta didik. Guru juga menyiapkan model atau prototipe PLTB sebagai alat bantu pembelajaran dan membimbing peserta didik dalam melakukan observasi serta analisis terhadap fungsi setiap komponen. Sementara itu, aktivitas peserta didik meliputi mendengarkan penjelasan, berpartisipasi dalam diskusi kelompok, mengidentifikasi dan mencatat komponen PLTB secara gotong royong, serta menyusun laporan hasil inventarisasi. Melalui kerja sama tim, peserta didik akan berlatih berpikir kritis dalam mengevaluasi keefektifan setiap komponen dan mencari solusi untuk meningkatkan efisiensi sistem PLTB Skala Kecil.

c. Sistem dan Keselamatan Kerja

Alokasi Waktu	:	4 JP × 45 Menit
Tujuan		Memahami konsep dasar dan komponen PLTB Skala Kecil.
Indikator	:	Peserta didik secara kritis mampu memahami Kesehatan dan Keselamatan Kerja di ketinggian pada PLTB Skala Kecil secara mandiri.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Peserta didik akan mempelajari Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) di ketinggian pada PLTB Skala Kecil melalui kegiatan diskusi, demonstrasi, simulasi, dan praktik langsung. Mereka akan memahami risiko dan bahaya kerja di ketinggian, mengenali serta menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) seperti helm, *harness*, dan *lanyard* dengan benar, serta menerapkan prosedur keselamatan, memahami tanda peringatan pada peralatan PLTB. Selain itu, peserta didik akan melakukan simulasi teknik penyelamatan darurat dan evakuasi untuk meningkatkan kesiapan dalam situasi berisiko.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran, peserta didik dapat melakukan proyek berbasis investigasi dengan menganalisis kasus kecelakaan kerja di ketinggian pada PLTB berkaitan dengan *notice* atau papan peringatan, kemudian menyusun rekomendasi prosedur keselamatan yang lebih efektif. Kegiatan ini diawali dengan pencarian informasi dari studi kasus nyata berkaitan dengan papan peringatan, diikuti dengan diskusi kelompok untuk mengidentifikasi risiko dan solusi dari sebuah buku Panduan Pemasangan PLTB. Selanjutnya, peserta didik dapat melakukan simulasi prosedur keselamatan, termasuk penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) dan teknik penyelamatan darurat. Hasil dari proyek ini dapat dipresentasikan dalam bentuk laporan atau video edukatif sebagai bentuk refleksi kritis terhadap pentingnya penerapan K3 dalam industri energi terbarukan.

2. Perancangan PLTB Skala Kecil

Tujuan Materi	:	<ol style="list-style-type: none">1. Menerapkan pengetahuan perancangan konstruksi sipil PLTB Skala Kecil.2. Menerapkan pengetahuan perancangan sistem mekanik PLTB Skala Kecil.3. Menerapkan pengetahuan perancangan sistem kelistrikan PLTB Skala Kecil.
Subpokok	:	Konsep Perancangan PLTB Skala Kecil
Alokasi Waktu	:	36 JP (disajikan dalam 9 minggu) Rancangan pembelajaran pada contoh ini disajikan dalam 9 kali pertemuan. Alokasi waktu dapat dikembangkan sesuai kebutuhan di sekolah.

a. Perancangan Bangunan Sipil

Alokasi Waktu	:	12 JP × 45 Menit
Tujuan	:	Menerapkan pengetahuan perancangan konstruksi sipil PLTB Skala Kecil.
Indikator	:	<ol style="list-style-type: none">1. Peserta didik mampu merencanakan bangunan sipil PLTB secara bergotong royong.2. Peserta didik secara kreatif mampu mendaftar kebutuhan bangunan sipil PLTB.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Dalam pembelajaran ini, peserta didik akan menerapkan pengetahuan perancangan konstruksi sipil untuk PLTB Skala Kecil melalui kerja sama dan gotong royong dalam perencanaan bangunan sipil yang mendukung sistem PLTB. Mereka akan belajar menyusun daftar kebutuhan konstruksi secara kreatif, mempertimbangkan aspek teknis, material, serta efisiensi biaya dan tenaga kerja. Dengan pendekatan ini, peserta didik tidak hanya mengasah keterampilan teknis dalam perancangan, tetapi juga membangun sikap kolaboratif dan inovatif dalam menghadapi tantangan pengembangan energi terbarukan.

2) Alternatif Pembelajaran

Pembelajaran dapat dilakukan melalui berbagai pendekatan, seperti *Project-Based Learning* (PBL) di mana peserta didik bekerja dalam kelompok untuk merancang dan membuat model bangunan sipil PLTB secara nyata, studi kasus dengan menganalisis proyek PLTB yang sudah ada untuk menemukan solusi inovatif, serta simulasi digital menggunakan perangkat lunak teknik untuk merancang dan menguji kekuatan struktur. Selain itu, eksperimen lapangan seperti survei lokasi dan analisis tanah dapat memberikan pengalaman praktis, sementara pembelajaran kolaboratif dengan ahli atau mahasiswa teknik membantu memperdalam pemahaman. Untuk pendekatan yang lebih interaktif, *game-based learning* dapat digunakan untuk mensimulasikan proses pembangunan PLTB secara menyenangkan dan edukatif.

b. Perancangan Sistem Mekanik

Alokasi Waktu	:	12 JP × 45 Menit
Tujuan	:	Menerapkan pengetahuan perancangan sistem mekanik PLTB Skala Kecil.
Indikator	:	<ol style="list-style-type: none">1. Peserta didik secara kritis dan kreatif mampu merencanakan sistem mekanik PLTB.2. Peserta didik mampu merancang komponen mekanik PLTB secara kreatif.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Dalam pembelajaran ini, peserta didik akan menerapkan pengetahuan perancangan sistem mekanik PLTB Skala Kecil dengan pendekatan kritis dan kreatif. Mereka akan merencanakan sistem mekanik PLTB dengan menganalisis desain turbin, transmisi daya, serta pemilihan material yang sesuai untuk meningkatkan efisiensi dan daya tahan. Selain itu, peserta didik juga akan merancang komponen mekanik PLTB secara kreatif, termasuk bentuk dan

konfigurasi bilah turbin, poros, serta sistem bantalan dan transmisi. Aktivitas pembelajaran mencakup diskusi, analisis desain, simulasi, serta praktik perancangan sederhana guna memastikan pemahaman yang mendalam terhadap sistem mekanik PLTB.

2) Alternatif Pembelajaran

Pembelajaran perancangan sistem mekanik PLTB Skala Kecil dapat dilakukan melalui berbagai pendekatan, seperti pembelajaran berbasis proyek (PBL), studi kasus, simulasi, eksperimen laboratorium, serta kunjungan industri atau webinar dengan ahli. Peserta didik dapat bekerja dalam kelompok untuk merancang sistem mekanik PLTB, menganalisis berbagai desain turbin, serta menggunakan perangkat lunak teknik untuk memodelkan dan mensimulasikan kinerja komponen mekanik. Selain itu, mereka juga dapat membuat prototipe sederhana dan melakukan uji coba untuk mengevaluasi efektivitas desain. Dengan pendekatan ini, peserta didik dapat mengembangkan keterampilan bernalar kritis dan kreatif dalam merencanakan serta merancang sistem mekanik PLTB secara inovatif.

c. Perancangan Sistem Elektrik

Alokasi Waktu	:	12 JP × 45 Menit
Tujuan	:	Menerapkan pengetahuan perancangan sistem kelistrikan PLTB Skala Kecil.
Indikator	:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Peserta didik mampu merencanakan sistem elektrik PLTB secara kritis dan kreatif. 2. Peserta didik mampu menginventarisir peralatan Sistem Elektrik PLTB secara kreatif.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Dalam pembelajaran ini, peserta didik akan menerapkan pengetahuan perancangan sistem kelistrikan PLTB Skala Kecil dengan pendekatan kritis dan kreatif. Mereka akan merencanakan sistem elektrik PLTB dengan menganalisis kebutuhan, komponen, dan desain yang efisien. Selain itu, peserta didik juga akan menginventarisir peralatan yang diperlukan dalam sistem elektrik PLTB secara kreatif, dengan mempertimbangkan teknologi terbaru dan efisiensi energi. Aktivitas pembelajaran mencakup diskusi, studi kasus, serta praktik perancangan sederhana untuk memastikan pemahaman yang mendalam terhadap sistem kelistrikan PLTB.

2) Alternatif Pembelajaran

Pembelajaran perancangan sistem kelistrikan PLTB Skala Kecil dapat dilakukan melalui proyek berbasis pembelajaran, simulasi, studi kasus, eksperimen laboratorium, serta kunjungan industri. Peserta didik dapat merancang dan membuat prototipe sistem, melakukan simulasi dengan perangkat lunak, menganalisis studi kasus penerapan PLTB, serta melakukan eksperimen sederhana untuk memahami prinsip kerja sistem. Selain itu, kunjungan industri atau wawancara dengan ahli dapat memperkaya wawasan mereka mengenai tantangan dan inovasi dalam bidang ini. Dengan pendekatan ini, peserta didik diharapkan mampu berpikir kritis dan kreatif dalam merancang serta menginventarisir peralatan sistem kelistrikan PLTB.

3. Pembangunan dan Pemasangan PLTB Skala Kecil

Tujuan Materi	:	<ol style="list-style-type: none">1. Menerapkan pengetahuan pemasangan konstruksi sipil PLTB Skala Kecil.2. Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem mekanik PLTB Skala Kecil.3. Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem kelistrikan PLTB Skala Kecil.
Subpokok	:	Pembangunan dan Pemasangan PLTMH
Alokasi Waktu	:	72 JP (disajikan dalam 18 minggu) Rancangan pembelajaran pada contoh ini disajikan dalam 18 kali pertemuan. Alokasi waktu dapat dikembangkan sesuai kebutuhan di sekolah.

a. Pembangunan dan Pemasangan Bangunan Sipil

Alokasi Waktu	:	18 JP × 45 Menit
Tujuan	:	Menerapkan pengetahuan pemasangan konstruksi sipil PLTB Skala Kecil.
Indikator	:	<ol style="list-style-type: none">1. Peserta didik mampu merencanakan bangunan sipil pada PLTB secara kreatif dan gotong royong.2. Peserta didik mampu mendaftar kebutuhan bangunan sipil PLTB secara kreatif.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Pembelajaran pemasangan konstruksi sipil PLTB Skala Kecil dapat dilakukan melalui diskusi, perencanaan desain, penyusunan daftar kebutuhan material, simulasi pemasangan, serta evaluasi hasil. Peserta didik menganalisis contoh proyek, merancang sketsa atau model 3D fondasi dan struktur menara, serta menyusun daftar bahan dan alat yang dibutuhkan. Selanjutnya, mereka melakukan praktik sederhana pemasangan fondasi dan tiang turbin dengan teknik yang sesuai. Proses ini ditutup dengan presentasi dan evaluasi untuk menyempurnakan desain berdasarkan masukan yang diterima. Metode ini mendorong peserta didik untuk berpikir kreatif, bekerja sama secara gotong royong, dan memahami prinsip teknis dalam pemasangan konstruksi sipil PLTB.

2) Alternatif Pembelajaran

Pembelajaran pemasangan konstruksi sipil PLTB Skala Kecil dapat dilakukan melalui beberapa metode alternatif, seperti *Project-Based Learning* (PBL), simulasi desain, praktik langsung, dan studi kasus proyek nyata. Dalam PBL, peserta didik bekerja dalam kelompok untuk merancang fondasi dan struktur menara PLTB, menyusun daftar kebutuhan material, serta mempresentasikan hasilnya. Simulasi desain dapat dilakukan dengan software pemodelan untuk memahami struktur dan kestabilan konstruksi. Praktik langsung seperti pembuatan model skala kecil dari bahan sederhana membantu peserta didik mengaplikasikan teori ke dalam pekerjaan fisik. Sementara itu, studi kasus proyek nyata memungkinkan peserta didik menganalisis proyek yang sudah ada dan menyusun solusi inovatif. Dengan pendekatan ini, peserta didik akan belajar secara kreatif, kolaboratif, dan aplikatif dalam merancang serta menyusun kebutuhan bangunan sipil PLTB.

b. Pembangunan dan Pemasangan Sistem Mekanik

Alokasi Waktu	:	18 JP × 45 Menit
Tujuan	:	Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem mekanik PLTB Skala Kecil.
Indikator	:	<ol style="list-style-type: none">1. Peserta didikan mampu memasang sistem mekanik PLTB secara gotong royong.2. Peserta didik mampu melakukan pemeriksaan untuk memastikan kinerja sistem mekanik dapat bekerja dengan aman secara kreatif.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Pembelajaran pemasangan sistem mekanik PLTB dilakukan melalui diskusi, simulasi, praktik langsung, pemeriksaan kinerja, dan evaluasi. Peserta didik menganalisis berbagai jenis turbin angin serta komponennya, kemudian melakukan simulasi pemasangan rotor, poros, dan *gearbox*. Selanjutnya, mereka bekerja secara gotong royong dalam praktik pemasangan sistem mekanik PLTB dengan memperhatikan teknik perakitan yang tepat. Setelah pemasangan, peserta didik melakukan pemeriksaan untuk memastikan kestabilan struktur dan keamanan sistem. Proses ini diakhiri dengan evaluasi dan presentasi hasil untuk mengidentifikasi masalah serta mencari solusi kreatif guna meningkatkan kinerja sistem mekanik PLTB.

2) Alternatif Pembelajaran

Pembelajaran pemasangan sistem mekanik PLTB dapat dilakukan melalui beberapa metode alternatif, seperti *Project-Based Learning* (PBL), simulasi digital, praktik langsung, dan studi kasus teknis. Dalam PBL, peserta didik bekerja dalam tim untuk merancang dan memasang sistem mekanik PLTB, mulai dari pemasangan rotor, poros, hingga *gearbox*, dengan menekankan kerja sama dan gotong royong. Simulasi digital menggunakan perangkat lunak untuk memahami prinsip kerja dan potensi kesalahan dalam pemasangan sebelum praktik langsung. Praktik langsung melibatkan pemasangan sistem mekanik secara nyata dengan bimbingan instruktur, diikuti dengan pemeriksaan keamanan dan kinerja untuk memastikan sistem berfungsi dengan baik. Studi kasus teknis membantu peserta didik menganalisis proyek PLTB yang sudah ada serta mengevaluasi tantangan yang dihadapi dalam pemasangan mekanik. Pendekatan ini mendorong keterampilan teknis, kerja sama tim, serta kreativitas dalam memastikan sistem PLTB dapat beroperasi dengan aman dan optimal.

c. Pembangunan dan Pemasangan Sistem Elektrik

Alokasi Waktu	:	18 JP × 45 Menit
Tujuan	:	Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem kelistrikan PLTB Skala Kecil.
Indikator	:	<ol style="list-style-type: none">1. Peserta didik mampu memasang sistem kelistrikan pada PLTB secara bergotong royong.2. Peserta didik mampu melakukan pemeriksaan untuk memastikan kinerja sistem kelistrikan bekerja dengan aman dengan berpikir kritis.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Pembelajaran mengenai Pembangunan dan Pemasangan Sistem Elektrik pada PLTB Skala Kecil bertujuan untuk membekali peserta didik dengan keterampilan dalam memasang sistem kelistrikan secara bergotong royong serta memastikan kinerjanya berjalan dengan aman dan efisien. Dalam prosesnya, peserta didik akan bekerja secara kolaboratif untuk merakit dan menghubungkan komponen listrik pada PLTB sehingga dapat memahami prinsip kerja serta tantangan yang mungkin muncul di lapangan. Selain itu, mereka juga akan diajarkan untuk berpikir kritis dalam melakukan pemeriksaan sistem, mengidentifikasi potensi risiko, dan memastikan bahwa semua instalasi beroperasi sesuai dengan standar keselamatan. Dengan pendekatan ini, diharapkan peserta didik tidak hanya memiliki keterampilan teknis, tetapi juga mampu bekerja sama dan berpikir analitis dalam menyelesaikan permasalahan kelistrikan di sistem energi terbarukan.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran, peserta didik dapat melakukan simulasi pemasangan sistem kelistrikan PLTB Skala Kecil menggunakan model atau perangkat lunak simulasi sebelum praktik langsung di lapangan. Melalui metode ini, mereka dapat memahami konsep pemasangan dan konfigurasi sistem secara bertahap serta mengidentifikasi potensi kesalahan tanpa risiko nyata. Setelah simulasi, peserta didik bekerja dalam kelompok untuk melakukan instalasi fisik dengan prinsip gotong royong, membagi tugas sesuai kompetensi masing-masing. Selanjutnya, mereka menerapkan pemikiran kritis dalam memeriksa dan menguji sistem guna memastikan keselamatan dan kinerja optimal. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan keterampilan teknis tetapi juga membangun kerja sama tim dan kemampuan analisis dalam menangani tantangan kelistrikan PLTB.

d. Pembangunan dan Pemasangan Sistem Proteksi

Alokasi Waktu	:	18 JP × 45 Menit
Tujuan	:	Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem kelistrikan PLTB Skala Kecil.
Indikator	:	<ol style="list-style-type: none">1. Peserta didik mampu memasang sistem proteksi PLTB dengan bernalar kritis.2. Peserta didik mampu melakukan pemeriksaan untuk memastikan sistem proteksi bekerja dengan aman dengan berpikir kritis.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Pembelajaran mengenai Pembangunan dan Pemasangan Sistem Proteksi pada PLTB Skala Kecil bertujuan untuk membekali peserta didik dengan keterampilan dalam memasang serta memastikan sistem proteksi bekerja dengan optimal dan aman. Dalam prosesnya, peserta didik akan memahami berbagai jenis perlindungan seperti *grounding*, *surge protector*, dan pemutus sirkuit (MCB) untuk mencegah risiko kerusakan akibat lonjakan tegangan atau gangguan listrik. Mereka akan memasang sistem proteksi dengan bernalar kritis, menganalisis kebutuhan perlindungan berdasarkan karakteristik PLTB. Selain itu, peserta didik akan melakukan pemeriksaan menyeluruh guna memastikan bahwa semua komponen proteksi berfungsi dengan baik, menggunakan metode pengukuran serta simulasi gangguan untuk mengevaluasi efektivitas sistem. Dengan pendekatan ini, peserta didik tidak hanya memperoleh keterampilan teknis tetapi juga meningkatkan kemampuan berpikir kritis dalam menjaga keamanan dan keandalan sistem kelistrikan PLTB.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran, peserta didik dapat melakukan studi kasus dan simulasi pemasangan sistem proteksi PLTB sebelum praktik langsung. Mereka dapat menganalisis berbagai skenario gangguan listrik, seperti lonjakan tegangan atau hubung singkat, serta menentukan solusi proteksi yang tepat. Dengan bantuan perangkat lunak simulasi atau maket sistem kelistrikan, peserta didik dapat menguji efektivitas komponen seperti *grounding*, MCB, dan *surge protector* dalam melindungi sistem. Setelah memahami prinsip kerjanya, mereka bekerja dalam kelompok untuk memasang dan memverifikasi sistem proteksi pada model PLTB nyata. Melalui pendekatan ini, peserta didik mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan analitis dalam memastikan keamanan dan keandalan sistem proteksi PLTB.

F. Tindak Lanjut

Kegiatan tindak lanjut dapat dilakukan dengan dua kegiatan, yaitu pengayaan atau remedial.

1. Pengayaan

Pengayaan diberikan bagi peserta didik yang telah mencapai kriteria ketercapaian dari tujuan pembelajaran yang telah ditetapkan. Kegiatan pengayaan dapat dilakukan dengan melakukan Scan QR tautan yang terdapat di Buku Siswa.

2. Remedial

Kegiatan remedial terkait PLTB melibatkan pengulangan dan penguatan materi tentang prinsip kerja turbin angin, komponen-komponen utama seperti rotor, generator, dan sistem kontrol, serta perhitungan daya yang dihasilkan oleh angin. Dalam kegiatan ini, peserta didik diajak untuk memahami lebih dalam konsep-konsep aerodinamika yang memengaruhi kinerja turbin angin dan cara mengoptimalkan konversi energi angin menjadi listrik. Peserta didik juga diberikan latihan untuk menghitung efisiensi turbin, memahami faktor lingkungan seperti kecepatan angin, dan menyusun skema sistem PLTB yang efisien sesuai dengan kondisi setempat.

G. Asesmen

Asesmen awal disampaikan pada saat awal kegiatan pembelajaran. Asesmen formatif menggunakan instrumen asesmen berupa aktivitas peserta didik baik individu maupun kelompok. Pada bab ini, asesmen aktivitas dapat dilakukan dengan rubrik asesmen pada panduan umum. Asesmen sumatif dilakukan pada bagian uji kompetensi merupakan penilaian dalam instrumen tes tertulis dengan bentuk uraian. Untuk lebih jelas guru dapat melihat tabel rubrik asesmen berikut.

1. Rubrik Penilaian Aktivitas

Aktivitas merupakan ujung tombak pembelajaran. Aktivitas akan menunjukkan apakah tujuan pembelajaran dapat tercapai dengan baik. Penilaiannya merupakan tahapan penting. Berikut rubrik penilaian untuk setiap aktivitas di Buku Siswa.

a. Rubrik Penilaian Aktivitas 3.1 Konsep Energi Angin

Diskusi dan presentasi berkelompok, dengan tujuan melalui aktivitas ini, peserta didik akan berlatih secara mandiri dan gotong royong dalam memahami konsep energi angin pada PLTB Skala Kecil.

Tabel 3.3 Rubrik Penilaian Aktivitas 3.1

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Cara Kerja PLTB	Dapat menjelaskan 4 tahapan cara kerja PLTB dengan benar.	Dapat menjelaskan 3 tahapan cara kerja PLTB dengan benar.	Dapat menjelaskan 2 tahapan cara kerja PLTB dengan benar.	Dapat menjelaskan 1 tahapan cara kerja PLTB dengan benar.

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Cara Kerja Baling-Baling PLTB	Dapat menjelaskan 4 cara kerja baling-baling PLTB dengan benar.	Dapat menjelaskan 3 cara kerja baling-baling PLTB dengan benar.	Dapat menjelaskan 2 cara kerja baling-baling PLTB dengan benar.	Dapat menjelaskan 1 cara kerja baling-baling PLTB dengan benar.

$$\text{Nilai} = \frac{\text{skor perolehan}}{\text{skor maksimal}} \times 100$$

Nilai peserta didik ≥ 75 dianggap tuntas. Nilai di bawah 75 dianggap belum tuntas dan perlu pembelajaran remedial.

Untuk penilaian diskusi dan presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 10 dan Tabel 11 di Panduan Umum.

b. Rubrik Penilaian Aktivitas 3.2 Komponen PLTB

Resume materi Komponen PLTB, bertujuan untuk mengasah kemampuan bernalar kritis dan gotong royong dalam memahami komponen PLTB Skala Kecil.

Tabel 3.4 Rubrik Penilaian Aktivitas 3.2

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Ekplorasi Nama Komponen PLTB	Dapat menjelaskan 10 komponen PLTB model vertikal dan horizontal.	Dapat menjelaskan 5 komponen PLTB model vertikal dan horizontal.	Dapat menjelaskan 2 komponen PLTB model vertikal dan horizontal.	Dapat menjelaskan 1 komponen PLTB model vertikal dan horizontal.
Nama dan Fungsi Komponen PLTB	Dapat menjelaskan 10 nama komponen dan fungsinya.	Dapat menjelaskan 5 nama komponen dan fungsinya.	Dapat menjelaskan 2 nama komponen dan fungsinya.	Dapat menjelaskan 1 nama komponen dan fungsinya.
Teknologi Penyimpanan Listrik dari Masa ke Masa	Menulis era awal, era industri, era teknologi canggih dan masa depan dengan baik.	Menulis era awal, era industri, era teknologi canggih tanpa masa depan dengan baik.	Menulis hanya dua era awal, era industri.	Menulis hanya satu era.

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Nama Peralatan Daftar Harga	Menyebut 6 nama komponen lengkap dengan harga dan sumber tempat pembelian.	Menyebut 4 nama komponen lengkap dengan harga dan sumber tempat pembelian.	Menyebut 2 nama komponen lengkap dengan harga dan sumber tempat pembelian.	Menyebut 1 nama komponen lengkap dengan harga dan sumber tempat pembelian.
Resume di Media Informasi	Menulis lebih dari 500 kata, dilengkapi dengan gambar dan video.	Menulis lebih dari 300 kata, dilengkapi dengan gambar dan video.	Menulis lebih dari 200 kata, tanpa dilengkapi video.	Menulis lebih dari 50 kata, tanpa dilengkapi dengan gambar dan video.

Penilaian rubrik, diskusi dan presentasi lihat Aktivitas 3.1 pada Tabel 3.3.

c. Rubrik Aktivitas 3.3 K3LH

Melalui kegiatan ini, peserta didik akan mampu bernalar kritis dalam memahami *manual book* dan K3LH di ketinggian pada PLTB Skala Kecil.

Tabel 3.5 Rubrik Penilaian Aktivitas 3.3

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Maksud Tanda Peringatan	Menyebutkan dan menjelaskan 10 tanda peringatan.	Menyebutkan dan menjelaskan 5 tanda peringatan.	Menyebutkan dan menjelaskan 2 tanda peringatan.	Menyebutkan dan menjelaskan 1 tanda peringatan.
Memahami <i>Manual Book</i> PLTB	Menjelaskan spesifikasi, bagian PLTB, cara memasang kelebihan dan kekurangan serta K3.	Menjelaskan spesifikasi, bagian PLTB, cara memasang.	Menjelaskan spesifikasi, bagian PLTB.	Menjelaskan spesifikasi.
Peralatan Bekerja pada Ketinggian	Menyebutkan dan menjelaskan 10 peralatan K3.	Menyebutkan dan menjelaskan 5 peralatan K3.	Menyebutkan dan menjelaskan 3 peralatan K3.	Menyebutkan dan menjelaskan 1 peralatan K3.

Penilaian rubrik, diskusi dan presentasi lihat Aktivitas 3.1 pada Tabel 3.3.

d. Rubrik Aktivitas 3.4 Perancangan Bangunan Sipil

Tujuan aktivitas ini ialah mengasah kreativitas dan gotong royong dalam memahami perancangan bangunan sipil pada PLTB Skala Kecil.

Tabel 3.6 Rubrik Penilaian Aktivitas 3.4

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Menghitung Kapasitas PLTB	Rumus dan hasilnya sesuai dengan kunci jawaban.	Rumus dan hasilnya ada kesalahan 2.	Rumus dan hasilnya ada kesalahan 4.	Rumus dan hasilnya ada kesalahan 6.
Menghitung Ukuran Pondasi	Rumus dan hasilnya sesuai dengan kunci jawaban.	Rumus dan hasilnya ada kesalahan 2.	Rumus dan hasilnya ada kesalahan 4.	Rumus dan hasilnya ada kesalahan 6.
Membuat Miniatur Penyangga PLTB	Membuat sesuai dengan petunjuk dan mampu di bebani 1 kg.	Membuat sesuai dengan petunjuk dan mampu di bebani 1/2 kg.	Membuat sesuai dengan petunjuk dan mampu di bebani 1/3 kg.	Membuat sesuai dengan petunjuk dan mampu di bebani 1/4 kg.

Penilaian rubrik, diskusi dan presentasi lihat Aktivitas 3.1 pada Tabel 3.3.

e. Rubrik Penilaian pada Aktivitas 3.5 Perancangan Sistem Mekanik

Bertujuan untuk mengasah kemampuan bernalar kritis, Kreatif dan gotong royong dalam memahami Perancangan Sistem Mekanik pada PLTB Skala Kecil.

Tabel 3.7 Rubrik Penilaian Aktivitas 3.5

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Purwarupa Bilah Kipas	Bentuknya sesuai dengan prinsip kerja NACA, rapi dan presisi.	Bentuknya sesuai dengan prinsip kerja NACA, rapi namun tidak presisi.	Bentuknya sesuai dengan prinsip kerja NACA, tidak rapi dan presisi.	Bentuknya tidak sesuai dengan prinsip kerja NACA, tidak rapi dan presisi.
Gambar <i>Airfoil</i> NACA pada Buku, atau Kertasnya	Menggambar sesuai dengan prinsip kerja NACA, rapi dan presisi.	Menggambar sesuai dengan prinsip kerja NACA, rapi, tetapi tidak presisi.	Menggambar sesuai dengan prinsip kerja NACA, tidak rapi dan presisi.	Menggambar tidak sesuai dengan prinsip kerja NACA, tidak rapi dan presisi.
Membuat Bagian Bilah Kipas	Bentuknya sesuai dengan prinsip kerja NACA, rapi dan presisi.	Bentuknya sesuai dengan prinsip kerja NACA, rapi, tetapi tidak presisi.	Bentuknya sesuai dengan prinsip kerja NACA, tidak rapi dan presisi.	Bentuknya tidak sesuai dengan prinsip kerja NACA, tidak rapi dan presisi.

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Menghitung Daya yang Dihasilkan oleh Bilah Turbin	Langkahnya sesuai dengan kunci jawaban.	Langkahnya tidak sesuai dengan kunci jawaban.	Langkahnya tidak sesuai dengan kunci jawaban masih ada kesalahan.	Tidak mengerjakan.

Penilaian rubrik, diskusi dan presentasi lihat Aktivitas 3.1 pada Tabel 3.3.

f. Rubrik Penilaian Aktivitas 3.6 Perancangan Sistem Elektrik

Perancangan Sistem Elektrik untuk mengasah kemampuan bernalar kritis, kreatif, dan bergotong royong dalam memahami perancangan sistem elektrik pada PLTB Skala Kecil.

Tabel 3.8 Rubrik Penilaian Aktivitas 3.6

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Generator Asinkron	Mampu menyampaikan sesuai dengan kunci jawaban.	Mampu menyampaikan sesuai dengan 50% kunci jawaban.	Mampu menyampaikan sesuai dengan 25% kunci jawaban.	Mampu menyampaikan sesuai dengan 5% kunci jawaban.
Name Plate Generator	Mampu membaca secara acak/ berurutan <i>name plate</i> seperti pada kunci jawaban.	Mampu membaca secara acak/ berurutan <i>name plate</i> 50% seperti pada kunci jawaban.	Mampu membaca secara acak/ berurutan <i>name plate</i> 25% seperti pada kunci jawaban.	Mampu membaca secara acak/ berurutan <i>name plate</i> 10% seperti pada kunci jawaban.
Menghitung Jumlah Baterai	Langkah dan perhitungannya sesuai dengan kunci jawaban.	Langkah dan perhitungannya 50% sesuai dengan kunci jawaban.	Langkah dan perhitungannya 25% sesuai dengan kunci jawaban.	Langkah dan perhitungannya 10% sesuai dengan kunci jawaban.
Rencana Anggaran Biaya	Sesuai dengan kunci jawaban atau ada penambahan item yang penting, kemudian memiliki argumen yang mendukung.	Sesuai dengan kunci jawaban, tetapi masih ada kekurangan 10% jumlah alat.	Sesuai dengan kunci jawaban, tetapi masih ada kekurangan 25% jumlah alat.	Sesuai dengan kunci jawaban, tetapi masih ada kekurangan 50% jumlah alat.

Penilaian rubrik, diskusi dan presentasi lihat Aktivitas 3.1 pada Tabel 3.3.

g. Rubrik Penilaian Aktivitas 3.7 Pembangunan dan Pemasangan Sipil

Dengan tujuan untuk mengasah kemampuan gotong royong dalam Pembangunan dan Pemasangan Sipil pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Skala Kecil.

Tabel 3.9 Rubrik Penilaian Aktivitas 3.7

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Persiapan Lahan	Melaksanakan kegiatan dengan baik dan memiliki catatan proses pembersihan, penggalian, mempersiapkan jalan akses, mengukur dengan anemometer, dan memiliki rencana model tiang.	Melaksanakan kegiatan dengan baik dan memiliki catatan proses pembersihan, penggalian, mempersiapkan jalan akses, mengukur dengan anemometer, tetapi tidak memiliki rencana model tiang.	Melaksanakan kegiatan dengan baik dan tidak memiliki catatan proses.	Tidak mengikuti kegiatan.
Wawancara dengan Tenaga Ahli	Melakukan wawancara dengan tenaga ahli dan memiliki catatan perhitungan RAB.	Hanya melakukan salah satu kegiatan wawancara atau memiliki catatan perhitungan RAB.	Hanya melakukan salah satu kegiatan wawancara atau memiliki catatan perhitungan RAB yang salah.	Tidak mengikuti kegiatan.
Pembuatan Fondasi	Fondasi sesuai dengan rencana dengan akurasi ukuran yang pas dan rapi.	Fondasi sesuai dengan rencana dengan akurasi ukuran yang pas namun kurang rapi.	Fondasi sesuai dengan rencana namun akurasi ukuran kurang	Fondasi sesuai dengan rencana namun akurasi ukuran kurang dan rapuh.

Penilaian rubrik, diskusi, dan presentasi lihat Aktivitas 3.1 pada Tabel 3.3.

i. Rubrik Penilaian Aktivitas 3.8 Pembangunan dan Pemasangan Sistem Mekanik

Bertujuan untuk mengasah kemampuan kreativitas dan gotong royong dalam memahami Pembangunan dan Pemasangan Sistem Mekanik pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Skala Kecil.

Tabel 3.10 Rubrik Penilaian Aktivitas 3.8

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Gambar dan Daftar Kebutuhan Penyangga Silinder	Melaksanakan kegiatan dengan baik dan memiliki catatan proses pembersihan, penggalian, mempersiapkan jalan akses, mengukur dengan anemometer, dan memiliki rencana model tiang.	Melaksanakan kegiatan dengan baik dan memiliki catatan proses pembersihan, penggalian, mempersiapkan jalan akses, mengukur dengan anemometer, tetapi tidak memiliki rencana model tiang.	Melaksanakan kegiatan dengan baik dan tidak memiliki catatan proses.	Tidak mengikuti kegiatan.
Gambar dan Daftar Kebutuhan Penyangga <i>Truss</i>	Melakukan wawancara dengan tenaga ahli dan memiliki catatan perhitungan RAB.	Hanya melakukan salah satu kegiatan wawancara atau memiliki catatan perhitungan RAB.	Hanya melakukan salah satu kegiatan wawancara atau memiliki catatan perhitungan RAB yang salah.	Tidak mengikuti kegiatan.
Pemasangan PLTB	Fondasi sesuai dengan rencana dengan akurasi ukuran yang pas dan rapi.	Fondasi sesuai dengan rencana dengan akurasi ukuran yang pas namun kurang rapi.	Fondasi sesuai dengan rencana, tetapi akurasi ukuran kurang	Fondasi sesuai dengan rencana, tetapi akurasi ukuran kurang dan rapuh.
Membuat Resume	Resume lebih dari 500 kata dengan isi yang runut dari persiapan, proses pemasangan bagian sipil, mekanik, dan kelistrikan serta perawatan lanjut.	Resume kurang dari 500 kata dengan isi yang runut dari persiapan, proses pemasangan bagian sipil, mekanik, dan kelistrikan serta perawatan lanjut.	Resume kurang dari 100 kata dengan isi yang runut dari persiapan, proses pemasangan bagian sipil, mekanik, dan kelistrikan serta perawatan lanjut.	Resume kurang dari 50 kata dengan isi yang runut dari persiapan, proses pemasangan bagian sipil, mekanik, dan kelistrikan serta perawatan lanjut.

Penilaian rubrik, diskusi dan presentasi lihat Aktivitas 3.1 pada Tabel 3.3.

j. Rubrik Aktivitas 3.9 Pembangunan dan Pemasangan Sistem Elektrik

Dengan Tujuan Melalui aktivitas ini, siswa akan mengasah kemampuan gotong royong dalam memahami Pembangunan dan pemasangan Sistem Kelistrikan pada PLTB Skala Kecil.

Tabel 3.11 Rubrik Penilaian Aktivitas 3.9

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Gambar Diagram Kelistrikan	Memiliki gambar sistem kelistrikan PLTB 1.500 watt. Dilengkapi dengan RAB (Rencana Anggaran Biaya) lengkap.	Memiliki gambar sistem kelistrikan PLTB 1.500 watt. Dilengkapi dengan RAB (Rencana Anggaran Biaya) namun tidak lengkap.	Hanya memiliki salah satu gambar sistem kelistrikan PLTB 1.500 watt. Dilengkapi dengan RAB (Rencana Anggaran Biaya).	Hanya memiliki salah satu gambar sistem kelistrikan PLTB 1.500 watt. Dilengkapi dengan RAB (Rencana Anggaran Biaya), tetapi salah.
Pengujian Kinerja	Memiliki data tabel pada bagian input dan <i>output</i> pada saat diberi beban dan tanpa beban.	Memiliki data tabel pada bagian input saja pada saat diberi beban dan tanpa beban.	Memiliki data tabel pada bagian input saja.	Tidak memiliki data.

Penilaian rubrik, diskusi dan presentasi lihat Aktivitas 3.1 pada Tabel 3.3.

k. Rubrik Penilaian 3.10 Pembangunan dan Pemasangan Sistem Proteksi

Dengan tujuan melalui aktivitas ini, peserta didik akan mengasah kemampuan bernalar kritis dalam memahami Pembangunan dan Pemasangan Sistem Proteksi pada pembangkit Listrik Tenaga Bayu Skala Kecil.

Tabel 3.12 Rubrik Penilaian Aktivitas 3.10

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Gambar Sistem Kelistrikan dan Proteksi	Memiliki gambar sistem kelistrikan PLTB misalnya dengan kapasitas 1.500 watt. Dilengkapi dengan proteksi standar SNI.	Memiliki gambar sistem kelistrikan PLTB misalnya dengan kapasitas 1.500 watt. tanpa Dilengkapi dengan proteksi standar SNI.	Memiliki gambar sistem kelistrikan PLTB misalnya dengan kapasitas 1.500 watt.	Tidak memiliki gambar.

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
RAB Sistem Kelistrikan dan Proteksi	Memiliki data tabel pada bagian input dan <i>output</i> pada saat diberi beban dan tanpa beban.	Memiliki data tabel pada bagian input saja pada saat diberi beban dan tanpa beban.	Memiliki data tabel pada bagian input saja.	Tidak memiliki data.
Melakukan Pemasangan Sistem Kelistrikan dan Proteksi	Pemasangan sistem kelistrikan dan proteksi berjalan lancar dan dapat diuji kinerjanya dengan baik.	Pemasangan sistem kelistrikan dan proteksi berjalan lancar, tetapi tidak dapat diuji kinerjanya dengan baik.	Pemasangan sistem kelistrikan dan proteksi perlu bimbingan dan dapat diuji kinerjanya dengan baik.	Pemasangan sistem kelistrikan dan proteksi perlu bimbingan dan tidak dapat diuji kinerjanya dengan baik.

Penilaian rubrik, diskusi dan presentasi lihat Aktivitas 3.1 pada Tabel 3.3.

H. Kunci Jawaban

1. Kunci Jawaban Aktivitas

a. Aktivitas 3.1 Konsep Energi Angin

1. Cara Kerja PLTB yang Ditunjukkan Gambar
 - a. Pertama, angin mengenai bilah turbin yang didesain aerodinamis, menyebabkan bilah berputar. Putaran bilah ini diteruskan ke poros utama yang terhubung ke *gearbox* (jika digunakan) untuk meningkatkan kecepatan putaran.
 - b. Poros kemudian menggerakkan generator yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, di mana medan magnet berputar memotong kumparan sehingga menghasilkan listrik dalam bentuk arus bolak-balik (AC). Listrik yang dihasilkan memiliki tegangan dan frekuensi yang bervariasi sehingga perlu diatur melalui inverter atau transformator sebelum disalurkan ke jaringan listrik atau digunakan secara langsung.
 - c. Untuk meningkatkan efisiensi dan keamanan, PLTB dilengkapi dengan sistem kontrol otomatis yang menyesuaikan sudut bilah (*pitch control*) dan arah turbin (*yaw control*) agar selalu menghadap ke arah angin optimal. Jika kecepatan angin terlalu tinggi, sistem pengereman akan bekerja untuk mencegah kerusakan. Selain itu, dalam sistem hibrida atau *off-grid*, listrik yang dihasilkan dapat disimpan dalam baterai untuk digunakan saat angin tidak bertiup.

d. *Dump load* pada PLTB berfungsi sebagai sistem pembuangan daya berlebih untuk mencegah *overvoltage* dan melindungi komponen seperti generator, inverter, serta baterai dalam sistem *off-grid* atau hibrida. Ketika turbin angin menghasilkan lebih banyak listrik daripada yang dapat digunakan atau disimpan, regulator secara otomatis mengalihkan energi berlebih ke *dump load*, biasanya berupa resistor pemanas atau elemen beban lainnya, yang mengubah listrik menjadi panas. Proses ini menjaga keseimbangan daya dalam sistem dan mencegah kerusakan akibat lonjakan tegangan.

2. Cara Kerja Baling-Baling PLTB

- a. Interaksi dengan Angin – Ketika angin bertiup, udara mengalir melewati bilah turbin yang memiliki desain aerodinamis (seperti sayap pesawat). Perbedaan tekanan udara di kedua sisi bilah menciptakan gaya angkat (*lift*) yang menyebabkan bilah berputar.
- b. Konversi Energi Kinetik – Putaran bilah mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik pada poros utama. Jika turbin menggunakan *gearbox*, putaran poros dapat ditingkatkan agar sesuai dengan kebutuhan generator.
- c. Pengaturan Sudut dan Arah – Sistem kontrol *pitch* dapat mengubah sudut bilah untuk mengoptimalkan putaran sesuai dengan kecepatan angin, sementara sistem *yaw* mengatur arah turbin agar selalu menghadap ke angin yang paling optimal.
- d. Penggerak Generator – Putaran poros utama diteruskan ke generator, yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik melalui induksi elektromagnetik. Listrik yang dihasilkan kemudian diolah sebelum disalurkan ke jaringan atau disimpan dalam baterai.

b. Aktivitas 3.2 Komponen PLTB

- 1. Nama komponen PLTB model vertikal dan horizontal: baling-baling, *gearbox*, generator, sistem pengaman cuaca, batera, dan inverter
- 3. Nama komponen dan peralatan

Nama Komponen/ Peralatan	Fungsi dan Kegunaan	Perkembangan Terkini
Baling-baling (<i>blade</i>)	Mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran.	Efisiensi baling-baling bergantung pada desainnya (jumlah bilah, bentuk aerodinamis, dan material).
<i>Gearbox</i>	Meningkatkan kecepatan putaran dari poros utama (<i>low RPM</i>) ke generator agar sesuai dengan kecepatan optimalnya.	Tidak diperlukan pada beberapa desain turbin angin yang menggunakan <i>generator direct-drive</i> (tanpa <i>gearbox</i>).

Nama Komponen/ Peralatan	Fungsi dan Kegunaan	Perkembangan Terkini
Generator	Mengubah energi mekanik dari putaran baling-baling menjadi energi listrik.	Dapat berupa generator sinkron, asinkron, atau generator magnet permanen (PMG).
Sistem Pengaman Cuaca Sistem Pengaman Cuaca	Melindungi sistem dari kondisi cuaca ekstrem seperti badai, petir, atau angin kencang berlebihan. Contohnya: sensor kecepatan angin (anemometer), sistem pengereman otomatis, dan proteksi petir.	
Baterai	Menyimpan energi listrik yang dihasilkan untuk digunakan saat produksi energi rendah atau tidak ada (misalnya, saat angin lemah atau malam hari dalam sistem hibrida).	Mengatur stabilitas pasokan listrik dalam sistem <i>off-grid</i> .
Inverter	Mengubah arus searah (DC) dari baterai atau generator ke arus bolak-balik (AC) agar dapat digunakan oleh perangkat listrik atau diintegrasikan ke jaringan listrik.	Dapat berupa inverter <i>off-grid</i> atau <i>on-grid</i> bergantung pada sistem yang digunakan.

4. Perkembangan Teknologi Penyimpanan Listrik dari Masa ke Masa

a. Era Awal: Baterai Kimia Sederhana (1800-an – Awal 1900-an)

- 1800 – Baterai Volta (Voltaic Pile)

Alessandro Volta menciptakan baterai pertama menggunakan lapisan seng dan tembaga yang dipisahkan oleh kain yang direndam dalam elektrolit.

- 1859 – Baterai Timbal-Asam

Gaston Planté mengembangkan baterai isi ulang pertama dengan elektrolit asam sulfat, yang masih digunakan hingga sekarang dalam kendaraan dan sistem penyimpanan energi darurat.

- 1899 – Baterai Nikel-Kadmium (NiCd)

Waldemar Jungner memperkenalkan baterai isi ulang yang lebih tahan lama dibandingkan timbal-asam.

b. Era Industri dan Perkembangan Baterai Modern (1900-an – 1980-an)

- 1955 – Baterai Alkaline

Lew Urry mengembangkan baterai alkaline, yang lebih tahan lama dibandingkan dengan karbon-zink dan menjadi standar untuk baterai sekali pakai.

- 1970-an – Baterai Nikel-Metal Hidrid (NiMH)
Sebagai pengganti NiCd, NiMH memiliki kepadatan energi lebih tinggi dan lebih ramah lingkungan.
 - 1980-an – Baterai Lithium-Ion (Li-Ion) Awal
Konsep baterai lithium mulai dikembangkan oleh Akira Yoshino, yang kemudian menjadi standar utama di perangkat elektronik dan kendaraan listrik.
- c. Era Teknologi Listrik Canggih (1990-an – Sekarang)
- 1991 – Komersialisasi Baterai Lithium-Ion
Sony memasarkan baterai lithium-ion pertama, yang mengubah industri elektronik.
 - 2000-an – Baterai Lithium-Polimer (Li-Po)
Digunakan dalam perangkat elektronik portabel karena fleksibilitas bentuk dan bobotnya yang ringan.
 - 2010-an – Sekarang – Perkembangan Baterai untuk Energi Terbarukan dan Kendaraan Listrik
 - o Baterai Solid-State → Lebih aman, kapasitas lebih besar, dan umur pakai lebih panjang.
 - o Baterai Sodium-Ion → Alternatif lebih murah dibandingkan dengan lithium-ion.
 - o Baterai Flow (Redox Flow Battery) → Cocok untuk penyimpanan energi skala besar dari sumber terbarukan.
- d. Masa Depan: Teknologi Baru dalam Penyimpanan Energi
- Baterai Grafena → Potensi pengisian supercepat dan umur panjang.
 - Baterai Lithium-Sulfur (Li-S) → Kepadatan energi lebih tinggi dibandingkan dengan Li-Ion.
 - Baterai Berbasis Hidrogen → Digunakan dalam sel bahan bakar untuk kendaraan dan pembangkit listrik.
 - Superkapasitor → Pengisian cepat untuk aplikasi daya tinggi seperti mobil listrik dan perangkat portabel.
5. Tabel daftar nama peralatan PLTB, harga dan tempat beli secara *offline* atau *online*

Tabel 3.13 Komponen, Perkiraan Harga, dan Tempat Pembelian Peralatan PLTB

Komponen	Perkiraan Harga	Tempat Pembelian
Turbin Angin	Harga turbin angin bervariasi berdasarkan kapasitas dan teknologi. Untuk skala kecil (rumah tangga), harga berkisar antara Rp10 juta hingga Rp50 juta.	Turbin angin skala kecil dapat dibeli melalui distributor energi terbarukan lokal atau toko <i>online</i> yang menjual peralatan energi terbarukan. Untuk turbin skala besar, pembelian biasanya dilakukan langsung melalui produsen atau distributor resmi. Contoh produsen internasional yang telah memasok turbin di Indonesia ialah Siemens.

Komponen	Perkiraan Harga	Tempat Pembelian
<i>Gearbox</i>	Harga dapat berkisar antara Rp5 juta hingga Rp20 juta. Untuk aplikasi skala besar, harga dapat mencapai ratusan juta rupiah.	Turbin angin: pembelian biasanya dilakukan melalui pemesanan langsung ke produsen atau distributor resmi.
Generator	Harga generator bervariasi berdasarkan kapasitas dan jenisnya. Untuk generator skala kecil, harga berkisar antara Rp5 juta hingga Rp15 juta. Untuk generator skala besar, harga dapat mencapai ratusan juta rupiah.	Generator dapat dibeli melalui distributor peralatan listrik atau produsen khusus generator. Untuk kebutuhan spesifik, disarankan menghubungi produsen atau distributor resmi untuk mendapatkan spesifikasi dan harga yang sesuai.
Sistem Kontrol	Sistem kontrol untuk turbin skala kecil mungkin berkisar antara Rp2 juta hingga Rp10 juta.	Sistem kontrol dapat diperoleh dari produsen turbin atau pemasok peralatan kontrol industri. Pembelian biasanya dilakukan melalui pemesanan langsung ke produsen atau distributor resmi.
Inverter	Harga inverter tergantung pada kapasitas dan kualitasnya. Untuk kebutuhan rumah tangga, harga inverter berkisar antara Rp3 juta hingga Rp15 juta.	Inverter tersedia di toko elektronik, distributor peralatan listrik, atau toko online yang menjual peralatan energi terbarukan. Pastikan untuk memilih inverter yang sesuai dengan spesifikasi sistem dan standar kualitas yang diperlukan.
Baterai	Harga baterai tergantung pada kapasitas dan jenisnya. Untuk sistem rumah tangga, harga baterai penyimpanan energi berkisar antara Rp5 juta hingga Rp20 juta.	Baterai untuk penyimpanan energi dapat dibeli melalui distributor peralatan listrik, toko khusus baterai, atau toko online. Untuk aplikasi skala besar, disarankan menghubungi produsen atau distributor resmi untuk mendapatkan solusi yang sesuai.

c. Aktivitas 3.3 K3

1. *Notice* Peringatan pada PLTB Papan Peringatan Umum

● “DILARANG MASUK TANPA IZIN”

◆ Maksud: Hanya pekerja yang memiliki izin yang boleh memasuki area untuk menghindari risiko kecelakaan.

⚠ “AREA BERBAHAYA – RISIKO JATUH DARI KETINGGIAN”

◆ Maksud: Mengingatkan pekerja akan bahaya jatuh dari menara turbin dan pentingnya penggunaan peralatan keselamatan.

⚡ “BAHAYA LISTRIK – DILARANG MENYENTUH”

◆ Maksud: Menandakan adanya tegangan listrik tinggi di sekitar sistem kelistrikan turbin.

⚙️ “HATI-HATI! *BLADE* BERPUTAR DAPAT MENIMBULKAN BAHAYA”

◆ Maksud: Mengingatkan bahwa bilah turbin dapat bergerak tiba-tiba dan menimbulkan risiko bagi orang di sekitarnya.

2. Papan Petunjuk Keselamatan

🧑‍🚒 “WAJIB MENGGUNAKAN APD”

◆ Maksud: Pekerja harus memakai helm, harness, sarung tangan, dan sepatu safety sebelum masuk ke area kerja.

🔍 “PERIKSA PERALATAN SEBELUM DIGUNAKAN”

◆ Maksud: Semua alat keselamatan, termasuk tali pengaman dan harness, harus diperiksa sebelum digunakan.

📞 “KONTAK DARURAT: XXX-XXXX-XXXX”

◆ Maksud: Menyediakan nomor yang dapat dihubungi jika terjadi kecelakaan atau keadaan darurat.

📍 “TITIK EVAKUASI”

◆ Maksud: Menunjukkan lokasi berkumpul jika terjadi situasi darurat seperti badai atau kebakaran.

3. Papan Larangan dan Instruksi Tambahan

🚫 “DILARANG MEROKOK”

◆ Maksud: Menghindari risiko kebakaran di sekitar peralatan listrik dan bahan mudah terbakar.

🔧 “HANYA TEKNISI TERLATIH YANG BOLEH MELAKUKAN PERAWATAN”

◆ Maksud: Pekerjaan pemeliharaan hanya boleh dilakukan oleh tenaga ahli yang memahami prose

3. *Manual Book* pemasangan PLTB sebagai contoh mengakses https://www.enair.es/descargas/Manual/MANUAL_E70PROX2_en.pdf

4. Informasi Harga Peralatan K3 di PLTB

Full Body Harness

- Fungsi: Menyebarkan beban tubuh secara merata saat terjadi jatuh, mencegah cedera serius.
- Perkiraan Harga: Rp1.000.000 - Rp3.000.000, bergantung pada merek dan spesifikasi.

Lanyard dengan *Shock Absorber*

- Fungsi: Menghubungkan harness ke anchor point dan mengurangi gaya hentakan saat jatuh.
- Perkiraan Harga: Rp500.000 - Rp1.500.000.

Helm Keselamatan

- Fungsi: Melindungi kepala dari benturan dan jatuhnya objek.
- Perkiraan Harga: Rp150.000 - Rp500.000.

Sepatu *Safety* dengan Sol Anti-Slip

- Fungsi: Mencegah tergelincir dan melindungi kaki dari benda tajam atau berat.
- Perkiraan Harga: Rp300.000 - Rp1.000.000.

Sarung Tangan Pelindung

- Fungsi: Melindungi tangan dari luka, goresan, dan bahan kimia.
- Perkiraan Harga: Rp50.000 - Rp200.000.

Kacamata Pelindung

- Fungsi: Melindungi mata dari debu, serpihan, dan cahaya berlebih.
- Perkiraan Harga: Rp50.000 - Rp250.000.

Earplug atau *Earmuff*

- Fungsi: Melindungi pendengaran dari kebisingan mesin turbin.
- Perkiraan Harga: Rp20.000 - Rp150.000.

Anchor Point Portabel

- Fungsi: Titik jangkar sementara untuk mengamankan lanyard atau lifeline.
- Perkiraan Harga: Rp500.000 - Rp2.000.000.

Vertical Lifeline System

- Fungsi: Sistem tali vertikal yang memungkinkan pekerja bergerak naik turun dengan aman.
- Perkiraan Harga: Rp1.500.000 - Rp5.000.000.

Karabiner Otomatis

- Fungsi: Penghubung antara lanyard dan anchor point dengan mekanisme penguncian otomatis.
- Perkiraan Harga: Rp100.000 - Rp500.000.

d. Aktivitas 3.4 Perancangan Bangunan Sipil

- o Menghitung Kapasitas PLTB dan Ukuran Pondasi

Perhitungan Ukuran Fondasi

Ukuran fondasi turbin angin bergantung pada faktor berikut.

Tinggi Menara: Biasanya, tinggi menara sekitar 1,5 kali diameter rotor, yaitu $1,5 \times 8 = 121,5$ /times $8 = 121,5 \times 8 = 12$ meter.

Gaya Beban (Momen dan Gaya Angin): Fondasi harus mampu menahan momen akibat beban angin pada turbin dan menara.

Jenis Tanah: Jika tanah lunak, fondasi lebih besar; jika tanah keras, fondasi dapat lebih kecil.

Secara umum, untuk turbin dengan diameter 8 meter dan tinggi sekitar 12 meter, fondasi beton bertulang dapat memiliki dimensi sekitar:

- Lebar fondasi: 3 – 4 meter
- Ketebalan fondasi: 1,5 – 2 meter
- Tipe fondasi: Fondasi tapak atau fondasi tiang pancang (jika tanah lunak)

Mari, kita hitung daya turbin terlebih dahulu.

Daya yang dihasilkan oleh turbin angin dengan diameter 8 meter dan kecepatan angin 5 m/s ialah sekitar 1539 watt (1,54 kW).

Untuk ukuran fondasi, disarankan:

- Lebar fondasi: 3 – 4 meter
- Ketebalan fondasi: 1,5 – 2 meter
- Tipe fondasi: fondasi tapak atau tiang pancang (jika tanah lunak)

3. Membuat miniatur sesuai dengan gambar berbahan dari bambu, kawat atau sapu lidi. Rapi dan kuat.

e. Aktivitas 3.5 Perancangan Sistem Mekanik

Untuk menghitung daya yang dihasilkan oleh bilah turbin angin, kita menggunakan rumus daya angin:

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V^3 \times C_p$$

Di mana:

- P = Daya yang dihasilkan (Watt)
- ρ = Densitas udara (sekitar 1.225 kg/m³)
- A = Luas sapuan bilah turbin (m²)
- V = Kecepatan angin (m/s)
- C_p = Koefisien daya (efisiensi konversi energi angin)

1. Hitung luas sapuan bilah

Karena panjang bilah $R = 1R$ meter, turbin ini memiliki sapuan dalam bentuk lingkaran dengan luas:

$$A = \pi R^2 = \pi(1)^2 = 3.1416 \text{ m}^2$$

2. Hitung daya angin total

$$P_{\text{angin}} = \frac{1}{2} \times 1.225 \times 3,1416 \times (5)^3$$

$$P_{\text{angin}} = 0,5 \times 1.225 \times 3,1416 \times 125$$

$$P_{\text{angin}} = 240,8 \text{ watt}$$

3. Hitung daya yang dapat dikonversi oleh turbin

$$P_{\text{turbin}} = P_{\text{angin}} \times C_p$$

$$P_{\text{turbin}} = 240,8 \times 0,4$$

$$P_{\text{turbin}} = 96,3 \text{ Watt}$$

Bilah turbin angin dengan panjang 1 meter yang beroperasi pada kecepatan angin 5 m/s dengan koefisien daya 0,4 dapat menghasilkan sekitar 96,3 watt.

f. Aktivitas 3.6 Perancangan Sistem Elektrik

1. Generator Asinkron vs. Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)

a. Generator Asinkron (Induksi) Ciri-ciri:

- Tidak memiliki magnet permanen, tetapi menggunakan induksi elektromagnetik untuk menghasilkan medan magnet.
- Memerlukan suplai daya eksternal atau kapasitansi untuk eksitasi medan.
- Umumnya, digunakan dalam sistem PLTB dengan kecepatan variabel.

Kelebihan:

- ✓ Biaya lebih rendah dibandingkan dengan PMSG.
- ✓ Struktur sederhana dan perawatan lebih mudah.
- ✓ Tahan terhadap beban lebih dan memiliki ketahanan mekanis yang baik.

Kekurangan:

- ✗ Efisiensi lebih rendah karena adanya rugi daya dalam eksitasi medan.
- ✗ Memerlukan sistem eksitasi eksternal atau kapasitansi tambahan.
- ✗ Kurang efisien untuk kecepatan rendah karena ketergantungan pada slip.

b. Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)

Ciri-ciri:

- Menggunakan magnet permanen untuk menghasilkan medan magnet tanpa perlu eksitasi eksternal.

- Dapat beroperasi pada kecepatan rendah, cocok untuk aplikasi seperti turbin angin skala kecil dan menengah.
- Lebih efisien dibandingkan dengan generator asinkron karena tidak ada rugi daya eksitasi.

Kelebihan:

- ✓ Efisiensi tinggi karena tidak ada rugi daya eksitasi.
- ✓ Dapat beroperasi pada kecepatan rendah tanpa kehilangan kinerja.
- ✓ Ukuran lebih ringkas dengan rasio daya terhadap berat yang lebih baik.

Kekurangan:

- ✗ Biaya awal lebih mahal karena penggunaan magnet permanen.
- ✗ Sensitif terhadap suhu tinggi yang dapat menurunkan performa magnet.
- ✗ Perawatan lebih sulit jika magnet mengalami degradasi atau demagnetisasi.

Secara umum, generator asinkron lebih ekonomis dan tahan lama. Adapun PMSG lebih efisien dan cocok untuk kecepatan rendah seperti pada turbin angin kecil. Pemilihan antara keduanya bergantung pada kebutuhan sistem pembangkit listrik yang dirancang. ✍

2. Name Plate Generator

Name plate pada generator berisi informasi penting mengenai spesifikasi dan karakteristik operasionalnya. Berikut beberapa parameter utama yang biasanya tercantum.

- Rated Power* (Daya Terukur) – Dinyatakan dalam kilowatt (kW) atau kilovolt-ampere (kVA), menunjukkan kapasitas maksimum generator dalam menghasilkan daya listrik.
- Voltage* (Tegangan) – Menunjukkan tegangan keluaran dalam volt (V), misalnya 220V, 380V, atau 440V, bergantung pada konfigurasi fasa.
- Current* (Arus Nominal) – Dinyatakan dalam ampere (A), menunjukkan arus maksimum yang dapat disuplai oleh generator dalam kondisi beban penuh.
- Frequency* (Frekuensi) – Biasanya 50 Hz atau 60 Hz, bergantung pada standar listrik di negara tertentu.
- Phase* (Fasa) – Menunjukkan apakah generator menggunakan sistem satu fasa (*single-phase*) atau tiga fasa (*three-phase*).
- Power Factor* (Faktor Daya) – Biasanya antara 0,8 hingga 1,0, menunjukkan efisiensi penggunaan daya nyata terhadap daya semu.
- Speed* (Kecepatan Putar) – Dinyatakan dalam revolutions per minute (RPM), misalnya 1.500 RPM atau 3.000 RPM, bergantung pada jenis generator dan frekuensi operasionalnya.
- Insulation Class* (Kelas Isolasi) – Biasanya, diberi kode seperti B, F, atau H, menunjukkan ketahanan isolasi terhadap suhu tinggi.

- i. *Excitation System* (Sistem Eksitasi) – Dapat berupa *Self-excited* atau *Separately-excited*, menunjukkan bagaimana medan magnet dihasilkan.
 - j. *Temperature Rise* (Kenaikan Suhu) – Menunjukkan seberapa banyak suhu generator meningkat saat beroperasi penuh dalam jangka waktu tertentu.
3. Untuk menghitung jumlah baterai yang dibutuhkan, kita perlu mengetahui total kapasitas energi yang harus disimpan dalam baterai.

Diketahui:

- Beban rumah = 900 watt
- Baterai tersedia = 12 volt, 70 Ah
- Energi yang dibutuhkan per jam = 900 watt = 0,9 kWh
- Kapasitas satu baterai = 12 V × 70 Ah = 840 Wh = 0,84 kWh

Perhitungan:

Jumlah baterai minimum yang dibutuhkan:

$$\frac{\text{Daya yang dibutuhkan per jam}}{\text{Kapasitas satu baterai}} = \frac{900 \text{ W}}{840 \text{ Wh}} \approx 1,07 \text{ baterai}$$

Karena tidak dapat menggunakan pecahan baterai, minimal 2 baterai diperlukan agar memiliki cadangan daya lebih.

4. Komponen dan Biaya

No	Komponen	Spesifikasi	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
1	Turbin Angin	1.000 W, 48 V	1 unit	6.000.000	6.000.000
2	Controller PLTB	48 V, 30 A	1 unit	1.500.000	1.500.000
3	Baterai	12 V, 70 Ah	6 unit	2.000.000	12.000.000
4	Inverter	48 V DC to 220 V AC, 1.000 W	1 unit	2.500.000	2.500.000
5	Kabel dan Aksesori	Kabel DC + AC, terminal, sekering	1 paket	1.000.000	1.000.000
6	Tiang Turbin Angin	6 meter, besi galvanis	1 unit	2.000.000	2.000.000
7	Instalasi dan Pemasangan	Jasa teknisi	1 paket	2.000.000	2.000.000
Total Biaya					27.000.000

Catatan:

- Harga dapat bervariasi bergantung pada merek dan lokasi pembelian.
- Jika ingin cadangan daya lebih lama, jumlah baterai dapat ditambah sesuai kebutuhan.
- Jika daya rumah lebih kecil dari 900 W per jam, jumlah baterai dapat dikurangi.

g. Aktivitas 3.7 Pemasangan Bangunan Sipil

1. Simulasi dilakukan sesuai seperti yang diminta di Buku Siswa.
2. Hasil wawancara seperti tertuan dalam spesifikasi berikut.
3. Spesifikasi Fondasi
 - Jumlah fondasi: 5 buah
 - Dimensi setiap fondasi:
 - o Lebar: 50 cm (0,5 m)
 - o Dalam: 50 cm (0,5 m)
 - o Tinggi: 50 cm (0,5 m)
 - Volume 1 fondasi

$$V = 0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} = 0,125 \text{ m}^3$$

Total volume beton untuk 5 fondasi

$$0,125 \text{ m}^3 \times 5 = 0,625 \text{ m}^3$$

Tabel 3.14 Estimasi Material dan Biaya

No	Material	Spesifikasi	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
1	Semen Portland	50 kg/sak	6 sak	75.000	450.000
2	Pasir	0,625 m ³	0,625 m ³	150.000/m ³	93.750
3	Kerikil	0,625 m ³	0,625 m ³	200.000/m ³	125.000
4	Besi Beton	Ø10 mm	15 batang	50.000/batang	750.000
5	Bekisting (Papan Kayu)	2x20 cm	5 lembar	50.000/lembar	250.000
6	Paku & Kawat Bendrat	1 kg	2 kg	30.000/kg	60.000
7	Upah Tenaga Kerja	Tukang dan pekerja	3 hari kerja	250.000/hari	750.000
Total Biaya					2.478.750

h. Aktivitas 3.8 Pembangunan dan Pemasangan Sistem Mekanik

o Daftar Kebutuhan Alat Bantu Angkat Pemasangan Penyangga Model Silinder

No	Kategori	Nama Alat/Bahan	Fungsi
1	Bahan Utama	Katrol (Pulley)	Mengurangi gaya yang diperlukan untuk mengangkat penyangga
2	Bahan Utama	Tali atau Kabel Baja (Ø5-10 mm)	Sebagai media untuk menarik dan mengangkat beban
3	Bahan Utama	Pipa atau Silinder Penyangga	Material utama yang akan diangkat
4	Struktur Pendukung	Tiang atau Rangka Baja/Kayu	Sebagai tempat menggantung katrol agar kuat dan stabil
5	Struktur Pendukung	Anchor atau Baut Jangkar	Mengamankan struktur pendukung ke tanah atau dinding
6	Alat Pendukung	Kunci Pas dan Obeng	Untuk pemasangan baut dan mur
7	Alat Pendukung	Tang dan Pemotong Kabel	Untuk memotong dan mengatur kabel baja atau tali
8	Alat Pendukung	Las Listrik (Opsional)	Untuk memperkuat rangka jika diperlukan
9	Alat Pendukung	Bor Listrik	Untuk pemasangan baut jangkar ke struktur pendukung
10	Opsional	Winch Manual atau Elektrik	Memper memudahkan proses pengangkatan jika beban berat
11	Opsional	Tali Pengaman	Sebagai perlengkapan keselamatan saat bekerja

2. Daftar Kebutuhan Alat Bantu Angkat Pemasangan Penyangga Model Trus

No	Kategori	Nama Alat/Bahan	Fungsi
1	Bahan Utama	Katrol (Pulley)	Mengurangi gaya yang diperlukan untuk mengangkat penyangga
2	Bahan Utama	Tali atau Kabel Baja (Ø5-10 mm)	Sebagai media untuk menarik dan mengangkat beban
3	Bahan Utama	Pipa atau Silinder Penyangga	Material utama yang akan diangkat
4	Struktur Pendukung	Tiang atau Rangka Baja/Kayu	Sebagai tempat menggantung katrol agar kuat dan stabil
5	Struktur Pendukung	Anchor atau Baut Jangkar	Mengamankan struktur pendukung ke tanah atau dinding

No	Kategori	Nama Alat/Bahan	Fungsi
6	Alat Pendukung	Kunci Pas dan Obeng	Untuk pemasangan baut dan mur
7	Alat Pendukung	Tang dan Pemotong Kabel	Untuk memotong dan mengatur kabel baja atau tali
8	Alat Pendukung	Las Listrik (Opsional)	Untuk memperkuat rangka jika diperlukan
9	Alat Pendukung	Bor Listrik	Untuk pemasangan baut jangkar ke struktur pendukung
10	Opsional	Winch Manual atau Elektrik	Mempermudah proses pengangkatan jika beban berat
11	Opsional	Tali Pengaman	Sebagai perlengkapan keselamatan saat bekerja

i. Aktivitas 3.9 Pembangunan dan Pemasangan Sistem Kelistrikan

Gambar mirip dengan Gambar 3.78 disertai dengan keterangan gambar.

Alat dan bahan yang dibutuhkan seperti berikut.

a. Komponen Utama

No	Komponen	Spesifikasi	Harga per Unit (Rp)	Jumlah	Total (Rp)
1	Turbin Angin	1.500 W, 48 V	10.000.000	1 set	10.000.000
2	Kontroler Turbin	48 V, 1.500 W	2.500.000	1 unit	2.500.000
3	Inverter	48 V DC ke 220 V AC, 2.000 W	3.500.000	1 unit	3.500.000
4	Baterai	12 V, 200 Ah	4.000.000	4 unit	16.000.000
5	Tiang Turbin	Baja galvanis, 6 meter	3.000.000	1 unit	3.000.000

b. Material Pendukung

No	Material	Spesifikasi	Harga per Unit (IDR)	Jumlah	Total (IDR)
6	Kabel DC	16 mm ² , tembaga	50.000/m	20 m	1.000.000
7	Kabel AC	NYY 2 x 2,5 mm ²	25.000/m	30 m	750.000
8	MCB & Box Panel	2P 32A	500.000	1 unit	500.000

No	Material	Spesifikasi	Harga per Unit (IDR)	Jumlah	Total (IDR)
9	Grounding Rod	Tembaga, 1,5 meter	250.000	2 unit	500.000
10	Sekrup, Baut, Klem	-	300.000	1 set	300.000

c. Biaya Instalasi

No	Keterangan	Total (Rp)
11	Biaya tenaga kerja	3.000.000
12	Transportasi & Logistik	2.000.000

Total Keseluruhan: Rp43.050.000

Biaya ini bersifat estimasi dan dapat berubah tergantung harga pasar serta lokasi pemasangan.

- Memasang PLTB kemudian melakukan sistem kelistrikan seperti gambar 3.78, kemudian memiliki catatan indikator baterai, volt, ampere pada jalur input dan output, kemudian memiliki data ketika diberi beban dan tidak diberi beban, kemudian di buat dalam sebuah tabel.

Indikator	Saat Beban, Input, dan Output	Saat Tidak Ada Beban Input/Output	Keterangan
Baterai			
Volt			
Ampere			

j. Aktivitas 3.10 Pembangunan dan Pemasangan Sistem Proteksi

- Menggambar sistem kelistrikan dan proteksi dengan sistem pengkabelan SNI seperti pada Gambar 3.82.
- Membuat RAB Sistem kelistrikan dan proteksi, kapasitas 1.500 watt.

a. Komponen Utama Sistem Kelistrikan

No	Komponen	Spesifikasi	Harga per Unit (Rp)	Jumlah	Total (Rp)
1	Turbin Angin	1.500 W, 48 V	10.000.000	1 set	10.000.000
2	Kontroler Turbin	48 V, 1.500 W	2.500.000	1 unit	2.500.000
3	Inverter	48 V DC ke 220 V AC, 2.000 W	3.500.000	1 unit	3.500.000

No	Komponen	Spesifikasi	Harga per Unit (Rp)	Jumlah	Total (Rp)
4	Baterai	12 V, 200 Ah	4.000.000	4 unit	16.000.000
5	Tiang Turbin	Baja galvanis, 6 meter	3.000.000	1 unit	3.000.000

b. Komponen Sistem Proteksi

No	Komponen	Spesifikasi	Harga per Unit (Rp)	Jumlah	Total (Rp)
6	Grounding Rod	Tembaga, 1,5 meter	250.000	2 unit	500.000
7	Kabel Grounding	NYY 16 mm ²	50.000/m	20 m	1.000.000
8	MCB (Miniature Circuit Breaker)	2P, 32A	500.000	1 unit	500.000
9	Surge Protector	220 V, 40 kA	750.000	1 unit	750.000
10	Box Panel Listrik	IP65, tahan cuaca	1.500.000	1 unit	1.500.000

c. Material Pendukung

No	Material	Spesifikasi	Harga per Unit (IDR)	Jumlah	Total (IDR)
11	Kabel DC	16 mm ² , tembaga	50.000/m	20 m	1.000.000
12	Kabel AC	NYY 2 × 2,5 mm ²	25.000/m	30 m	750.000
13	Sekrup, Baut, Klem	-	300.000	1 set	300.000

d. Biaya Instalasi

No	Keterangan	Harga (IDR)
14	Biaya tenaga kerja	3.000.000
15	Transportasi & Logistik	2.000.000

Total Keseluruhan: Rp46.300.000

Catatan:

- Harga dapat bervariasi bergantung pada lokasi dan pemasok.
- Rincian ini dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik proyek.

3. Peserta didik melakukan praktikum simulasi pemasangan sistem kelistrikan PLTB di papan simulasi dan dapat berjalan dengan baik dengan panduan gambar kerjanya masing-masing.

2. Kunci Jawaban Uji Kompetensi Pengetahuan

1. B
2. A
3. A
4. E
5. C

I. Refleksi

Refleksi terdiri atas dua refleksi, yakni refleksi peserta didik dan refleksi guru.

1. Refleksi Peserta Didik

Refleksi pada Buku Siswa intinya berisi pertanyaan, ajakan, ulasan, persepsi, dan sejenisnya terkait manfaat yang dirasakan oleh peserta didik setelah mempelajari bab Teknik Energi Angin. Oleh karena itu, guru dapat memberikan pertanyaan kunci yang membantu peserta didik untuk merefleksikan kegiatan pembelajaran, di antaranya dengan pertanyaan berikut.

1. Bagaimana proses pembelajaran Perancangan, Pembangunan, dan Instalasi PLTB?
2. Apa yang membuatmu tertarik saat belajar Perancangan, Pembangunan, dan Instalasi PLTB?
3. Apa hal yang paling penting dan berkesan pada bab Teknik Energi Angin?
4. Apakah yang ingin kamu pelajari lebih lanjut berkaitan Perancangan, Pembangunan dan Instalasi PLTB?
5. Apa yang perlu kita perbaiki agar pembelajaran Perancangan, Pembangunan dan instalasi PLTB berikutnya dapat lebih menarik?
6. Bagaimanakah model usaha di bidang PLTB di masa depan?

2. Refleksi Guru

- a. Setelah memberikan materi Teknik Energi Angin, berilah tanda centang (✓) pada jawaban yang kamu anggap sesuai!

Materi	Bobot			
	1	2	3	4
Bagaimana keterlibatan peserta didik dalam proses pembelajaran?				
Apakah tujuan pembelajaran hari ini tercapai?				
Apakah kegiatan pembelajaran sudah sesuai target?				
Apakah strategi/rencana pembelajaran berjalan dengan baik?				
Apakah metode pembelajaran yang digunakan cocok untuk materi ini?				
Bagaimana keterlibatan peserta didik dalam proses pembelajaran?				

Keterangan Bobot	1. Kurang
	2. Cukup
	3. Baik
	4. Sangat Baik

- b. Kesulitan-kesulitan apa saja yang dialami peserta didik yang ditemukan dalam proses pembelajaran?
- c. Apakah yang harus diperbaiki dan bagaimana cara memperbaiki proses pembelajaran?

J. Sumber Belajar

Arshad, M., & O'Kelly, B. C. (2013). Offshore wind-turbine structures: A review. In *Proceedings of Institution of Civil Engineers: Energy* (Vol. 166, Issue 4, pp. 139–152). Thomas Telford Services Ltd. <https://doi.org/10.1680/ener.12.00019>

- Cui, Y. F., Zhang, Y. H., He, W. D., & Dong, L. J. (2024). Temperature Prediction for 3 MW Wind-Turbine Gearbox Based on Thermal Network Model. *Machines*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/machines12030175>
- Prasetyo Tris Doan. (2018). *Analisis Numerik Performansi Aerodinamika pada Leading Edge Tubercles Airfoil Turbin Angin Bionik Berbasis Long-Eared Owl*.
- Schubel, P. J., & Crossley, R. J. (2012). Wind turbine blade design. *Energies*, 5(9), 3425–3449.
- Teng, W., Zhang, X., Liu, Y., Kusiak, A., & Ma, Z. (2017). Prognosis of the remaining useful life of bearings in a wind turbine gearbox. *Energies*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/en10010032>
- Yang, S.-Tian. (2011). *Bioprocessing for Value-Added Products from Renewable Resources : New Technologies and Applications*. Elsevier Science.

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2024

Panduan Guru Teknik Energi Surya, Hidro, dan Angin
untuk SMK/MAK Kelas XI

Penulis: Zainul M. Pulungan, Feviana Idarrani, dan Amin Wahyono

ISBN: 978-634-00-0201-0



Panduan Khusus

Bab

4

Teknik Energi Hibrida

A. Pendahuluan

Bab Teknik Energi Hibrida merupakan bab yang pembelajarannya difokuskan pada pemahaman dan penerapan materi Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida, yang mengombinasikan berbagai sumber energi seperti surya, hibrida, dan bahan bakar fosil. Bab ini akan dipelajari selama satu tahun atau dua semester, dengan tujuan agar peserta didik memiliki kompetensi yang mendalam dan aplikatif dalam bidang energi terbarukan. Sebelum memulai pembelajaran inti, guru dianjurkan untuk mengadakan beberapa aktivitas penunjang yang bertujuan untuk mempersiapkan siswa secara mental dan emosional. Aktivitas-aktivitas ini, yang dapat dilakukan dalam satu pekan atau satu pertemuan, meliputi kegiatan ice breaking untuk menciptakan suasana belajar yang positif dan kondusif, pengenalan ulang guna membangun suasana kelas yang akrab, serta asesmen awal untuk mengidentifikasi pemahaman awal siswa terkait Teknik Energi Hibrida. Aktivitas-aktivitas ini akan membantu guru dalam merancang strategi pembelajaran yang lebih efektif dan sesuai dengan kebutuhan siswa, serta memastikan bahwa setiap peserta didik siap untuk berpartisipasi aktif dalam proses pembelajaran.

1. Tujuan Pembelajaran

Pada Bab Teknik Energi Hibrida ini, guru diharapkan untuk memperhatikan dengan cermat tujuan pembelajaran yang tertera di Buku Siswa. Tujuan tersebut dirancang agar peserta didik mampu menerapkan pengetahuan pemasangan sistem energi hibrida secara bergotong royong dan kreatif. Tujuan pembelajaran dalam bab ini disusun secara ringkas di Buku Siswa sehingga lebih mudah dipahami oleh peserta didik.

Terdapat enam tujuan pembelajaran yang diturunkan dari Capaian Pembelajaran Elemen Teknik Energi Hibrida. Keenam tujuan tersebut dirumuskan secara rinci sebagai berikut.

Tabel 4.1 CP Elemen Teknik Energi Hibrida dan Tujuan Pembelajarannya di Kelas XI

Capaian Pembelajaran Fase	Tujuan Pembelajaran
4. Peserta didik mampu menerapkan pemasangan, pemeriksaan, pengujian, pengoperasian, pemeliharaan, perawatan, dan perbaikan terhadap sistem interkoneksi.	4.1 Memahami konsep dasar dan komponen sistem energi hibrida. 4.2 Menerapkan pengetahuan perancangan konstruksi sipil energi hibrida. 4.3 Menerapkan pengetahuan perancangan sistem mekanik energi hibrida.

Capaian Pembelajaran Fase	Tujuan Pembelajaran
	<p>4.4 Menerapkan pengetahuan perancangan sistem kelistrikan energi hibrida.</p> <p>4.5 Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem mekanik energi hibrida.</p> <p>4.6 Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem kelistrikan energi hibrida.</p>

Tujuan pembelajaran di atas kemudian diturunkan ke dalam indikator tujuan pembelajaran seperti berikut.

Tabel 4.2 Indikator Tujuan Pembelajaran Teknik Energi Hibrida Kelas XI

Tujuan Pembelajaran	Indikator
4.1 Memahami konsep dasar dan komponen sistem energi hibrida.	1 Peserta didik mampu memetakan kelebihan dan kelemahan sumber energi terbarukan dengan bernalar kritis dan gotong royong.
	2 Peserta didik mampu menginventarisir kebutuhan komponen hibrida secara bergotong royong.
4.2 Menerapkan pengetahuan perancangan konstruksi sipil energi hibrida.	3 Peserta didik mampu menyusun spesifikasi komponen konstruksi sipil hibrida secara bergotong royong.
	4 Peserta didik mampu menggambar denah rencana penempatan komponen hibrida secara kreatif.
4.3 Menerapkan pengetahuan perancangan sistem mekanik energi hibrida.	5 Peserta didik mampu membaca <i>name plate</i> spesifikasi peralatan hibrida secara mandiri.
	6 Peserta didik mampu memetakan kebutuhan operasional peralatan hibrida secara bergotong royong.
4.4 Menerapkan pengetahuan perancangan sistem kelistrikan energi hibrida.	7 Peserta didik mampu menerapkan pengetahuan perancangan sistem elektrik energi hibrida secara gotong royong dan bernalar kritis.
	8 Peserta didik mampu menerapkan pengetahuan perancangan sistem elektrik energi hibrida secara gotong royong dan bernalar kritis.

Tujuan Pembelajaran	Indikator	
	9	Peserta didik mampu menerapkan pengetahuan perancangan sistem elektrik energi hibrida secara mandiri dan bernalar kritis.
4.5 Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem mekanik energi hibrida.	10	Peserta didik mampu membuat daftar peralatan yang membutuhkan sistem mekanik secara kreatif.
	11	Peserta didik mampu melakukan pemasangan sistem mekanik energi hibrida dengan bergotong royong.
4.6 Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem kelistrikan energi hibrida.	12	Peserta didik mampu menginventarisir kebutuhan peralatan elektrik energi hibrida secara kreatif.
	13	Peserta didik mampu memasang sistem elektrik energi hibrida secara bergotong royong.

2. Pokok Materi

Materi Teknik Energi Hibrida mencakup berbagai aspek dari konsep dasar hingga penerapan praktis dalam sistem hibrida yang menggabungkan energi terbarukan seperti surya, angin, dan sistem konvensional. Tujuan dari pokok materi ini ialah membentuk kemampuan teknis dan sikap kerja yang berlandaskan pada kolaborasi, kreativitas, serta nilai-nilai spiritual dan sosial seperti beriman, bertakwa kepada Tuhan YME, dan berakhlak mulia. Materi ini berfokus pada membangun kompetensi peserta didik yang melibatkan pengetahuan teknis, sikap gotong royong, bernalar kritis, serta mandiri dalam perancangan dan pemasangan sistem energi hibrida.

a. Konsep Dasar dan Komponen Energi Hibrida

Pokok materi ini mencakup pemahaman mendasar mengenai prinsip kerja sistem energi hibrida yang menggabungkan berbagai sumber energi seperti tenaga surya, angin, dan sumber energi terbarukan lainnya. Peserta didik akan mempelajari komponen utama dalam sistem energi hibrida, termasuk panel surya, turbin angin, inverter, baterai, kontroler daya, serta sistem distribusi listrik. Materi ini tidak hanya memberikan pemahaman teknis terhadap cara kerja setiap komponen, tetapi juga menunjukkan bagaimana komponen-komponen tersebut bekerja secara sinergis untuk menghasilkan dan mengelola energi. Hubungannya dengan pokok materi lainnya ialah bahwa pemahaman dasar tentang konsep ini menjadi fondasi penting bagi pembelajaran selanjutnya yang lebih mendalam, terutama dalam hal

perancangan dan pemasangan sistem energi hibrida secara keseluruhan sehingga peserta didik dapat merancang sistem yang efisien dan sesuai dengan kebutuhan energi yang ada.

b. Pengetahuan Perancangan Konstruksi Sipil Energi Hibrida

Materi ini berfokus pada perancangan konstruksi sipil yang mendukung keberlangsungan sistem energi hibrida, seperti fondasi untuk turbin angin, struktur penyangga panel surya, serta pengaturan tata letak instalasi yang efisien. Peserta didik akan mempelajari cara merancang dan mengimplementasikan elemen-elemen konstruksi yang diperlukan untuk memastikan berbagai komponen energi hibrida dapat didukung secara stabil dan optimal. Penekanan diberikan pada kekuatan struktural dan daya tahan sehingga sistem dapat berfungsi dengan baik dalam berbagai kondisi lingkungan. Hubungan dengan pokok materi lainnya terletak pada pentingnya pengetahuan tentang konstruksi sipil untuk memastikan sistem energi hibrida tidak hanya berfungsi secara efisien, tetapi juga dapat dipasang dengan aman dan memiliki ketahanan jangka panjang di berbagai lingkungan dan situasi.

c. Pengetahuan Perancangan Sistem Mekanik Energi Hibrida

Pada pokok materi ini, peserta didik akan belajar merancang sistem mekanik dalam sistem energi hibrida, yang mencakup pemilihan dan konfigurasi komponen mekanik seperti turbin angin, sistem *tracking* pada panel surya, serta perangkat mekanik lainnya yang dirancang untuk memaksimalkan kinerja energi terbarukan. Pemahaman ini memungkinkan peserta didik untuk merancang sistem yang lebih efisien dan responsif terhadap perubahan lingkungan, seperti arah dan intensitas angin atau posisi matahari. Hubungannya dengan pokok materi lainnya ialah bahwa setelah memahami setiap komponen, peserta didik dapat menerapkan pengetahuan mekanik yang mereka peroleh untuk meningkatkan efisiensi operasional dari sistem energi hibrida secara keseluruhan, menjadikan sistem tersebut lebih optimal dalam menghasilkan energi terbarukan yang berkelanjutan.

d. Pengetahuan Perancangan Sistem Kelistrikan Energi Hibrida

Pokok materi ini membawa peserta didik ke dalam dunia perancangan sistem kelistrikan untuk energi hibrida, di mana mereka akan belajar mengintegrasikan berbagai sumber energi seperti tenaga surya dan angin ke dalam satu sistem yang efisien dan stabil. Fokus utama terletak pada pemahaman mengenai inverter, sistem kontrol, serta pengaturan jaringan listrik yang dirancang untuk mengoptimalkan aliran energi. Peserta didik akan mengeksplorasi bagaimana setiap elemen kelistrikan dapat bekerja bersama untuk menciptakan sistem yang handal, mampu menyeimbangkan pasokan energi dari sumber yang berbeda dengan cara yang aman dan terukur. Hubungannya dengan pokok materi lainnya ialah bahwa pengetahuan kelistrikan yang solid memberikan landasan yang kuat

bagi peserta didik untuk merancang sistem energi hibrida yang aman dan efektif, mampu mengelola dan mentransfer energi secara optimal dari berbagai sumber terbarukan dengan cara yang efisien.

e. Pengetahuan Pemasangan Sistem Mekanik Energi Hibrida

Pada pokok materi ini, peserta didik akan terjun langsung ke dalam proses pemasangan komponen-komponen mekanik dari sistem energi hibrida, mulai dari turbin angin hingga panel surya, serta berbagai sistem pendukung lainnya. Mereka tidak hanya belajar bagaimana memasang komponen-komponen ini dengan benar, tetapi juga mempelajari teknik-teknik pemasangan yang efisien dan aman untuk memastikan bahwa sistem dapat berfungsi dengan optimal. Aktivitas ini memberikan mereka pengalaman praktis dalam menerapkan keterampilan teknis yang telah dipelajari, sekaligus memperkuat pemahaman mereka tentang bagaimana berbagai komponen bekerja bersama. Hubungan dengan pokok materi lainnya sangat erat, di mana pengetahuan perancangan yang telah dipelajari sebelumnya kini diterapkan dalam konteks nyata, membutuhkan keterampilan teknis yang mendalam serta pemahaman menyeluruh untuk memastikan sistem energi hibrida dapat dioperasikan dengan baik dan tahan lama.

f. Pengetahuan Pemasangan Sistem Kelistrikan Energi Hibrida

Pada pokok materi ini, peserta didik akan belajar memasang sistem kelistrikan pada sistem energi hibrida, sebuah langkah penting yang mencakup pengaturan inverter, baterai, kontroler, serta penghubung antara berbagai sumber energi seperti tenaga surya dan angin. Fokus utama terletak pada keamanan, efisiensi, dan memastikan bahwa sistem beroperasi dengan performa yang optimal. Peserta didik akan memahami bagaimana mengatur aliran listrik dengan tepat, mengelola penyimpanan energi, serta memastikan integrasi yang mulus antarkomponen. Hubungan dengan pokok materi lainnya sangat erat karena materi ini menggabungkan semua aspek yang telah dipelajari sebelumnya, mulai dari perencanaan hingga pelaksanaan instalasi. Ini memungkinkan peserta didik untuk menerapkan teori ke dalam praktik nyata, menciptakan sistem energi hibrida yang tidak hanya berfungsi dengan baik, tetapi juga aman dan efisien dalam pengelolaan energi terbarukan.

Hubungan Antarpokok Materi dalam Mencapai Tujuan Pembelajaran

- a. Konsep Dasar dan Komponen Energi Hibrida menjadi fondasi untuk memahami bagaimana sistem energi hibrida bekerja. Pengetahuan dasar ini merupakan titik awal sebelum melangkah ke tahap perancangan dan pemasangan yang lebih kompleks.
- b. Pengetahuan Perancangan Konstruksi Sipil merupakan langkah pertama setelah pemahaman dasar, untuk memastikan bahwa sistem energi hibrida memiliki fondasi yang stabil dan mendukung kinerja jangka panjang.

- c. Perancangan Sistem Mekanik dan Kelistrikan merupakan tahap penting yang memastikan komponen-komponen yang telah dipilih dan dirancang bekerja secara optimal sesuai dengan perencanaan.
- d. Pemasangan Sistem Mekanik dan Kelistrikan merupakan aplikasi praktis dari perancangan, di mana peserta didik memperoleh keterampilan teknis dalam pemasangan dan memastikan sistem berfungsi sesuai dengan desain.
- e. Melalui saling keterkaitan antarpokok materi ini, peserta didik akan memiliki pemahaman menyeluruh mulai dari konsep dasar hingga penerapan praktis sehingga mampu mencapai tujuan pembelajaran dan menjadi profesional yang kompeten di bidang energi hibrida.

3. Hubungan dengan Materi Lain

Materi Teknik Energi Hibrida memiliki hubungan yang erat dengan berbagai disiplin ilmu lainnya karena konsep dan aplikasinya mencakup berbagai bidang teknik, sains, dan teknologi. Berikut ini beberapa hubungan penting antara materi Teknik Energi Hibrida dengan materi lain yang mendukung pembelajaran holistik dan integratif.

a. Fisika

Hubungan: Teknik Energi Hibrida sangat bergantung pada konsep dasar fisika seperti hukum kekekalan energi, mekanika fluida (untuk turbin angin), dan efek fotovoltaik (untuk panel surya). Pemahaman tentang konversi energi dari satu bentuk ke bentuk lain dan bagaimana energi tersebut dapat dimanfaatkan secara efisien merupakan inti dari sistem energi hibrida.

Aplikasi: Pengetahuan fisika digunakan untuk merancang sistem energi yang lebih efisien dan mengoptimalkan konversi energi dalam berbagai komponen seperti modul surya dan turbin angin.

b. Matematika

Hubungan: Perancangan dan analisis sistem energi hibrida memerlukan keterampilan matematika yang kuat, terutama dalam hal perhitungan daya, efisiensi energi, dan kapasitas penyimpanan baterai. Selain itu, matematika digunakan dalam pemodelan sistem dan pengukuran, baik dalam simulasi maupun perhitungan lapangan.

Aplikasi: Peserta didik menerapkan konsep aljabar, kalkulus, dan statistik untuk menganalisis data terkait produksi energi, mengoptimalkan ukuran komponen, serta menghitung biaya dan manfaat dari implementasi energi hibrida.

c. Kimia

Hubungan: Kimia berperan dalam pemahaman bahan dan proses yang terjadi dalam komponen energi hibrida, terutama dalam konteks baterai dan material semikonduktor di dalam panel surya. Pengetahuan tentang reaksi kimia dalam baterai diperlukan untuk memahami penyimpanan dan pelepasan energi secara efisien.

Aplikasi: Peserta didik mempelajari elektrokimia, termasuk reaksi redoks yang terjadi pada baterai, serta degradasi material dalam komponen sistem energi hibrida dan cara mengatasinya.

d. Teknik Elektro

Hubungan: Materi Teknik Energi Hibrida sangat berkaitan dengan teknik elektro, terutama dalam hal sistem kelistrikan. Pemahaman tentang sirkuit listrik, konversi daya (AC ke DC dan sebaliknya), serta distribusi listrik menjadi bagian penting dalam instalasi dan pengoperasian sistem energi hibrida.

Aplikasi: Pengetahuan teknik elektro diaplikasikan dalam pemasangan inverter, pengaturan kontroler daya, serta perancangan sistem distribusi energi yang aman dan efisien.

e. Teknik Mesin

Hubungan: Dalam sistem energi hibrida, teknik mesin berperan dalam perancangan dan pemeliharaan komponen mekanik seperti turbin angin, struktur penyangga, serta sistem pendinginan, dan ventilasi. Teknik mesin juga diperlukan untuk memaksimalkan efisiensi dari konversi energi mekanik menjadi energi listrik.

Aplikasi: Peserta didik mempelajari dinamika fluida untuk memahami turbin angin, serta mekanika material untuk memastikan bahwa sistem mekanik dapat beroperasi dalam berbagai kondisi lingkungan.

f. Teknik Sipil

Hubungan: Teknik sipil berkaitan dengan desain dan konstruksi infrastruktur yang mendukung pemasangan sistem energi hibrida, seperti fondasi untuk turbin angin dan struktur penyangga panel surya. Analisis beban dan desain struktural juga diperlukan untuk memastikan sistem stabil dan aman.

Aplikasi: Peserta didik mengaplikasikan prinsip-prinsip teknik sipil dalam memilih lokasi yang tepat dan mendesain fondasi yang kokoh untuk mendukung komponen energi hibrida di lapangan.

g. Ekonomi

Hubungan: Materi ekonomi diperlukan untuk melakukan analisis biaya dan manfaat dari penerapan sistem energi hibrida. Hal ini mencakup evaluasi biaya investasi awal, pemeliharaan, dan penghematan energi jangka panjang, serta perhitungan pengembalian investasi (ROI).

Aplikasi: Peserta didik mengaplikasikan konsep ekonomi dalam membuat studi kelayakan proyek energi hibrida, mengevaluasi efisiensi biaya, dan mengembangkan model bisnis yang berkelanjutan untuk penerapan teknologi ini.

h. Teknik Lingkungan

Hubungan: Teknik lingkungan terlibat dalam analisis dampak lingkungan dari sistem energi hibrida, terutama dalam hal pemanfaatan lahan, emisi karbon, dan pengelolaan limbah dari komponen seperti baterai. Sistem energi hibrida sering kali diterapkan untuk mengurangi dampak lingkungan dari penggunaan energi fosil.

Aplikasi: Peserta didik mempelajari cara meminimalkan dampak lingkungan dari proyek energi hibrida, serta merancang sistem yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

i. Manajemen Proyek

Hubungan: Manajemen proyek dibutuhkan untuk merencanakan, mengorganisir, dan melaksanakan proyek instalasi energi hibrida dari awal hingga akhir. Ini mencakup perencanaan waktu, penganggaran, pengelolaan sumber daya, serta pemantauan dan evaluasi proyek.

Aplikasi: Peserta didik belajar tentang perencanaan proyek, manajemen risiko, dan teknik pengambilan keputusan untuk memastikan proyek energi hibrida diselesaikan tepat waktu dan sesuai anggaran.

j. Teknologi Informasi

Hubungan: Teknologi informasi (TI) memainkan peran dalam pengawasan dan pengendalian sistem energi hibrida, terutama dalam pemantauan kinerja sistem secara *real-time*, pengumpulan data, dan analisis efisiensi sistem.

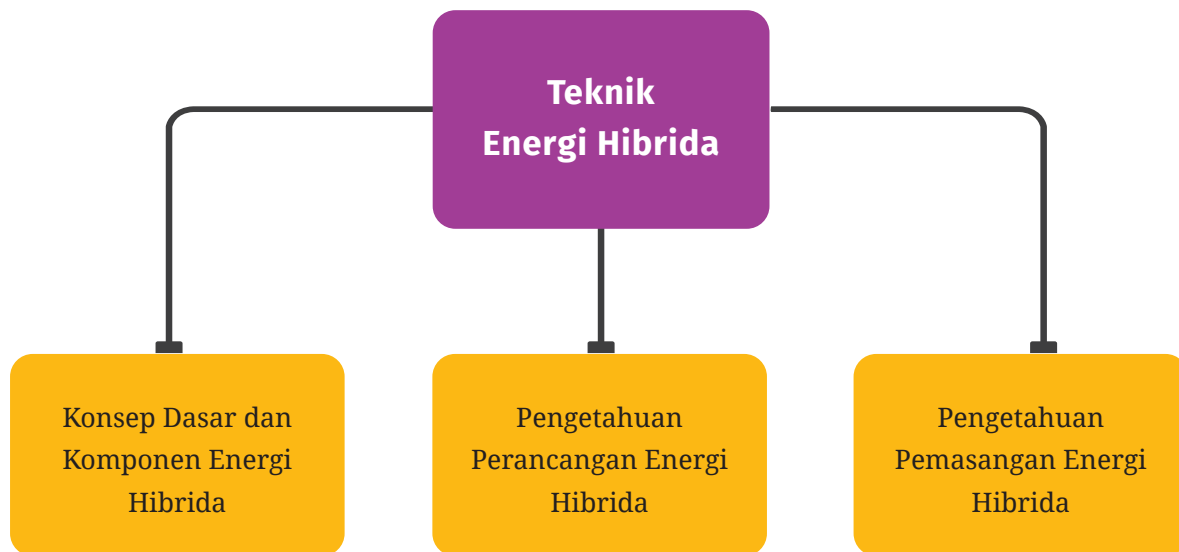
Aplikasi: Peserta didik mempelajari bagaimana menggunakan software dan alat digital untuk memantau dan mengoptimalkan kinerja sistem energi hibrida, serta menerapkan teknologi otomatisasi untuk meningkatkan efisiensi dan stabilitas sistem.

Hubungan materi Teknik Energi Hibrida dengan berbagai materi lain membentuk pendekatan pembelajaran yang holistik dan terintegrasi. Dalam materi ini, peserta didik

dapat menggabungkan konsep dari berbagai disiplin ilmu untuk merancang, memasang, dan mengoperasikan sistem energi hibrida dengan cara yang efektif dan efisien. Hal ini memungkinkan peserta didik untuk mengembangkan keterampilan lintas disiplin yang relevan dengan kebutuhan industri dan tantangan masa depan dalam energi terbarukan.

4. Peta Materi

Pada Bab ini peta materi menunjukkan materi yang perlu dikuasai untuk mencapai Tujuan Pembelajaran. Materi tersebut menyangkut konsep dasar dan komponen energi hibrida, pengetahuan perancangan energi hibrida dan pengetahuan pemasangan energi hibrida. Keseluruhannya merupakan bagian dari pembelajaran Teknik Energi Hibrida.



5. Saran Alokasi Waktu

Rekomendasi waktu yang dibutuhkan untuk pembelajaran pada bab ini ialah satu tahun. Ini mencakup waktu untuk kegiatan *ice breaking*, pengenalan, dan penilaian awal. Materi dalam bab ini terbagi menjadi tiga subbab, yang dapat dialokasikan waktu selama tiga puluh dua pekan. Di akhir, dua pekan terakhir dapat dikhususkan untuk kegiatan refleksi dan penilaian bagi peserta didik.

Guru harus memperhatikan ketentuan dan kebutuhan pembelajaran yang relevan di sekolah. Pembelajaran ini dapat dilakukan dalam dua jam pelajaran atau jumlah jam lainnya dalam satu minggu. Guru diharapkan dapat menyesuaikan diri dengan berbagai kemungkinan yang ada.

B. Pendahuluan

Pada Buku Siswa terdapat Apersepsi. Sebelum pembelajaran dimulai, guru memberikan gambar-gambar mengenai macam-macam pembangkit listrik.

Setelah peserta didik menyimak gambar tersebut, guru memberikan pertanyaan-pertanyaan yang berkaitan dengan video tersebut, yakni seperti berikut.

1. Bagaimanakah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) bekerja?
2. Apakah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada malam hari berfungsi?
3. Kapanakah Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) bekerja?

C. Konsep dan Keterampilan Prasyarat

Sebelum mempelajari materi bab ini, peserta didik harus telah memiliki kompetensi berikut.

1. Menerapkan Alat Pelindung Diri (APD) dalam Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3).
2. Menerapkan penggunaan perkakas praktik, terutama perkakas tangan dan bertenaga.
3. Membaca gambar teknik energi terbarukan
4. Menerapkan alat ukur dan alat uji
5. Menerapkan perhitungan konversi energi surya
6. Menerapkan dasar energi terbarukan

Guru dapat memastikan peserta didik telah menguasai kompetensi-kompetensi di atas agar proses pembelajaran dapat berjalan dengan baik dan lancar

D. Penilaian Sebelum Pembelajaran

Penilaian awal sebelum pembelajaran dilakukan untuk mengidentifikasi kemampuan dasar peserta didik terkait materi yang akan diajarkan. Penilaian ini dapat dilakukan melalui metode lisan, di mana peserta didik diminta untuk mengangkat tangan sesuai dengan jawaban yang mereka pilih. Dengan cara ini, guru dapat langsung melihat jumlah peserta didik yang memiliki pemahaman awal tentang materi yang akan disampaikan.

Berikut ini beberapa contoh pertanyaan yang dapat diajukan oleh guru untuk melakukan penilaian awal pembelajaran.

1. Apa yang dimaksud dengan energi hibrida? Bagaimana sistem ini berbeda dari sistem energi terbarukan lainnya?

2. Sebutkan komponen utama yang terdapat dalam sistem energi hibrida. Jelaskan fungsi setiap komponen tersebut!
3. Bagaimana cara kerja sistem energi hibrida dalam mengoptimalkan penggunaan sumber energi, seperti energi surya dan energi angin?

E. Panduan Pembelajaran

Kegiatan pembelajaran memiliki peran yang sangat penting sehingga perencanaannya harus dilakukan dengan matang. Dalam bab ini, terdapat tiga subbab yang masing-masing akan dijelaskan proses pembelajarannya. Penjelasan mengenai proses pembelajaran ini bertujuan untuk memberikan inspirasi bagi para guru. Para guru dianjurkan untuk menyesuaikan pendekatan pembelajaran dengan karakteristik peserta didik serta memperhatikan sarana, prasarana, dan konteks lingkungan sekolah.

1. Konsep Dasar dan Komponen Energi Hibrida

Subbab ini merupakan penerapan dari Tujuan Pembelajaran 1, yang bertujuan untuk menerapkan konsep dasar dan komponen energi hibrida. Tujuan Pembelajaran ini dijabarkan menjadi 2 indikator. Dalam Buku Siswa, subbab mengenai Konsep Dasar dan Komponen Energi Hibrida mencakup Konsep Energi Hibrida dan Komponen Pembangkit Listrik Energi Hibrida.

Tujuan	:	Memahami konsep dasar dan komponen energi hibrida
Subpokok Materi	:	Konsep Dasar dan Komponen Energi Hibrida
Alokasi Waktu	:	72 JP (disajikan dalam 12 minggu) Rancangan pembelajaran pada contoh ini disajikan dalam 12 kali pertemuan. Alokasi waktu dapat dikembangkan sesuai kebutuhan di sekolah.

a. Konsep Energi Hibrida

Alokasi Waktu	:	4 JP × 45 Menit (2 Pertemuan)
Tujuan	:	Menerapkan konsep dasar dan komponen energi hibrida
Indikator	:	Peserta didik mampu memetakan kelebihan dan kelemahan sumber energi terbarukan dengan bernalar kritis dan gotong royong.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Aktivitas pembelajaran mengenai konsep Energi Hibrida bertujuan agar peserta didik memahami integrasi sumber energi terbarukan, seperti solar dan biomassa, dengan energi konvensional untuk menciptakan solusi energi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Melalui proyek kelompok, peserta didik akan merancang sistem energi hibrida untuk suatu komunitas, sekaligus mengembangkan karakter Profil Pelajar Pancasila (P3) seperti gotong royong, inovasi, dan kemandirian.

Pembelajaran ini menerapkan diferensiasi dengan memberikan tantangan sesuai kemampuan kelompok. Kelompok yang lebih maju dapat menganalisis efisiensi energi, sementara yang lain fokus pada desain dan pemilihan sumber energi.

Guru perlu memperhatikan potensi miskonsepsi tentang efisiensi sistem energi hibrida yang dianggap 100% ramah lingkungan, serta menghormati keragaman budaya, agama, dan kebutuhan lokal dalam pemilihan sumber energi. Aktivitas ini berbasis kompetensi, mengembangkan pengetahuan teknis, keterampilan analisis sistem energi, serta sikap kolaboratif yang penting di industri. Pendekatan ini mengutamakan materi esensial yang relevan dengan dunia kerja dan kompetensi seperti analisis sistem, pemecahan masalah, dan adaptasi teknologi. Selain itu, aktivitas ini sesuai dengan standar SKKNI agar peserta didik siap menghadapi tantangan di dunia kerja. Setelah pembelajaran, peserta didik akan melaksanakan Aktivitas 4.1 yang mendorong bernalar kritis dan kerja sama.

2) Alternatif Pembelajaran

Alternatif pembelajaran tentang materi Konsep Energi Hibrida dapat dilakukan melalui simulasi interaktif di mana peserta didik berperan sebagai tim perancang sistem energi hibrida untuk sebuah desa terpencil. Dalam kegiatan ini, peserta didik akan memadukan berbagai sumber energi terbarukan seperti hibrida, matahari, dan biomassa untuk menciptakan sistem energi yang efisien dan berkelanjutan. Peserta didik akan diberi skenario dengan berbagai tantangan seperti variasi cuaca, ketersediaan sumber daya, dan kebutuhan energi komunitas. Pembelajaran ini mengintegrasikan pengetahuan teknis dengan keterampilan *problem-solving* dan kerja sama tim, sekaligus memperkenalkan konsep penting dalam perencanaan energi yang relevan dengan perkembangan industri dan kebutuhan dunia kerja.

b. Komponen Pembangkit Listrik Energi Hibrida

Alokasi Waktu	:	8 JP × 45 Menit (4 Pertemuan)
Tujuan	:	Menerapkan konsep dasar dan komponen energi hibrida
Indikator	:	Peserta didik mampu menginventarisir kebutuhan komponen peralatan energi hibrida secara gotong royong dan bernalar kritis.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Dalam pembelajaran Komponen Pembangkit Listrik Energi Hibrida, peserta didik mempelajari elemen penting seperti panel surya, turbin angin, inverter, dan baterai, sambil mengembangkan semangat gotong royong dan bernalar kritis. Kegiatan dirancang secara berdiferensiasi agar sesuai dengan gaya belajar dan latar belakang peserta didik, serta memperhatikan potensi miskonsepsi dan isu sensitif untuk menciptakan suasana belajar yang inklusif. Pembelajaran berorientasi pada kompetensi esensial yang kontekstual dan relevan dengan kebutuhan industri serta SKKNI. Guru memastikan keamanan selama praktik, dan pembelajaran diakhiri dengan Aktivitas 4.2 yang mendorong kolaborasi dan penerapan pengetahuan secara nyata.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran untuk materi Komponen Pembangkit Listrik Energi Hibrida, peserta didik dapat terlibat dalam proyek kolaboratif yang meminta mereka merancang model mini sistem energi hibrida dari bahan daur ulang, serta mengikuti diskusi panel dengan profesional industri untuk menghubungkan teori dengan praktik nyata. Selain itu, mereka dapat berpartisipasi dalam simulasi dan *role play* menggunakan perangkat lunak energi, mengunjungi fasilitas energi terbarukan untuk observasi langsung, dan melakukan pembelajaran berbasis masalah (PBL) dengan studi kasus tantangan instalasi. Kegiatan praktikum di laboratorium juga dapat dilakukan untuk pemasangan komponen, sementara penggunaan media interaktif seperti video tutorial dapat memperkaya pemahaman mereka. Semua alternatif ini dirancang untuk mendorong keterlibatan aktif, pengembangan keterampilan, dan penerapan pengetahuan dalam konteks dunia nyata.

2. Perancangan Energi Hibrida

Subbab ini merupakan implementasi dari 3 Tujuan Pembelajaran yang kemudian di turunkan menjadi 3 indikator. Di dalam Buku Siswa, subbab Pengetahuan Perancangan Energi Hibrida terdiri atas pengetahuan perancangan konstruksi sipil energi hibrida, pengetahuan perancangan sistem mekanik energi hibrida dan pengetahuan perancangan sistem kelistrikan energi hibrida.

Tujuan	:	<ol style="list-style-type: none">1. Menerapkan pengetahuan perancangan konstruksi sipil energi hibrida.2. Menerapkan pengetahuan perancangan sistem mekanik energi hibrida.3. Menerapkan pengetahuan perancangan sistem kelistrikan energi hibrida.
--------	---	--

Subpokok Materi	:	Pengetahuan Perancangan Energi Hibrida
Alokasi Waktu	:	20 JP (disajikan dalam 10 minggu) Rancangan pembelajaran pada contoh ini disajikan dalam 10 kali pertemuan. Alokasi waktu dapat dikembangkan sesuai kebutuhan di sekolah.

a. Perancangan Konstruksi Sipil Energi Hibrida

Alokasi Waktu	:	6 JP × 45 Menit (3 Pertemuan)
Tujuan	:	Menerapkan pengetahuan perancangan konstruksi sipil energi hibrida.
Indikator	:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Peserta didik mampu menyusun spesifikasi komponen konstruksi sipil hibrida secara bergotong royong. 2. Peserta didik mampu menggambar denah rencana Penempatan Komponen Hibrida secara kreatif.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Dalam pembelajaran Pengetahuan Perancangan Konstruksi Sipil Energi Hibrida, peserta didik memahami pentingnya desain struktur seperti fondasi turbin angin dan penyangga panel surya, sambil mengembangkan keterampilan teknis dan semangat gotong royong. Pembelajaran dirancang secara berdiferensiasi agar sesuai dengan kemampuan dan gaya belajar masing-masing, serta berfokus pada materi esensial yang relevan dengan dunia kerja dan terintegrasi dengan SKKNI. Guru memastikan keamanan dalam penggunaan alat konstruksi, dan pembelajaran diakhiri dengan Aktivitas 4.3 yang mendorong kolaborasi dan kreativitas.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran untuk materi Pengetahuan Perancangan Konstruksi Sipil Energi Hibrida, peserta didik dapat terlibat dalam proyek kelompok di mana mereka merancang dan mempresentasikan maket dari struktur konstruksi yang mendukung sistem energi hibrida, seperti fondasi turbin angin atau struktur penyangga panel surya, dengan mempertimbangkan aspek keamanan dan efisiensi. Selain itu, mereka dapat mengikuti *workshop* praktis tentang teknik konstruksi sipil yang relevan, serta menghadiri sesi kuliah tamu dari profesional di bidang konstruksi dan energi terbarukan untuk mendapatkan wawasan industri yang mendalam. Kegiatan lain yang dapat dilakukan ialah kunjungan lapangan ke proyek konstruksi yang sedang berlangsung, di mana peserta didik dapat belajar

tentang aplikasi nyata dari teori yang telah dipelajari. Dengan demikian, semua alternatif ini diharapkan dapat meningkatkan pemahaman peserta didik tentang pentingnya perancangan yang baik dalam sistem energi hibrida dan membekali mereka dengan keterampilan yang diperlukan untuk berkontribusi di dunia kerja.

b. Perancangan Sistem Mekanik Energi Hibrida

Alokasi Waktu	:	6 JP × 45 Menit (3 Pertemuan)
Tujuan	:	Menerapkan pengetahuan perancangan sistem mekanik energi hibrida.
Indikator	:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Peserta didik mampu membaca <i>name plate</i> spesifikasi peralatan hibrida secara mandiri. 2. Peserta didik mampu memetakan kebutuhan operasional peralatan hibrida secara bergotong royong.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Dalam aktivitas pembelajaran mengenai Pengetahuan Perancangan Sistem Mekanik Energi Hibrida, peserta didik diberi kesempatan untuk memahami komponen-komponen mekanik yang mendukung sistem energi terbarukan, seperti turbin angin dan sistem *tracking* pada panel surya. Tujuan dari aktivitas ini ialah untuk meningkatkan pengetahuan teknis dan keterampilan peserta didik, sekaligus mendorong pengembangan karakter melalui kerja sama dan kreativitas. Pembelajaran dirancang secara berdiferensiasi agar setiap peserta didik dapat belajar sesuai dengan kemampuan dan minat mereka. Materi yang diajarkan berfokus pada hal-hal esensial yang relevan dengan dunia kerja (Iduka), dan menjaga keterkaitan dengan SKKNI. Selain itu, guru memberikan perhatian pada aspek keamanan dan kenyamanan selama proses pembelajaran, terutama saat menggunakan alat dan mesin yang berpotensi berbahaya. Setelah selesai, peserta didik melaksanakan Aktivitas 4.4 secara gotong royong dan kreatif, mengaplikasikan semua pengetahuan yang telah dipelajari dengan antusiasme tinggi.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran untuk materi Pengetahuan Perancangan Sistem Mekanik Energi Hibrida, peserta didik dapat mengikuti sesi praktikum di mana mereka bekerja dalam kelompok untuk merakit model mekanik dari sistem energi hibrida yang sederhana, seperti mini turbin angin atau sistem panel surya dengan penggerak otomatis. Selain itu, mereka dapat mengadakan diskusi interaktif dengan mengundang praktisi dari industri energi terbarukan untuk berbagi pengalaman dan tantangan dalam merancang sistem mekanik. Kegiatan lain yang bermanfaat ialah mengadakan lomba desain inovatif, di mana peserta

didik bersaing untuk menciptakan solusi mekanik yang efisien untuk meningkatkan kinerja sistem energi hibrida. Dengan melibatkan berbagai metode dan pendekatan ini, diharapkan peserta didik dapat memperdalam pemahaman mereka tentang perancangan mekanik dan mempersiapkan diri dengan keterampilan yang relevan untuk masa depan.

c. Perancangan Sistem Kelistrikan Energi Hibrida

Alokasi Waktu	:	8 JP × 45 Menit (4 Pertemuan)
Tujuan	:	Menerapkan pengetahuan perancangan sistem kelistrikan energi hibrida.
Indikator	:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Peserta didik mampu menerapkan pengetahuan perancangan sistem elektrik energi hibrida secara gotong royong dan bernalar kritis. 2. Peserta didik mampu menerapkan pengetahuan perancangan sistem elektrik energi hibrida secara gotong royong dan bernalar kritis. 3. Peserta didik mampu menerapkan pengetahuan perancangan sistem elektrik energi hibrida secara mandiri dan bernalar kritis.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Dalam aktivitas pembelajaran yang berfokus pada Pengetahuan Perancangan Sistem Kelistrikan Energi Hibrida, peserta didik diajak untuk memahami bagaimana mengintegrasikan berbagai sumber energi, seperti tenaga surya dan angin, ke dalam sistem kelistrikan yang efisien dan aman. Tujuan dari aktivitas ini ialah untuk membekali peserta didik dengan pengetahuan dan keterampilan yang diperlukan dalam merancang sistem kelistrikan, dengan membangun karakter yang baik melalui nilai-nilai kolaborasi dan kemandirian. Pembelajaran dilakukan dengan pendekatan yang berdiferensiasi sehingga setiap peserta didik dapat belajar sesuai dengan tingkat pemahaman dan kemampuan mereka. Materi yang diajarkan juga relevan dengan dunia industri (Iduka) dan berfokus pada pengembangan kompetensi esensial yang mendukung kesiapan kerja. Di samping itu, guru memastikan bahwa setiap kegiatan dilakukan dengan aman, memberikan perhatian pada kenyamanan dan keselamatan peserta didik selama praktik. Setelah pembelajaran, peserta didik melaksanakan aktivitas 4.5 hingga 4.7 secara gotong royong, mandiri, dan bernalar kritis, menerapkan pengetahuan yang telah mereka peroleh dalam bentuk kegiatan praktis yang bermanfaat.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif pembelajaran untuk materi Pengetahuan Perancangan Sistem Kelistrikan Energi Hibrida, peserta didik dapat terlibat dalam proyek kelompok di mana mereka merancang dan menyimulasikan sistem kelistrikan energi hibrida menggunakan perangkat lunak pemodelan. Dalam kegiatan ini, mereka akan mengidentifikasi berbagai komponen kelistrikan seperti inverter, baterai, dan kontroler, serta menentukan bagaimana komponen tersebut saling terhubung untuk menciptakan sistem yang optimal. Selain itu, peserta didik dapat mengikuti sesi *workshop* tentang keamanan dan praktik terbaik dalam instalasi kelistrikan, di mana mereka belajar langsung dari praktisi industri. Untuk memperkaya pemahaman, kunjungan lapangan ke fasilitas energi terbarukan setempat juga dapat dilakukan sehingga peserta didik dapat melihat aplikasi nyata dari sistem kelistrikan yang telah mereka pelajari. Melalui berbagai metode ini, diharapkan peserta didik dapat mengasah kemampuan teknis dan berpikir kritis yang diperlukan dalam perancangan sistem kelistrikan energi hibrida.

3. Pemasangan Energi Hibrida

Subbab ini merupakan implementasi dari Tujuan Pembelajaran 5 dan 6 seperti tampak berikut ini. Tujuan Pembelajaran ini diturunkan menjadi 2 indikator. Di dalam Buku Siswa, subbab Pengetahuan Pemasangan Energi Hibrida terdiri atas pengetahuan pemasangan sistem mekanik energi hibrida dan pengetahuan pemasangan sistem kelistrikan energi hibrida.

Tujuan	:	1. Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem mekanik energi hibrida. 2. Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem kelistrikan energi hibrida.
Subpokok Materi	:	Pengetahuan Pemasangan Energi Hibrida
Alokasi Waktu	:	30 JP (disajikan dalam 15 minggu) Rancangan pembelajaran pada contoh ini disajikan dalam 15 kali pertemuan. Alokasi waktu dapat dikembangkan sesuai kebutuhan di sekolah.

a. Pengetahuan Pemasangan Sistem Mekanik Energi Hibrida

Alokasi Waktu	:	16 JP × 45 Menit (8 Pertemuan)
Tujuan	:	Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem mekanik energi hibrida.

Indikator	:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Peserta didik mampu membuat daftar peralatan yang membutuhkan sistem mekanik secara kreatif. 2. Peserta didik mampu melakukan pemasangan sistem mekanik energi hibrida dengan bergotong royong.
-----------	---	---

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Dalam kegiatan pembelajaran mengenai Pengetahuan Pemasangan Sistem Mekanik Energi Hibrida, peserta didik diberi kesempatan untuk mendalami cara memasang berbagai komponen mekanik seperti turbin angin dan panel surya. Aktivitas ini bertujuan untuk memberikan keterampilan praktis yang diperlukan dalam pemasangan sistem mekanik, sekaligus menumbuhkan karakter melalui kolaborasi dan kreativitas. Proses pembelajaran disesuaikan dengan kebutuhan setiap peserta didik sehingga mereka dapat belajar dengan cara yang paling efektif bagi diri mereka. Materi yang diajarkan sangat relevan dengan industri, memastikan bahwa peserta didik memahami penerapan ilmu yang mereka pelajari. Selain itu, guru memastikan bahwa semua prosedur keamanan dan kenyamanan diikuti selama kegiatan, terutama dalam praktik yang mungkin berisiko. Setelah pembelajaran, peserta didik melaksanakan Aktivitas 4.8 dengan semangat gotong royong dan kreativitas, menerapkan semua pengetahuan dan keterampilan yang telah mereka peroleh dalam suasana yang mendukung kerja sama.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif dalam pembelajaran mengenai Pemasangan Sistem Mekanik Energi Hibrida, peserta didik dapat melakukan simulasi proyek kecil di mana mereka bekerja dalam kelompok untuk merancang dan memasang model miniatur turbin angin dan panel surya. Aktivitas ini tidak hanya menekankan pada penerapan teori yang telah dipelajari, tetapi juga mengedepankan kemampuan *problem-solving* dan kerja tim. Dengan cara ini, peserta didik dapat secara langsung mengalami tantangan yang dihadapi dalam pemasangan sistem mekanik sehingga meningkatkan keterampilan teknis dan *soft skills* mereka. Selain itu, guru dapat memfasilitasi diskusi tentang potensi masalah yang mungkin timbul selama pemasangan dan bagaimana cara mengatasinya sehingga peserta didik dapat belajar tentang pentingnya persiapan dan penanganan risiko. Kegiatan ini akan diakhiri dengan presentasi hasil kerja kelompok, di mana setiap kelompok dapat berbagi pengalaman dan pelajaran yang didapat, serta mendapatkan umpan balik dari guru dan teman-teman sekelas.

b. Pemasangan Sistem Kelistrikan Energi Hibrida

Alokasi Waktu	:	14 JP × 45 Menit (7 Pertemuan)
Tujuan	:	Menerapkan pengetahuan pemasangan sistem kelistrikan energi hibrida.
Indikator	:	<ol style="list-style-type: none">1. Peserta didik mampu menginventarisir kebutuhan peralatan elektrik energi hibrida secara kreatif.2. Peserta didik mampu memasang sistem elektrik energi hibrida secara bergotong royong.

1) Aktivitas Pembelajaran dan Materi

Dalam aktivitas pembelajaran mengenai Pemasangan Sistem Kelistrikan Energi Hibrida, peserta didik diajak untuk terlibat dalam kegiatan praktis yang menekankan penerapan teori di lapangan. Mereka akan belajar menghubungkan berbagai komponen listrik seperti inverter, baterai, dan kontroler, sambil memahami pentingnya keselamatan dan efisiensi dalam sistem kelistrikan. Aktivitas ini dirancang untuk memperkuat karakter gotong royong dan kolaborasi antarpeserta didik, serta memberikan ruang bagi pembelajaran berdiferensiasi sesuai dengan kemampuan masing-masing. Selain itu, peserta didik akan dibekali dengan pengetahuan yang relevan dengan standar industri sehingga mereka dapat beradaptasi dengan perkembangan di dunia kerja. Guru akan memastikan bahwa semua prosedur keselamatan diikuti untuk menjaga kenyamanan dan keamanan peserta didik selama proses pemasangan. Setelah pembelajaran, peserta didik melaksanakan Aktivitas 4.9 secara gotong royong dan kreatif, menerapkan semua pengetahuan yang telah mereka pelajari untuk menghasilkan sistem kelistrikan yang berfungsi dengan baik.

2) Alternatif Pembelajaran

Sebagai alternatif kegiatan untuk pembelajaran Pemasangan Sistem Kelistrikan Energi Hibrida, peserta didik dapat melakukan beberapa aktivitas menarik yang menggabungkan teori dan praktik. Pertama, mereka akan mengikuti simulasi pemasangan sistem, di mana peserta didik dibagi dalam kelompok kecil dan merencanakan langkah-langkah pemasangan di lokasi yang ditentukan. Selanjutnya, diadakan *workshop* di mana peserta didik dapat berlatih langsung memasang komponen seperti inverter, panel surya, dan baterai di area yang telah disiapkan dengan pengawasan guru untuk menjaga keselamatan. Selain itu, peserta didik juga akan menganalisis studi kasus dari sistem energi hibrida yang ada dan membuat presentasi untuk membahas tantangan dan solusi yang diambil. Kunjungan lapangan ke lokasi nyata juga dapat diorganisir untuk memberikan pengalaman langsung

tentang pemasangan, sementara proyek desain memungkinkan peserta didik merancang sistem untuk lokasi tertentu dan mempresentasikannya. Terakhir, peserta didik dapat membuat poster informatif tentang langkah-langkah pemasangan yang aman dan efisien, yang dapat dipajang di kelas untuk meningkatkan kesadaran akan pentingnya energi terbarukan. Dengan berbagai aktivitas ini, peserta didik tidak hanya.

F. Tindak Lanjut

Kegiatan tindak lanjut dapat dilakukan dengan dua kegiatan, yaitu pengayaan dan remedial.

1. Pengayaan

Pengayaan diberikan bagi peserta didik yang telah mencapai kriteria ketercapaian dari tujuan pembelajaran yang telah ditetapkan. Kegiatan pengayaan dapat dilakukan sebagai berikut.

Mengenai Membangun Rumah Cerdas berfokus pada desain arsitektur yang mendukung pencahayaan alami dan ventilasi, pemilihan material isolasi yang efisien, serta penerapan sistem energi terbarukan seperti panel surya dan turbin angin. Proses otomatisasi rumah menggunakan sensor gerak dan kontrol pintar, serta penerapan meteran cerdas dan sistem penyimpanan energi untuk memantau dan mengelola konsumsi energi. Selain itu, pengelolaan air juga dioptimalkan melalui perangkat hemat dan sistem penampungan air hujan. Beberapa perangkat yang mendukung rumah cerdas termasuk sistem monitoring daya listrik yang mencatat dan menampilkan konsumsi energi secara grafis, steker cerdas yang memungkinkan kontrol otomatis pada peralatan listrik, dan *Smart Bridge* yang menghubungkan berbagai perangkat dalam satu sistem terintegrasi. Topologi jaringan rumah cerdas yang modern memungkinkan pemilik untuk mengelola penggunaan energi dan meningkatkan efisiensi secara menyeluruh melalui koneksi internet, memudahkan pengaturan dan penambahan perangkat baru sesuai kebutuhan. Dengan semua ini, rumah cerdas tidak hanya menawarkan kenyamanan, tetapi juga berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan.

2. Remedial

Bagi peserta didik dengan kemampuan yang belum memenuhi Kriteria Ketercapaian Tujuan Pembelajaran (KKTP), guru perlu melakukan hal berikut.

- a. Guru memberikan bimbingan individu atau secara kelompok.
- b. Guru memberikan pembelajaran ulang dengan metode berbeda.

- c. Guru memanfaatkan tutor sebaya, yaitu peserta didik lain membantu temannya yang masih belum dapat menapai KKTP dengan cara membuat kelompok belajar. Peserta didik yang dianggap mampu akan menjadi narasumber bagi temannya.

G. Asesmen

Asesmen awal disampaikan pada saat awal kegiatan pembelajaran. Asesmen formatif menggunakan instrumen asesmen berupa aktivitas peserta didik baik individu maupun kelompok. Pada bab ini, asesmen aktivitas dapat dilakukan dengan rubrik asesmen pada Panduan Umum. Asesmen sumatif dilakukan pada bagian uji kompetensi merupakan penilaian dalam instrumen tes tertulis dengan bentuk uraian. Untuk lebih jelas guru dapat melihat tabel rubrik asesmen berikut.

1. Rubrik Penilaian Aktivitas

a. Rubrik Penilaian Aktivitas 4.1 Diskusi

Tabel 4.3 Rubrik Penilaian Aktivitas 4.1

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Kelebihan dan Kekurangan Energi Hibrida	Menjelaskan masing-masing 5 kelebihan dan kekurangan energi hibrida.	Menjelaskan masing-masing 4 kelebihan dan kekurangan energi hibrida.	Menjelaskan masing-masing 3 kelebihan dan kekurangan energi hibrida.	Menjelaskan masing-masing 2 kelebihan dan kekurangan energi hibrida.
Sistem Kerja Energi Hibrida	Menjelaskan peranan PLTS dan PLTD dengan terperinci.	Menjelaskan peranan PLTS dan PLTD, tetapi kurang terperinci.	Menjelaskan peranan PLTS dan PLTD, tetapi tidak jelas kaitannya.	Menjelaskan peranan PLTS dan PLTD, tetapi tidak ada kaitannya.
Esai dan Data Pengamatan	Esai lebih dari 500 kata; memiliki tabel data hasil pengamatan 3 sumber energi hibrida dengan lengkap; memiliki kesimpulan yang tepat.	Esai lebih dari 400 kata; memiliki tabel data hasil pengamatan 2 sumber energi hibrida dengan lengkap; memiliki kesimpulan yang kurang tepat.	Esai lebih dari 500 kata; memiliki tabel data hasil pengamatan 2 sumber energi hibrida dengan lengkap; memiliki kesimpulan yang tepat.	Esai lebih dari 500 kata; memiliki tabel data hasil pengamatan 2 sumber energi hibrida dengan lengkap; tidak memiliki kesimpulan.

$$\text{Nilai} = \frac{\text{skor perolehan}}{\text{skor maksimal}} \times 100$$

Nilai peserta didik ≥ 75 dianggap tuntas. Nilai di bawah 75 dianggap belum tuntas dan perlu pembelajaran remedial.

Untuk penilaian diskusi dan presentasi, guru dapat mengacu pada rubrik yang terdapat pada Tabel 10 dan Tabel 11 di bagian Panduan Umum.

b. Rubrik Penilaian Aktivitas 4.2 Komponen Energi Hibrida

Tabel 4.4 Rubrik Penilaian Aktivitas 4.2

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Daftar Kebutuhan Komponen Energi Hibrida	Membuat daftar kebutuhan terdiri atas nama alat, spesifikasi, jumlah, dan harga secara lengkap.	Membuat daftar kebutuhan lengkap, tetapi harga barang kurang rasional.	Membuat daftar kebutuhan lengkap, tetapi daftar nama barang kurang lengkap.	Membuat daftar kebutuhan, tetapi komponennya kurang lengkap.
Peralatan Sinkronisasi	Menjelaskan 7 nama peralatan sesuai dengan fungsinya.	Menjelaskan 7 nama peralatan, tetapi ada yang kurang sesuai dengan fungsinya.	Menjelaskan kurang dari 7 nama peralatan, tetapi sesuai dengan fungsinya.	Menjelaskan kurang dari 7 nama peralatan, dan ada yang tidak sesuai dengan fungsinya.

Penilaian rubrik, diskusi dan presentasi lihat Aktivitas 4.1 pada Tabel 4.3.

c. Rubrik Penilaian Aktivitas 4.3 Perancangan Sistem Kontruksi Sipil Energi Hibrida

Tabel 4.5 Rubrik Penilaian Aktivitas 4.3

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Membuat Fondasi Generator Set	Membuat daftar lengkap kebutuhan terdiri atas nama bahan, alat, dan tenaga kerja dengan lengkap.	Membuat daftar tidak lengkap kebutuhan terdiri atas nama bahan, alat, tetapi kurang tenaga kerja.	Membuat daftar tidak lengkap kebutuhan terdiri atas nama bahan, kurang alat, tenaga kerja.	Tidak membuat daftar tabel kebutuhan.

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Gambar Rencana Denah Lokasi	Menjelaskan dengan lengkap denah lokasi.	Menjelaskan denah lokasi, tetapi sedikit kurang lengkap.	Menjelaskan kurang lengkap, 50 persen salah.	Tidak menjelaskan peralatan sinkornisasi.

Penilaian rubrik, diskusi dan presentasi lihat Aktivitas 4.1 pada Tabel 4.3.

d. Rubrik Penilaian Aktivitas 4.4 Perancangan Sistem Mekanik Energi Hibrida

Tabel 4.6 Rubrik Penilaian Aktivitas 4.4

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Memahami <i>Name Plate</i> Generator	Membaca <i>name plate</i> generator dengan lancar dan memahami maksudnya secara detail.	Membaca <i>name plate</i> generator dengan lancar, tetapi belum memahami maksudnya secara detail.	Membaca <i>name plate</i> generator dengan lancar, tetapi tidak memahami maksudnya.	Tidak dapat membaca <i>name plate</i> generator dengan lancar dan tidak memahami maksudnya.
Data Kebutuhan dan Hasil Generator	Memiliki tabel data kebutuhan dan hasilnya dengan lengkap.	Memiliki tabel data 5 kebutuhan dan hasilnya dengan lengkap.	Memiliki tabel data 3 kebutuhan dan hasilnya dengan lengkap.	Memiliki tabel data 1 kebutuhan dan hasilnya dengan lengkap.

Penilaian rubrik, diskusi dan presentasi lihat Aktivitas 4.1 pada Tabel 4.3.

e. Rubrik Penilaian Aktivitas 4.5 Perancangan Sistem Elektrik Energi Hibrida

Tabel 4.7 Rubrik Penilaian Aktivitas 4.5

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Membuat Daftar Kebutuhan berdasarkan Gambar	Memiliki RAB lengkap, ditambah peralatan yang penting yang belum ada dengan memiliki argumen yang penting.	Memiliki RAB lengkap, dengan argumen yang kurang terkait.	Memiliki RAB dengan komponen yang kurang lengkap, tetapi argumennya tepat.	Memiliki RAB dengan komponen yang kurang lengkap, dan argumennya kurang tepat.

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Sistem Kerja Energi Hibrida Berdasarkan Gambar	Memiliki resume serta informasi lain yang mendukung dan penting.	Memiliki resume, tetapi masih kurang lengkap.	Memiliki resume yang menerangkan sebagian gambar.	Tidak Memiliki resume yang menerangkan sebagian gambar.
Membuat Proposal	Memiliki proposal dengan kaidah penulisan sesuai dengan mata Pelajaran Bahasa Indonesia di lampiri dengan RAB.	Memiliki proposal kurang sesuai dengan kaidah penulisan sesuai dengan mata Pelajaran Bahasa Indonesia di lampiri dengan RAB.	Memiliki proposal kurang sesuai dengan kaidah penulisan sesuai dengan mata Pelajaran Bahasa Indonesia tanpa lampiri dengan RAB.	Tidak membuat proposal

Penilaian rubrik, diskusi dan presentasi lihat Aktivitas 4.1 pada Tabel 4.3.

f. Rubrik Penilaian Aktivitas 4.6 Perancangan Sistem Elektrik Energi Hibrida

Tabel 4.8 Rubrik Penilaian Aktivitas 4.6

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Menghitung Kapasitas Hibrida 20000	Menyajikan perhitungan 3 kapasitas sumber energi dan rumus yang digunakan benar.	Menyajikan perhitungan 3 kapasitas sumber energi dan rumus yang digunakan kurang benar.	Menyajikan perhitungan 2 kapasitas sumber energi dan rumus yang digunakan benar.	Menyajikan perhitungan 2 kapasitas sumber energi dan rumus yang digunakan kurang benar.

Penilaian rubrik, diskusi dan presentasi lihat Aktivitas 4.1 pada Tabel 4.3.

g. Rubrik Penilaian Aktivitas 4.7 Perancangan Sistem Elektrik Energi Hibrida

Tabel 4.9 Rubrik Penilaian Aktivitas 4.7

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Mendiskripsikan Gambar Kelistrikan Energi Hibrida	Menyampaikan secara berurutan dan jelas kinerja inverter Solis S6 dengan koneksi internet.	Menyampaikan secara acak kinerja Solis S6 dengan koneksi internet.	Tidak Menyampaikan poin penting Solis S6 dengan koneksi internet.	Tidak melakukan deskripsi.

Penilaian rubrik, diskusi dan presentasi lihat Aktivitas 4.1 pada Tabel 4.3.

h. Rubrik Penilaian Aktivitas 4.8 Pemasangan Sistem Mekanik Energi Hibrida

Tabel 4.10 Rubrik Penilaian Aktivitas 4.8

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Komponen yang Memiliki dan Tidak Memiliki Sistem Mekanik	Menyampaikan masing-masing 5 komponen lengkap dengan fungsinya secara tepat.	Menyampaikan masing-masing 5 komponen, tetapi ada yang fungsinya kurang tepat.	Menyampaikan kurang dari 5 komponen lengkap dengan fungsinya secara tepat.	Menyampaikan kurang dari 5 komponen dengan fungsinya kurang tepat.
Informasi Harga Sewa Alat Bantu Angkat	Memiliki tabel data nama peralatan, spesifikasi, dan harga sewa dari minimal 5 perusahaan dengan lengkap.	Memiliki tabel data nama peralatan, spesifikasi, dan harga sewa dari minimal 5 perusahaan, tetapi kurang lengkap.	Memiliki tabel data nama peralatan, spesifikasi, dan harga sewa dari minimal 4 perusahaan dengan lengkap.	Memiliki tabel data nama peralatan, spesifikasi, dan harga sewa dari minimal 4 perusahaan, tetapi kurang lengkap.
Deskripsi Gambar 4.42	Mendiskripsikan dengan jelas minimal 6 unsur tentang isi gambar.	Mendiskripsikan dengan jelas minimal 5 unsur tentang isi gambar.	Mendiskripsikan dengan jelas minimal 4 unsur tentang isi gambar.	Mendiskripsikan dengan jelas minimal 3 unsur tentang isi gambar.

Penilaian rubrik, diskusi dan presentasi lihat Aktivitas 4.1 pada Tabel 4.3.

i. Rubrik Penilaian Aktivitas 4.9 Pemasangan Sistem Elektrik Energi Hibrida

Tabel 4.11 Rubrik Penilaian Aktivitas 4.9

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Peran Komponen dalam Instalasi Sistem Energi Hibrida	Menjelaskan 4 komponen sumber energi hibrida dan perannya dengan lengkap.	Menjelaskan 3 komponen sumber energi hibrida dan perannya dengan lengkap.	Menjelaskan 2 komponen sumber energi hibrida dan perannya dengan lengkap.	Menjelaskan 1 komponen sumber energi hibrida dan perannya dengan lengkap.

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
Interaksi dalam Kondisi Operasi yang Berbeda	Memberikan 3 kondisi operasional dengan interaksi yang tepat.	Memberikan 3 kondisi operasional dengan interaksi yang kurang tepat.	Memberikan 2 kondisi operasional dengan interaksi yang tepat.	Memberikan 2 kondisi operasional dengan interaksi yang kurang tepat.
Peran Inverter dalam Sistem Energi Hibrida	Menjelaskan minimal 6 peran dan fungsi dengan tepat.	Menjelaskan minimal 5 peran dan fungsi dengan tepat.	Menjelaskan minimal 4 peran dan fungsi dengan tepat.	Menjelaskan minimal 3 peran dan fungsi dengan tepat.
Cara Kerja Inverter Terintegrasi dengan ATS dan <i>Charger Controller</i>	Menjelaskan cara kerja kedua komponen dengan jelas dan benar.	Menjelaskan cara kerja kedua komponen, tetapi ada yang kurang jelas dan benar.	Menjelaskan cara kerja hanya satu komponen dengan jelas dan benar.	Menjelaskan cara kerja hanya satu komponen, tetapi kurang jelas dan benar.
Cara Inverter Menangani Kondisi Beban yang Berbeda	Menyajikan 3 kondisi beban dan cara penanganan yang tepat.	Menyajikan 3 kondisi beban, tetapi cara penanganan ada yang kurang tepat.	Menyajikan 2 kondisi beban dan cara penanganan yang tepat.	Menyajikan 2 kondisi beban, tetapi cara penanganan ada yang kurang tepat.
Laporan Merancang dan Memasang Sistem Energi Hibrida	Menyajikan 4 unsur laporan; memuat 5 komponen utama sistem hibrida dengan lengkap.	Menyajikan 4 unsur laporan; memuat 4 komponen utama sistem hibrida dengan lengkap.	Menyajikan 3 unsur laporan; memuat 4 komponen utama sistem hibrida dengan lengkap.	Menyajikan 3 unsur laporan; memuat 3 komponen utama sistem hibrida dengan lengkap.

Penilaian rubrik, diskusi dan presentasi lihat Aktivitas 4.1 pada Tabel 4.3.

2. Rubrik Penilaian Uji Kompetensi

Tabel 4.12 Rubrik Penilaian Uji Kompetensi

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
1. <i>Troubleshooting</i> dan Perbaikan Sementara	Mengidentifikasi penyebab kerusakan dengan tepat, memberikan	Mengidentifikasi penyebab kerusakan dengan baik, memberikan langkah	Mengidentifikasi penyebab kerusakan tetapi langkah <i>troubleshooting</i>	Tidak dapat mengidentifikasi penyebab kerusakan dengan jelas, langkah

Aspek Penilaian	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Kurang (1)
	langkah <i>troubleshooting</i> yang sistematis, serta menyebutkan alat yang sesuai untuk perbaikan sementara.	<i>troubleshooting</i> yang cukup jelas, namun ada sedikit kekurangan dalam pemilihan alat.	kurang sistematis, serta alat yang disebutkan tidak sepenuhnya tepat.	<i>troubleshooting</i> kurang logis, dan tidak menyebutkan alat yang sesuai.
2. Perancangan Sistem Energi Hibrida untuk Rumah Tangga di Daerah Pantai	Menyusun rancangan sistem energi hibrida yang detail, mempertimbangkan intensitas matahari, kecepatan angin, serta harga komponen secara tepat. Memberikan solusi optimal untuk kebutuhan energi rumah tangga.	Menyusun rancangan sistem energi hibrida yang cukup detail dengan pertimbangan faktor lingkungan dan harga, meskipun ada beberapa aspek yang kurang diperhitungkan.	Menyusun rancangan yang kurang komprehensif, dengan analisis yang kurang mendalam terhadap faktor lingkungan dan biaya.	Tidak menyusun rancangan yang jelas, banyak aspek penting yang tidak diperhitungkan, serta solusi yang tidak layak diterapkan.
3. Integrasi dengan Sistem Manajemen Energi Cerdas (SEMS)	Menjelaskan integrasi dengan SEMS secara mendetail, mencakup mekanisme kerja, manfaat, serta tantangan yang mungkin muncul beserta solusinya.	Menjelaskan integrasi dengan SEMS dengan baik, meskipun ada beberapa aspek yang kurang mendalam dalam manfaat atau tantangan.	Menjelaskan konsep SEMS secara umum tetapi kurang dalam mekanisme teknis dan tantangan integrasi.	Penjelasan kurang jelas, tidak mencakup mekanisme integrasi, manfaat, maupun tantangan yang relevan.
4. Edukasi dan Pelatihan Masyarakat	Menyusun program pelatihan yang sistematis, berbasis komunitas, dan melibatkan masyarakat secara aktif. Menjelaskan pentingnya partisipasi masyarakat dalam keberlanjutan sistem.	Menyusun program pelatihan yang cukup baik tetapi kurang dalam keterlibatan masyarakat atau metode pelatihan.	Menyusun program pelatihan yang terbatas dan kurang mempertimbangkan efektivitas penyampaian materi.	Tidak memberikan program pelatihan yang jelas dan tidak menjelaskan pentingnya partisipasi masyarakat.

Penilaian rubrik, diskusi dan presentasi lihat Aktivitas 4.1 pada Tabel 4.3.

1. Kunci Jawaban Aktivitas

a. Kunci Jawaban Aktivitas 4.1 Konsep Dasar Energi Hibrida

1. Kelebihan dan Kekurangan Energi Hibrida

Kelebihan Sistem Energi Hibrida PLTS dan PLTB

- a. Keandalan Pasokan Energi – PLTS bekerja optimal di siang hari, sementara PLTB dapat beroperasi kapan saja bergantung pada kecepatan angin. Kombinasi ini meningkatkan kontinuitas pasokan listrik.
- b. Mengurangi Kebergantungan pada Sumber Energi Fosil – Dengan memanfaatkan energi terbarukan, sistem ini mengurangi kebutuhan genset berbahan bakar fosil. Dengan demikian, lebih ramah lingkungan dan menghemat biaya operasional.
- c. Efisiensi Pemanfaatan Sumber Daya Alam – Dengan menggunakan energi matahari dan angin secara bersamaan, sistem ini lebih optimal dibandingkan dengan sistem tunggal karena dapat beradaptasi dengan kondisi cuaca yang berubah-ubah.
- d. Potensi Pengurangan Biaya dalam Jangka Panjang – Meskipun investasi awal tinggi, biaya operasional dan perawatan lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit berbahan bakar fosil.
- e. Dapat Digunakan di Daerah Terpencil – Cocok untuk daerah yang tidak terjangkau jaringan listrik nasional (*off-grid*), membantu meningkatkan akses listrik bagi masyarakat di lokasi terpencil.

Kekurangan Sistem Energi Hibrida PLTS dan PLTB

- a. Biaya Investasi Awal yang Tinggi – Memerlukan investasi besar untuk pengadaan panel surya, turbin angin, inverter hibrida, baterai penyimpanan, dan sistem kontrol.
- b. Kompleksitas Sistem dan Pemeliharaan – Memerlukan sistem manajemen energi yang canggih untuk menyeimbangkan produksi dan konsumsi listrik, serta teknisi yang terampil untuk pemeliharaan.
- c. Kebergantungan pada Kondisi Cuaca – Produksi energi dapat berfluktuasi karena faktor cuaca seperti hari berawan atau angin yang lemah sehingga memerlukan penyimpanan energi yang cukup.
- d. Keterbatasan Lahan dan Infrastruktur – Turbin angin memerlukan area dengan kecepatan angin yang stabil, sementara panel surya membutuhkan ruang yang cukup luas agar optimal.

- e. Perizinan dan Regulasi – Pembangunan sistem hibrida mungkin memerlukan izin khusus dan kepatuhan terhadap regulasi setempat, yang bisa menjadi tantangan di beberapa wilayah.
2. Sistem kerja energi hibrida PLTS dan PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel) menggabungkan tenaga surya dan generator diesel untuk memastikan pasokan listrik yang lebih stabil dan efisien. Panel surya (PLTS) menghasilkan listrik dari sinar matahari yang kemudian dikendalikan oleh inverter untuk disesuaikan dengan kebutuhan beban. Pada siang hari, ketika PLTS beroperasi optimal, listrik yang dihasilkan digunakan langsung untuk beban dan kelebihan energinya dapat disimpan dalam baterai.
- Saat produksi listrik dari PLTS menurun, seperti pada malam hari atau saat cuaca mendung, generator diesel (PLTD) akan otomatis menyala untuk memenuhi kebutuhan listrik yang tidak tercukupi. Sistem kontrol cerdas mengatur kapan PLTD harus beroperasi untuk menghemat bahan bakar serta mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan sehingga efisiensi sistem meningkat dan biaya operasional berkurang.
4. Membuat esai lebih dari 500 kata, kemudian memiliki tabel hasil pengamatan sumber energi hibrida di lingkungan sekitar sekolah.

Tabel 4.13 Tabel Pengamatan Sumber Energi Hibrida di Sekitar

Potensi Sumber Energi	Data Energi	Lokasi
PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro)	Debit air: ... Tinggi Terjunan: Potensi Watt:	RT. RW. Kecamatan Kabupaten Provinsi
PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya)	Intensitas Panas Matahari: Lama Sinar maksimal: Potensi Watt:	RT. RW. Kecamatan Kabupaten Provinsi
PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu)	Kecepatan angin: ... ms Tinggi menara: ... Lama angin berhembus	RT. RW. Kecamatan Kabupaten Provinsi

b. Kunci Jawaban Aktivitas 4.2

Tabel 4.14 Kebutuhan Komponen untuk Sistem Energi Hhibrida PLTS-PLTD

No	Nama Barang	Spesifikasi	Jumlah	Harga per Unit (Rp)	Total Harga (Rp)
1	Panel Surya	315 Wp, monokristalin/ polikristalin	32	4.200.000	134.400.000

No	Nama Barang	Spesifikasi	Jumlah	Harga per Unit (Rp)	Total Harga (Rp)
2	Generator Diesel (Genset)	30 kW	1	420.000.000	420.000.000
3	Inverter Hibrida	200 kW	1	840.000.000	840.000.000
4	Baterai Penyimpanan	Total kapasitas 360 kWh (2 kWh/unit)	180	28.500.000	5.130.000.000
5	Sistem Kontrol & Monitoring	Manajemen energi & monitoring	1	140.000.000	140.000.000
6	Perangkat Pendukung	Kabel, konektor, mounting, proteksi	-	-	280.000.000
Total Estimasi Biaya					6.944.400.000

Catatan:

- Harga dapat bervariasi bergantung pada merek dan vendor penyedia.
- Jumlah panel surya dan baterai dapat disesuaikan dengan kebutuhan daya dan kapasitas penyimpanan energi.
- Biaya pemasangan dan perizinan belum termasuk dalam estimasi ini.

Tabel 4.15 Peralatan Sinkronisasi: Fasa, Frekuensi, dan Tegangan serta Fungsinya

No	Nama Peralatan	Fungsi
1	Synchronizer (<i>Automatic Synchronizer Unit - ASU</i>)	Menyesuaikan frekuensi dan tegangan antara inverter dan genset sebelum koneksi ke jaringan.
2	Synchroscope	Menampilkan perbedaan fase dan frekuensi antara dua sumber daya.
3	AVR (<i>Automatic Voltage Regulator</i>)	Menstabilkan tegangan output dari genset agar sesuai dengan sistem.
4	Governor Controller	Mengontrol kecepatan putaran genset untuk menyesuaikan frekuensi.
5	Inverter Hibrida dengan Mode <i>Grid-Tie</i>	Mengatur output dari inverter PLTS agar dapat selaras dengan sistem.
6	PLC (<i>Programmable Logic Controller</i>) atau Mikroprosesor Sinkronisasi	Mengontrol proses sinkronisasi secara otomatis dengan parameter yang telah diprogram.
7	Switchgear & Circuit Breaker	Menghubungkan dan memutuskan sumber daya listrik saat sinkronisasi dilakukan.

Proses Sinkronisasi Energi Hibrida PLTS-PLTD

1. Penyelarasan Tegangan → Tegangan *output* dari PLTS dan PLTD disesuaikan agar memiliki nilai yang sama atau mendekati.
2. Penyelarasan Frekuensi → Genset akan diatur melalui Governor Controller, sementara inverter akan menyesuaikan frekuensinya ke 50 Hz atau 60 Hz (sesuai sistem).
3. Penyelarasan Fase → Synchroscope digunakan untuk melihat apakah kedua sumber memiliki perbedaan sudut fasa yang kecil sebelum disinkronkan.
4. Koneksi ke Beban → Setelah ketiga parameter selaras, *breaker* akan menghubungkan kedua sumber daya ke jaringan atau beban.
5. Kontrol Distribusi Daya → PLC atau sistem kontrol akan mengatur distribusi daya antara PLTS dan PLTD sesuai kebutuhan beban dan kapasitas masing-masing sumber.

Kesimpulan:

Sinkronisasi dalam sistem hibrida PLTS-PLTD sangat penting untuk menghindari ketidakseimbangan listrik yang dapat merusak peralatan. Dengan kombinasi Synchronizer, Synchroscope, AVR, Governor Controller, dan inverter hibrida, sistem dapat bekerja dengan lebih stabil dan efisien.

c. Kunci Jawaban Aktivitas 4.3: Perancangan Energi Hibrida

Tabel 4.16 Rencana Anggaran Biaya Barang untuk Fondasi Generator Set 2.250 × 960 × 1.450 mm

No	Nama Barang	Spesifikasi	Satuan	Volume	Harga per Unit (Rp)	Total Harga (Rp)
A. Bahan						
1	Semen Portland	OPC (Ordinary Portland Cement)	Sak	5	75.000	375.000
2	Pasir Beton	Pasir cor kualitas bagus	M ³	0.5	250.000	125.000
3	Batu Split 2/3	Untuk campuran beton	M ³	0.5	300.000	150.000
4	Besi Tulangan Ø12 mm	Untuk tulangan beton	Batang	8	130.000	1.040.000
5	Besi Tulangan Ø10 mm	Untuk tulangan beton	Batang	6	100.000	600.000
6	Besi Wiremesh M6	Jaring besi	Lembar	1	450.000	450.000
7	Bekisting Papan Kayu	Tebal 2 cm	M ²	5	65.000	325.000

No	Nama Barang	Spesifikasi	Satuan	Volume	Harga per Unit (Rp)	Total Harga (Rp)
8	Paku	3 cm & 5 cm	Kg	1	30.000	30.000
9	Baut Angkur M16 x 30 cm	Pengikat genset ke fondasi	Buah	4	50.000	200.000
B. Alat						
10	Beton Molen (Mixer)	Kapasitas kecil	Unit	1	150.000	150.000
11	Alat Tukang (Sekop, Cangkul, Palu, dsb)	Peralatan kerja	Set	1	200.000	200.000
Subtotal Bahan & Alat						3.645.000

Tabel 4.17 Rencana Anggaran Biaya Tenaga Kerja untuk Fondasi Generator Set 2.250 × 960 × 1.450 mm

No	Jenis Pekerja	Volume	Upah Harian (Rp)	Lama Kerja (Hari)	Total Biaya (Rp)
1	Tukang Besi	1 orang	150.000	2	300.000
2	Tukang Kayu	1 orang	150.000	2	300.000
3	Tukang Batu	1 orang	150.000	2	300.000
4	Pekerja (Kenek)	2 orang	120.000	2	480.000
Subtotal Tenaga Kerja					1.380.000

Tabel 4.18 Rencana Total Anggaran untuk Fondasi Generator Set 2.250 × 960 × 1.450 mm

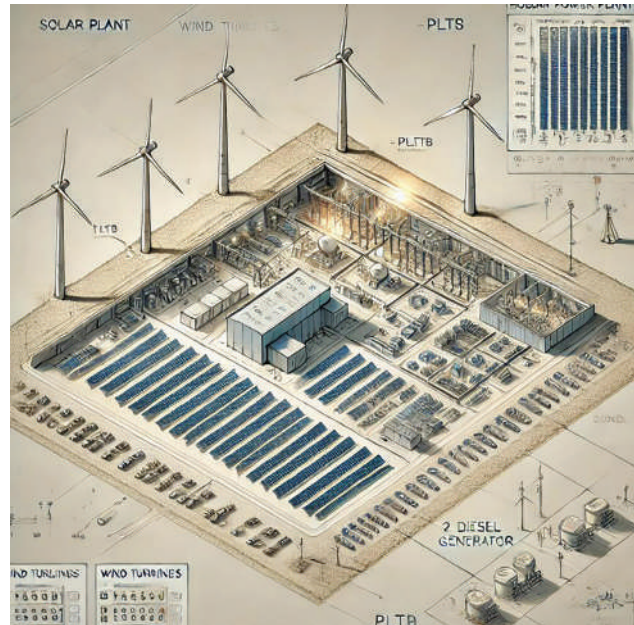
Kategori	Total Biaya (Rp)
Bahan & Alat	3.645.000
Tenaga Kerja	1.380.000
Total Keseluruhan	5.025.000

Gambar Rencana Denah Lokasi Penempatan 1 PLTS, 2 PLTB, 1 PLTD

Gambar denah lokasi penempatan 1 PLTS, 2 PLTB, dan 1 PLTD berdasarkan asumsi berikut:

- PLTS (Panel Surya): Ditempatkan di area terbuka dengan orientasi optimal terhadap sinar matahari.
- PLTB (Turbin Angin): Dipasang di lokasi dengan akses angin terbaik, berjauhan dari halangan seperti bangunan atau pohon.

- PLTD (Generator Diesel): Ditempatkan di area tertutup atau terpisah untuk mengurangi kebisingan dan mempertimbangkan keamanan.
- Jalur Distribusi Listrik: Menunjukkan koneksi antarsistem menuju pusat beban atau jaringan listrik utama.



d. Kunci Jawaban Aktivitas 4.4

1) Informasi dari Gambar

a) Informasi Pabrikasi

- Brand/Manufacturer → Nama perusahaan pembuat generator.
- Model/Type → Kode model atau tipe generator.
- Serial Number → Nomor unik untuk identifikasi unit tertentu.

b) Parameter Listrik

- *Rated Power* (Daya Nominal) → Daya keluaran generator dalam kW atau kVA.
 - o kW (kilowatt) → Menunjukkan daya aktif (P) yang dapat digunakan.
 - o kVA (kilovolt-ampere) → Menunjukkan daya semu (S), digunakan untuk memperhitungkan faktor daya (Power Factor).
- *Voltage* (Tegangan Nominal) → Tegangan keluaran dalam V (Volt), misalnya 220V / 380V.
- *Current* (Arus Nominal) → Arus keluaran dalam A (Ampere), sesuai dengan daya dan tegangan generator.

- *Frequency* (Frekuensi) → Biasanya 50 Hz atau 60 Hz, bergantung pada sistem kelistrikan yang digunakan.
- *Power Factor* (PF) → Faktor daya, biasanya 0,8 *lagging* untuk sistem 3 fase.
- *Phase* (Fasa) → Menunjukkan apakah generator ini 1 phase (1Φ) atau 3 phase (3Φ).

c) Parameter Mekanis

- *Speed* (Kecepatan Rotasi) → Kecepatan putaran dalam RPM (Revolutions Per Minute), misalnya 1500 RPM atau 1800 RPM.
- *Excitation Type* (Jenis Eksitasi) → Untuk generator brushless, eksitasi biasanya Self-Excited atau menggunakan AVR (Automatic Voltage Regulator).
- *Insulation Class* → Standar insulasi lilitan, seperti Class B, F, atau H yang menunjukkan ketahanan terhadap suhu.
- *Protection Class* (Kelas Proteksi) → Menunjukkan tingkat perlindungan terhadap debu dan air, misalnya IP23, IP44.
- *Cooling Method* (Metode Pendinginan) → Biasanya Air-Cooled (pendingin udara) atau Water-Cooled (pendingin air).

d) Informasi Tambahan

- *Efficiency* (Efisiensi) → Persentase efisiensi generator dalam mengubah energi mekanik menjadi listrik.
- *Weight* (Berat) → Berat total unit dalam kg atau lbs.
- *Standards* (Standar) → Standar yang digunakan, misalnya IEC, NEMA, atau ISO

2) Konsumsi bahan bakar generator biodiesel

Tabel 4.19 Konsumsi Bahan Bakar Generator Biodiesel

Daya Genset (PK)	Daya Listrik (kW / kVA)	Jenis Bahan Bakar	Konsumsi Bahan Bakar per Jam	Biaya Operasional per Jam (Estimasi)
5 PK	4 kW / 5 kVA	Bensin	1 - 1.5 L	Rp15.000 - Rp22.500
10 PK	8 kW / 10 kVA	Bensin	2 - 3 L	Rp30.000 - Rp45.000
15 PK	12 kW / 15 kVA	Solar	2.5 - 3.5 L	Rp40.000 - Rp56.000
20 PK	16 kW / 20 kVA	Solar	3.5 - 4.5 L	Rp56.000 - Rp72.000
30 PK	24 kW / 30 kVA	Solar	5 - 7 L	Rp80.000 - Rp112.000
50 PK	40 kW / 50 kVA	Solar	8 - 10 L	Rp128.000 - Rp160.000
100 PK	80 kW / 100 kVA	Solar	16 - 20 L	Rp256.000 - Rp320.000
150 PK	120 kW / 150 kVA	Solar	24 - 30 L	Rp384.000 - Rp480.000
200 PK	160 kW / 200 kVA	Solar	32 - 40 L	Rp 512.000 - Rp 640.000

Keterangan:

1. Daya Listrik (kW/kVA) → Daya listrik yang dihasilkan oleh genset (1 kVA ≈ 0,8 kW untuk PF 0,8).
 2. Jenis Bahan Bakar → Genset kecil biasanya menggunakan bensin, sementara genset besar menggunakan solar (diesel).
 3. Konsumsi Bahan Bakar per Jam → Rata-rata konsumsi berdasarkan beban 75-100% dari kapasitas genset.
 4. Biaya Operasional per Jam → Estimasi biaya berdasarkan harga bahan bakar:
 - o Bensin: Rp15.000 per liter
 - o Solar Industri: Rp16.000 per liter (harga dapat bervariasi)
- ❖ Catatan: Konsumsi bahan bakar dapat berbeda bergantung pada efisiensi mesin, beban yang digunakan, dan kondisi operasional.

e. Kunci Jawaban Aktivitas 4.5 Perancangan Sistem Elektrik Hibrida

1. Daftar peralatan yang dibutuhkan seperti berikut.

Tabel 4.20 Daftar Kebutuhan Peralatan

No	Nama Peralatan	Spesifikasi	Jumlah	Perkiraan Harga (Rp)	Total (Rp)
1	Panel Surya (Solar PV)	450 Wp, Monocrystalline	7 unit	3.500.000	24.500.000
2	Mounting Bracket	Bracket untuk 7 panel	1 set	2.000.000	2.000.000
3	MC4 Connector	Konektor panel surya	7 pasang	50.000	350.000
4	Solar Cable	Kabel DC 4 mm ² – 6 mm ²	50 meter	20.000/m	1.000.000
5	Wind Turbine	1.500 W, 48 V	1 unit	12.000.000	12.000.000
6	Tiang Turbin	6-12 meter, besi galvanis	1 unit	5.000.000	5.000.000
7	Guy Wire & Anchor	Kabel baja + anchor	1 set	1.500.000	1.500.000
8	Wind Charge Controller	1.500 W, 48 V	1 unit	1.500.000	1.500.000
9	Kabel Power Wind Turbine	Kabel tahan cuaca 10 mm ² – 16 mm ²	30 meter	30.000/m	900.000
10	Baterai (Energy Storage)	48 V, 200 Ah (Lithium/AGM)	4 unit	12.000.000	48.000.000
11	Battery Management System (BMS)	Sesuai baterai	1 unit	2.500.000	2.500.000

No	Nama Peralatan	Spesifikasi	Jumlah	Perkiraan Harga (Rp)	Total (Rp)
12	Battery Enclosure	Rak besi tahan cuaca	1 unit	3.000.000	3.000.000
13	Solar Charge Controller	MPPT 60 A – 80 A	1 unit	2.500.000	2.500.000
14	Hibrida Inverter	5.000 W, 48 V	1 unit	10.000.000	10.000.000
15	DC Disconnect & Breaker	Pengaman sistem DC	1 set	1.500.000	1.500.000
16	AC Breaker & Fuse	Pengaman sistem AC	1 set	1.500.000	1.500.000
17	Distribution Box	MCCB, MCB, Fuse	1 unit	2.500.000	2.500.000
18	Kabel AC/DC	Kabel utama daya tinggi	50 meter	25.000/m	1.250.000
19	Grounding System	Rod & kabel grounding	1 set	1.000.000	1.000.000
20	Surge Protection Device (SPD)	Pelindung lonjakan tegangan	1 unit	1.500.000	1.500.000
21	Monitoring System	IoT-based monitoring atau display	1 unit	2.000.000	2.000.000
22	Multimeter & Clamp Meter	Alat ukur tegangan & arus	1 unit	750.000	750.000
23	Crimping Tool & Terminal Lug	Untuk koneksi kabel	1 set	500.000	500.000
24	Insulation Tape & Cable Ties	Untuk perapihan	1 set	200.000	200.000
25	Lightning Arrester	Pelindung dari petir	1 unit	1.500.000	1.500.000

Total Perkiraan Biaya: ± 124.450.000 IDR

Catatan:

- Harga dapat bervariasi bergantung pada merek dan pemasok.
- Dapat dikurangi/ditambah sesuai dengan spesifikasi kebutuhan di lapangan.
- Untuk efisiensi biaya, beberapa komponen dapat didesain ulang atau dikustomisasi.

2. Sistem Kerja Berdasarkan Gambar

Sistem energi hibrida yang menggabungkan PLTS, turbin angin, dan penyimpan energi (*energy storage*) bekerja dengan memanfaatkan sumber daya alam secara optimal untuk menghasilkan listrik yang stabil. Panel surya (PLTS) berfungsi sebagai sumber utama di siang hari, mengubah sinar matahari menjadi listrik DC yang kemudian diatur oleh *solar charge controller* sebelum disimpan di baterai atau langsung digunakan oleh beban.

Turbin angin berperan sebagai sumber energi tambahan, terutama saat angin cukup kencang, dan listrik yang dihasilkan dikonversi melalui wind charge controller agar dapat digunakan atau disimpan dalam baterai.

Penyimpanan energi dilakukan menggunakan baterai lithium/AGM 48 V, yang memastikan pasokan listrik tetap tersedia saat sinar matahari tidak ada atau angin tidak cukup. Inverter hibrida 5.000 W berfungsi mengubah daya DC dari baterai menjadi listrik AC 220 V yang dapat digunakan untuk kebutuhan rumah tangga atau industri kecil. Sistem ini juga memiliki prioritas sumber energi, di mana pada siang hari, listrik langsung digunakan dari PLTS dan wind turbine. Sementara, malam hari atau saat energi dari PLTS dan turbin kurang, baterai menjadi sumber utama. Jika semua sumber daya tidak mencukupi, sistem dapat dikombinasikan dengan genset sebagai cadangan.

Untuk keamanan, sistem ini dilengkapi dengan Surge Protection Device (SPD) untuk mencegah lonjakan tegangan, serta grounding system guna melindungi dari bahaya listrik dan petir. *Distribution box* dengan MCB dan MCCB memastikan distribusi listrik aman dan terkendali. Selain itu, sistem monitoring berbasis IoT atau displai fisik memungkinkan pengguna memantau kinerja sistem secara real-time. Dengan kombinasi ini, sistem energi hibrida mampu menghadirkan listrik yang lebih stabil, hemat biaya jangka panjang, serta ramah lingkungan, menjadikannya solusi ideal untuk daerah yang belum terjangkau jaringan listrik PLN.

3. Contoh ide: Proposal berkaitan dengan pembangunan energi hibrida, dapat dipadukan dengan materi Bahasa Indonesia pada pembuatan proposal kegiatan, kemudian dilampirkan RAB (rencana anggaran biaya) seperti pada tabel 3.X.

f. Kunci Jawaban Aktivitas 4.6

Ada beberapa langkah yang harus dilakukan untuk menghitung kapasitas sumber energi.

1. Perhitungan Kapasitas PLTS (Panel Surya)

Asumsi:

- Lokasi mendapatkan 5 jam penyinaran efektif per hari.
- Efisiensi sistem sekitar 80% untuk memperhitungkan rugi-rugi daya.

Daya panel surya yang dibutuhkan:

$$\frac{20.000 \text{ W} \times 24 \text{ jam}}{5 \text{ jam} \times 0,8} = 120.000 \text{ Wp}$$

Dengan menggunakan panel surya 450 Wp:

$$\frac{120.000}{450} \approx 267 \text{ unit}$$

Jumlah panel surya yang dibutuhkan: ± 270 unit

2. Perhitungan Kapasitas Turbin Angin (PLTB)

Asumsi:

- Kecepatan angin rata-rata cukup baik untuk menghasilkan listrik sekitar 8 jam per hari.
- Turbin angin digunakan sebagai pelengkap PLTS untuk membantu mengisi daya baterai dan menyuplai listrik langsung ke beban.
- Target kontribusi PLTB: 30% dari total kebutuhan daya (~6.000 W).

Daya turbin angin yang dibutuhkan: $\frac{6.000 \times 24}{8 \times 0,8} = 22,500 \text{ W}$

Jika menggunakan turbin angin 5.000 W per unit:

$$\frac{22.500}{5.000} = 4,5 \text{ unit} \Rightarrow 5 \text{ unit}$$

Jumlah turbin angin yang dibutuhkan: 5 unit (5.000W per unit)

3. Perhitungan Kapasitas Baterai

Asumsi:

- Baterai digunakan untuk menyuplai daya selama 12 jam tanpa suplai dari PLTS atau PLTB.
- Efisiensi baterai sekitar 90%.
- Sistem menggunakan tegangan 48 V untuk baterai.

Energi yang perlu disimpan:

$$2.000 \times 12 = 240.000 \text{ Wh} = 240 \text{ kWh}$$

Kapasitas baterai dalam Ah:

$$\frac{240.000}{48 \times 0,9} \approx 5,556 \text{ Ah}$$

Jika menggunakan baterai lithium 48 V, 200 Ah per unit:

$$\frac{5.556}{200} \approx 28 \text{ unit}$$

Jumlah baterai yang dibutuhkan: ± 28 unit (48 V, 200 Ah per unit)

Tabel 4.21 Ringkasan Kapasitas yang Dibutuhkan

Komponen	Spesifikasi	Jumlah
Panel Surya	450 Wp	± 270 unit
Turbin Angin	5.000 W	5 unit
Baterai	48 V, 200 Ah	± 28 unit

Komponen	Spesifikasi	Jumlah
Hibrida Inverter	20.000 W, 48 V	1 unit
Charge Controller (MPPT)	300 A (sesuai total daya panel)	1 unit

Kesimpulan

Sistem ini memadukan PLTS sebagai sumber utama, PLTB sebagai pelengkap, dan baterai sebagai penyimpanan energi untuk memastikan pasokan listrik tetap tersedia. Dengan kapasitas ini, SMK di daerah terpencil dapat memperoleh listrik yang stabil dan andal sepanjang hari.

g. Kunci Jawaban Aktivitas 4.7

Mendeskripsikan Gambar Kerja Energi Hibrida dengan Solis S6 Inverter

Inverter Solis S6 dalam sistem hibrida PLTS + PLN + Genset bekerja dengan mengutamakan panel surya sebagai sumber daya utama. Saat sinar matahari cukup, listrik dari PLTS digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban, dan kelebihan daya dapat diekspor ke jaringan PLN jika sistem mendukung net metering. Jika produksi PLTS tidak mencukupi, inverter secara otomatis mengambil daya dari PLN untuk melengkapi kebutuhan. Saat terjadi pemadaman PLN, inverter dapat mengaktifkan genset melalui Automatic Transfer Switch (ATS) atau, jika dilengkapi baterai, akan mengambil daya dari baterai sebelum menggunakan genset.

Solis S6 mendukung sistem monitoring berbasis Solis Cloud, yang memungkinkan pemantauan kinerja inverter secara *real-time* melalui internet. Dengan konektivitas berbasis Wi-Fi atau Ethernet, pengguna dapat melihat data produksi energi, konsumsi, serta status sistem melalui aplikasi atau web platform. Selain itu, inverter ini memiliki fitur Bluetooth, yang memungkinkan komunikasi langsung dengan aplikasi Solis tanpa perlu koneksi internet, memudahkan konfigurasi dan troubleshooting di lapangan.

Untuk komunikasi dan integrasi ke sistem otomasi, RS485 digunakan sebagai protokol standar untuk menghubungkan inverter dengan perangkat monitoring eksternal atau sistem manajemen energi (EMS). RS485 memungkinkan inverter berkomunikasi dengan perangkat lain dalam jarak jauh dengan stabilitas tinggi. Dengan kombinasi teknologi ini, Solis S6 memastikan efisiensi, keandalan, dan kemudahan pemantauan dalam sistem energi hibrida, sehingga pengguna dapat mengelola sumber daya listrik dengan optimal.

h. Kunci Jawaban Aktivitas 4.8

Komponen energi terbarukan yang memiliki sistem mekanik dan tidak memiliki sistem mekanik.

Tabel 4.22 Komponen yang Memiliki Sistem Mekanik

No.	Komponen	Fungsi
1	Turbin angin (Savonius, Darrieus, Horizontal Axis Wind Turbine/HAWT)	Mengubah energi angin menjadi energi mekanik, lalu listrik melalui generator.
2	Generator listrik (PMG, alternator)	Mengubah energi mekanik dari turbin menjadi listrik.
3	Pompa air tenaga angin	Menggunakan energi angin untuk memompa air.
4	Micro hydro turbin	Menggunakan aliran air untuk memutar turbin dan menghasilkan listrik.
5	Tracking system pada panel surya	Sistem mekanik yang mengikuti pergerakan matahari untuk meningkatkan efisiensi panel surya.

Tabel 4.23 Komponen yang Tidak Memiliki Sistem Mekanik

No.	Komponen	Fungsi
1	Panel surya (fotovoltaik/PV)	Mengubah energi matahari langsung menjadi listrik tanpa bagian mekanik bergerak.
2	Baterai penyimpanan energi (Lithium-ion, Lead-acid, dll.)	Menyimpan energi listrik untuk digunakan nanti.
3	Inverter	Mengubah arus searah (DC) dari panel surya atau baterai menjadi arus bolak-balik (AC).
4	Pengatur beban (<i>controller</i>)	Mengatur distribusi daya dari sumber energi terbarukan ke beban atau penyimpanan.
5	Elektroliser (untuk hidrogen hijau)	Menggunakan listrik untuk memisahkan air menjadi hidrogen dan oksigen tanpa mekanik.

Tabel 4.24 Contoh Informasi Harga Sewa Alat Bantu Angkat Area Jawa Timur

Nama Pemilik Usaha	Nama Peralatan	Spesifikasi	Harga Sewa
PT. ASA	Excavator, Vibro, Bulldozer, Wales, Mobil Crane, Forklift, Compressor	Berbagai kapasitas dan spesifikasi	Harian, mingguan, bulanan
PT. Yanee Sukses Bersama	Alat-alat konstruksi	Spesifikasi beragam	Informasi tidak tersedia
PT. Surya Trias Gemilang	Scissor Lift, Boom Lift, Truck Crane, Sky Lift, Forklift, Crane	Spesifikasi beragam	Informasi tidak tersedia

Nama Pemilik Usaha	Nama Peralatan	Spesifikasi	Harga Sewa
PT. Karya Perkasa Abadi	Excavator, Breaker, Bulldozer, Mobile Crane, Vibro Roller, Lift Barang, Self Loader, Truck Molen, Bar Bending, Wheel Loader	Spesifikasi beragam	Harga kompetitif
Riska Jaya Bangsereh	Excavator, Bulldozer, Crane, Dump Truck	Spesifikasi beragam	Harga terjangkau
Sinergi Forklift	Forklift	Kapasitas angkat hingga 6 meter	Informasi tidak tersedia

Penjelasan Gambar 4.42.

1. Gambar ini menunjukkan proses pemasangan atau perbaikan kincir angin di daerah persawahan.
2. Sebuah *crane* berwarna kuning digunakan untuk mengangkat dan menyesuaikan posisi kincir angin besar yang terpasang pada menara baja.
3. Beberapa pekerja dengan alat pelindung seperti helm keselamatan terlihat mengawasi dan mengarahkan proses ini.
4. Fondasi beton di bawah menara kincir angin menunjukkan bahwa struktur ini dirancang agar kuat dan tahan terhadap beban angin.
5. Kincir angin dalam gambar tampaknya digunakan untuk keperluan pembangkit listrik atau sistem pemompaan air untuk irigasi.
6. Di sekitar lokasi, terlihat genset dan peralatan lain yang kemungkinan digunakan untuk mendukung proses instalasi.
7. Lokasi yang berada di lahan pertanian menandakan bahwa teknologi energi terbarukan ini berkontribusi pada kebutuhan masyarakat sekitar, seperti penyediaan listrik atau air bagi petani

i. Kunci Jawaban Aktivitas 4.9

1. Peran Komponen dalam Instalasi Sistem Energi Hibrida Melibatkan Panel Surya, Turbin Angin, Baterai, dan Generator

Dalam sistem energi hibrida yang terdiri atas panel surya, turbin angin, baterai, dan generator set, setiap komponen memiliki peran penting dalam memastikan suplai listrik yang stabil. Berikut ini peran setiap komponen dan interaksinya dalam berbagai kondisi operasi.

Tabel 4.25 Peran Komponen dalam Instalasi Sistem Energi Hibrida

No.	Komponen	Peran
1	Panel Surya (PLTS)	<ul style="list-style-type: none"> o Mengonversi energi matahari menjadi listrik (DC). o Beroperasi optimal pada siang hari dan saat cuaca cerah. o Memasok daya langsung ke beban atau menyimpan ke baterai.
2	Turbin Angin (PLTB)	<ul style="list-style-type: none"> o Mengonversi energi angin menjadi listrik. o Beroperasi sepanjang waktu jika ada angin yang cukup. o Dapat mengisi baterai atau langsung memasok daya ke beban.
3	Baterai	<ul style="list-style-type: none"> o Menyimpan energi dari panel surya dan turbin angin. o Memasok listrik saat sumber utama (PLTS dan PLTB) tidak cukup. o Berfungsi sebagai cadangan untuk menghindari gangguan daya.
4	Generator Set (Genset)	<ul style="list-style-type: none"> o Sumber daya cadangan berbasis bahan bakar fosil. o Digunakan saat daya dari PLTS, PLTB, dan baterai tidak mencukupi. o Diaktifkan secara otomatis/manual jika diperlukan

Tabel 4.26 Interaksi dalam Kondisi Operasi yang Berbeda

No.	Komponen	Peran
1	Beban Rendah (Konsumsi Daya Kecil)	<ul style="list-style-type: none"> • PLTS dan PLTB bekerja optimal, daya yang dihasilkan cukup untuk beban. • Kelebihan daya disimpan di baterai untuk digunakan nanti. • Genset tidak beroperasi, karena kebutuhan listrik tercukupi dari energi terbarukan.
2	Beban Tinggi (Konsumsi Daya Besar)	<ul style="list-style-type: none"> • PLTS dan PLTB tetap bekerja maksimal, tetapi mungkin tidak cukup untuk memenuhi beban. • Baterai akan menyuplai tambahan daya jika kapasitasnya mencukupi. • Jika daya dari baterai juga tidak cukup, genset otomatis menyala untuk menutupi kekurangan daya.
3	Kegagalan Satu Komponen	<ul style="list-style-type: none"> • Jika PLTS gagal (misalnya karena cuaca mendung), PLTB dan baterai akan menyuplai daya. Jika masih kurang, genset akan menyala. • Jika PLTB gagal (misalnya karena angin lemah), PLTS dan baterai menjadi sumber utama, dengan genset sebagai cadangan.

No.	Komponen	Peran
		<ul style="list-style-type: none"> • Jika baterai habis atau rusak, beban akan langsung bergantung pada PLTS dan PLTB; jika tidak cukup, genset akan digunakan. • Jika genset gagal, sistem bergantung sepenuhnya pada energi terbarukan dan baterai; pengelolaan daya harus lebih efisien untuk menghindari pemadaman.

Kesimpulan:

Sistem energi hibrida ini dirancang untuk mengoptimalkan sumber energi terbarukan dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Baterai berfungsi sebagai penyeimbang, sementara genset hanya digunakan dalam kondisi darurat. Manajemen daya dan kontrol otomatis sangat penting untuk memastikan efisiensi dan keandalan sistem.

2. Cara Kerja Inverter

a. Peran Inverter dalam Sistem Energi Hibrida

Berikut dan fungsi inverter hibrida dalam sistem energi hibrida:

- Mengubah daya DC dari panel surya dan baterai menjadi daya AC
- Mengelola sistem baterai
- Memfasilitasi interaksi jaringan
- Memasok daya cadangan selama gangguan jaringan energi
- Memasok daya dari baterai selama periode sinar matahari tidak mencukupi atau permintaan meningkat
- Memasukkan sumber energi terbarukan ke dalam jaringan utilitas yang ada
- Membangun sistem daya mandiri yang tidak terhubung ke jaringan utilitas

b. Cara Kerja Inverter Terintegrasi dengan Komponen Lain

Tabel 4.27 Cara Kerja Inverter Terintegrasi dengan Komponen Lain

No.	Komponen	Peran
1	Pengontrol Pengisian Daya (<i>Charger Controller</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Fungsi <i>charger controller</i> ialah mengatur aliran daya dari PLTS dan PLTB ke baterai untuk mencegah <i>overcharging</i> atau <i>over-discharging</i>. • Inverter mengambil daya dari baterai dan mengubahnya menjadi AC untuk memasok beban listrik. • Jika daya dari PLTS atau PLTB cukup besar, inverter dapat langsung menggunakan daya tersebut tanpa harus mengambil dari baterai. • Ketika baterai hampir habis, inverter akan meminta daya tambahan dari sumber lain seperti genset atau jaringan listrik jika tersedia.

No.	Komponen	Peran
2	Automatic Transfer Switch (ATS)	<ul style="list-style-type: none"> • ATS ialah saklar otomatis yang mengalihkan sumber listrik antara energi terbarukan (PLTS/PLTB), baterai, dan genset berdasarkan kondisi daya. • Jika daya dari PLTS dan baterai tidak cukup, ATS akan mengaktifkan genset dan inverter akan mengambil daya dari genset untuk mengonversinya ke AC. • Saat daya dari PLTS/PLTB kembali normal, ATS akan otomatis memutus genset dan kembali menggunakan energi terbarukan. • Proses <i>switching</i> ini dilakukan tanpa gangguan daya (jika menggunakan inverter tipe UPS atau hibrida inverter).

Tabel 4.28 Cara Inverter Menangani Kondisi Beban yang Berbeda dan Pergantian Sumber Daya

No.	Komponen	Peran
1	Saat Beban Rendah	<ul style="list-style-type: none"> • Jika daya yang dibutuhkan kecil, inverter hanya menggunakan daya dari PLTS/PLTB atau baterai. • Jika daya dari PLTS lebih dari cukup, kelebihan energi digunakan untuk mengisi baterai.
2	Saat Beban Tinggi	<ul style="list-style-type: none"> • Jika daya dari PLTS/PLTB tidak cukup, inverter akan menarik daya tambahan dari baterai. • Jika beban masih tinggi dan baterai hampir habis, inverter akan mengaktifkan ATS untuk menyalakan genset sebagai sumber daya cadangan.
3	Saat Salah Satu Sumber Gagal	<ul style="list-style-type: none"> • Jika PLTS/PLTB tidak menghasilkan daya (misalnya malam hari atau tanpa angin), inverter akan beralih ke baterai. • Jika baterai hampir habis, inverter akan memerintahkan ATS untuk mengaktifkan genset. • Jika genset juga gagal, sistem akan mematikan beban non-prioritas untuk menghemat energi.

Kesimpulan

Inverter dalam sistem energi hibrida berfungsi sebagai jantung sistem yang mengelola distribusi daya, mengonversi DC ke AC, dan berkoordinasi dengan *charger controller* dan ATS. Kemampuannya untuk menangani perubahan beban dan *switching* otomatis memastikan suplai listrik tetap stabil, efisien, dan meminimalkan penggunaan genset.

3. Laporan Merancang dan Memasang Sistem Energi Hibrida

LAPORAN PERANCANGAN SISTEM ENERGI HIBRIDA UNTUK DESA TERPENCIL

o Pendahuluan

Desa yang terletak di daerah terpencil ini tidak terhubung dengan jaringan listrik nasional (PLN) dan membutuhkan sumber energi yang andal dan berkelanjutan. Potensi energi surya dan angin yang tinggi di daerah tersebut memungkinkan pemanfaatan sistem energi hibrida yang menggabungkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), dan baterai sebagai penyimpanan energi. Sistem ini juga akan dilengkapi dengan generator set sebagai cadangan untuk memastikan suplai listrik yang stabil dengan kapasitas total 30.000 watt.

o Komponen dan Peralatan yang Dibutuhkan

Untuk membangun sistem energi hibrida ini, diperlukan beberapa komponen utama sebagai berikut.

A. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

1. Panel Surya: 450 Wp x 70 unit (total daya 31.500 Wp)
2. Inverter Surya: 30 kW, hibrida inverter dengan MPPT
3. Solar Charge Controller: MPPT, kapasitas sesuai daya panel
4. Mounting System: Struktur pemasangan panel surya
5. Kabel PV: Sesuai kebutuhan daya dan jarak instalasi

B. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

1. Turbin Angin: 3 unit, masing-masing berkapasitas 5 kW (total 15 kW)
2. Menara Turbin: Struktur baja setinggi 12–15 meter
3. Charge Controller Angin: Kapasitas sesuai spesifikasi turbin
4. Kabel dan Sistem Grounding

C. Sistem Penyimpanan Energi (Baterai)

1. Baterai LiFePO₄ atau VRLA: Kapasitas total 100 kWh
2. Battery Management System (BMS): Untuk pengelolaan daya baterai
3. Rangkaian Proteksi: Circuit breaker, fuse, dan disconnect switch

D. Generator Set (Cadangan)

1. Genset Diesel: 30 kVA sebagai sumber daya cadangan
2. Automatic Transfer Switch (ATS): Untuk perpindahan daya otomatis ke genset
3. Tangki Bahan Bakar dan Sistem Eksos

- E. Sistem Distribusi dan Monitoring
1. Panel Distribusi Listrik (MDB & SDB): Untuk pengelolaan daya ke beban
 2. Smart Energy Meter: Untuk pemantauan konsumsi daya
 3. SCADA atau IoT Monitoring System: Untuk kontrol jarak jauh
 4. Kabel Distribusi dan Proteksi: Sesuai standar keamanan listrik
- o Prinsip Kerja Sistem
- a) Pada siang hari, panel surya akan menghasilkan listrik yang digunakan langsung oleh beban, sementara kelebihan daya disimpan dalam baterai.
 - b) Pada malam hari atau saat angin cukup, turbin angin akan menghasilkan listrik untuk memenuhi kebutuhan beban dan mengisi baterai.
 - c) Jika energi dari PLTS dan PLTB tidak mencukupi, maka baterai akan menyuplai daya.
 - d) Jika baterai hampir habis, ATS akan mengaktifkan genset untuk memastikan suplai daya tetap stabil.
 - e) Sistem ini akan dikelola oleh kontrol otomatis dan pemantauan berbasis IoT agar lebih efisien.
- o Kesimpulan
- Sistem energi hibrida ini dirancang untuk memastikan suplai listrik yang stabil, ramah lingkungan, dan berkelanjutan bagi desa terpencil. Dengan kombinasi PLTS, PLTB, baterai, dan genset cadangan, sistem ini dapat menyediakan daya yang andal tanpa ketergantungan pada jaringan PLN. Diharapkan, implementasi sistem ini dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat dengan akses energi yang lebih baik.

2. Kunci Jawaban Uji Kompetensi

1. Jika sistem energi hibrida mengalami kerusakan akibat badai di daerah terpencil, saya akan melakukan *troubleshooting* dan perbaikan sementara dengan langkah-langkah berikut.
 - a. Evaluasi dan Identifikasi Kerusakan
 - Inspeksi Visual: Periksa semua sistem untuk melihat adanya kabel putus, sambungan longgar, panel surya atau turbin rusak, serta komponen yang terbakar atau meleleh.
 - Cek Log Kesalahan (jika ada): Periksa kontroler atau inverter untuk kode error yang dapat memberikan petunjuk tentang masalah.
 - Uji Komponen Satu per Satu: Gunakan alat ukur untuk menguji bagian-bagian utama sistem.

b. Alat yang Dibutuhkan

- Multimeter: Mengukur tegangan, arus, dan resistansi untuk memastikan koneksi berfungsi.
- Clamp Meter: Mengukur arus listrik tanpa memutus jalur.
- Kunci Pas dan Obeng: Untuk membuka dan mengganti komponen.
- Isolasi Listrik dan Konektor Kabel: Untuk memperbaiki sambungan yang rusak.
- Laptop/Handheld Device: Jika sistem menggunakan monitoring digital, perangkat ini berguna untuk membaca status dan error.

c. Langkah Perbaikan Sementara

1) Panel Surya (PLTS)

- Jika ada panel pecah, isolasi dari sistem agar tidak menyebabkan korsleting.
- Periksa konektor MC4 dan jalur kabel, sambungkan ulang jika perlu.
- Jika hanya sebagian panel yang rusak, ubah konfigurasi seri-paralel untuk mempertahankan daya maksimal.

2) Turbin Angin (PLTB)

- Periksa bilah turbin apakah ada yang patah atau longgar. Jika ada kerusakan minor, perbaiki sementara dengan perekat epoxy atau penguatan mekanis.
- Pastikan generator masih berfungsi dengan memeriksa keluaran tegangan.
- Periksa rectifier dan pengontrol tegangan.

3) Kontroler & Inverter

- Periksa apakah ada komponen yang terbakar atau meleleh.
- Jika inverter mati, coba restart atau bypass untuk sementara dengan sistem DC langsung ke baterai jika memungkinkan.
- Periksa kapasitor dan fuse, gantikan dengan cadangan jika ada.

4) Baterai dan Sistem Penyimpanan

- Periksa tegangan tiap sel baterai, pastikan tidak ada yang terlalu rendah (<10V untuk baterai 12V).
- Pastikan konektor dan terminal tidak berkarat atau longgar.
- Jika ada sel baterai yang mati, lakukan re-konfigurasi untuk mengoptimalkan yang masih berfungsi.

d. Monitoring dan Manajemen Energi

- Jika daya yang tersedia menurun, atur prioritas beban (misalnya hanya untuk pencahayaan dan komunikasi).

- Jika genset ada, gunakan sebagai cadangan sementara.
- Berikan pelatihan singkat kepada penduduk setempat untuk pemantauan mandiri. Dengan langkah-langkah ini, sistem dapat tetap beroperasi sementara hingga komponen pengganti tiba.

2. Perancangan Sistem Energi Hibrida untuk Rumah Tangga di Daerah Pantai

Rumah tangga ini memiliki konsumsi listrik tinggi, terutama untuk pendingin ruangan (AC) sebesar 10.000 watt. Untuk merancang sistem energi hibrida yang optimal, kita akan mempertimbangkan hal-hal berikut.

o Kondisi Lingkungan

- Daerah Pantai biasanya memiliki intensitas sinar matahari tinggi sepanjang tahun.
- Kecepatan angin cenderung cukup tinggi, terutama di malam hari.
- Kelembaban dan korosi perlu diperhitungkan dalam pemilihan material.

o Estimasi Kebutuhan Energi

- Asumsi rumah menggunakan 10.000 watt (10 kW) selama 12 jam/hari untuk AC dan perangkat lainnya.
- Total kebutuhan energi per hari: $10 \text{ kW} \times 12 \text{ jam} = 120 \text{ kWh}$
- Sistem harus mampu memasok daya ini dengan kombinasi PLTS (Panel Surya), PLTB (Turbin Angin), dan Baterai sebagai penyimpanan energi.

Komponen Sistem Hibrida yang Direkomendasikan

1. Panel Surya (PLTS)

- Daerah pantai memiliki sinar matahari tinggi, cocok untuk PLTS sebagai sumber utama.
- Asumsi intensitas matahari efektif 5 jam/hari.
- Daya panel yang dibutuhkan

$$\frac{120 \text{ kWh}}{5 \text{ jam}} = 24 \text{ kW}$$

Gunakan panel surya 450 Wp. Maka, jumlah panel:

$$\frac{24.000 \text{ W}}{450 \text{ Wp}} = 54 \text{ panel}$$

- Konfigurasi: Panel dipasang dengan rangka tahan korosi (aluminium atau stainless steel).

2. Turbin Angin (PLTB)

- Pantai sering memiliki kecepatan angin 4-8 m/s, cukup untuk turbin angin skala kecil-menengah.
- Tambahkan turbin 5 kW × 2 unit untuk suplai tambahan di malam hari.

3. Sistem Penyimpanan Energi (Baterai)

- Gunakan baterai untuk menyimpan energi cadangan pada malam hari atau saat sinar matahari kurang.
- Jika ingin menyimpan 50% dari kebutuhan harian (60 kWh), gunakan baterai LiFePO₄ 48 V 200 Ah : $60 \text{ kWh} \div 48 \text{ V} = 1250 \text{ Ah}$
- Gunakan 10 unit baterai 48 V 200 Ah untuk cadangan daya yang cukup.

4. Inverter dan Kontroler

- Inverter hibrida 30 kW untuk menangani kebutuhan daya puncak.
- MPPT Charge Controller untuk mengoptimalkan pengisian baterai.

5. Backup Genset

- Gunakan genset 15 kW sebagai cadangan jika ada gangguan pada sistem utama.

Tabel 4.29 Backup Genset

Komponen	Spesifikasi	Jumlah	Perkiraan Harga
Panel Surya	450 Wp	54 unit	Rp270 juta
Turbin Angin	5 kW	2 unit	Rp100 juta
Baterai LiFePO ₄	48V 200Ah	10 unit	Rp300 juta
Inverter Hybrid	30 kW	1 unit	Rp50 juta
Charge Controller	MPPT	2 unit	Rp10 juta
Genset	15 kW	1 unit	Rp30 juta
Total			Rp760 juta

Keunggulan Sistem Ini

- Memanfaatkan sinar matahari dan angin secara maksimal.
- Sistem penyimpanan energi yang cukup untuk malam hari.
- Daya mencukupi untuk kebutuhan tinggi (AC, elektronik, dll.).
- Dapat diintegrasikan dengan jaringan PLN jika tersedia.

3. Mengintegrasikan Sistem Energi Hibrida dengan Sistem Manajemen Energi Cerdas
- Integrasi Sistem Energi Hibrida (PLTS + PLTB + Baterai + Genset) dengan Sistem Manajemen Energi Cerdas (*Smart Energy Management System* (SEMS)) akan memungkinkan pemantauan, pengendalian, dan optimasi penggunaan energi secara real-time.

Tabel 4.30 Arsitektur Sistem SEMS

No.	Komponen	Keterangan
1	Sensor & Metering	<ul style="list-style-type: none"> o <i>Smart meter</i> untuk memantau konsumsi daya rumah tangga. o Sensor suhu, kelembaban, dan cuaca untuk memperkirakan produksi energi dari PLTS & PLTB. o Sensor arus dan tegangan untuk memantau kondisi baterai dan inverter
2	Unit Kontrol (<i>Energy Management Controller</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan mikrokontroler atau PLC untuk otomatisasi keputusan. • Menghubungkan semua sumber daya (PLTS, PLTB, baterai, genset) dan beban listrik rumah.
3	Sistem AI & Algoritma Optimasi	<ul style="list-style-type: none"> • AI & Machine Learning untuk menganalisis pola konsumsi energi dan memprediksi kebutuhan daya. • Demand Response untuk mengatur konsumsi daya berdasarkan ketersediaan energi terbarukan
4	Aplikasi dan Dashboard Pemantauan	<ul style="list-style-type: none"> • Pemilik rumah dapat memantau dan mengontrol sistem melalui smartphone atau komputer. • Dapat terhubung ke cloud untuk pemeliharaan prediktif dan laporan efisiensi energi

Tabel 4.31 Manfaat Integrasi SEMS

No.	Manfaat	Keterangan
1	Optimalisasi Penggunaan Energi	<ul style="list-style-type: none"> • Mengalihkan konsumsi listrik ke waktu ketika energi surya atau angin sedang tinggi. • Menurunkan beban inverter saat baterai hampir habis.

No.	Manfaat	Keterangan
2	Efisiensi Biaya Operasional	<ul style="list-style-type: none"> Mengurangi pemakaian genset (hemat bahan bakar). Mencegah pemborosan daya dari baterai dengan pengisian dan pelepasan yang lebih terjadwal.
3	Meningkatkan Umur Baterai	<ul style="list-style-type: none"> Algoritma cerdas akan menghindari <i>overcharge</i> atau <i>over-discharge</i>. Mengatur arus pengisian baterai berdasarkan kondisi cuaca dan konsumsi daya.
4	Pemantauan & Otomasi	<ul style="list-style-type: none"> Pemilik rumah bisa melihat konsumsi listrik & produksi energi langsung dari aplikasi. Otomatis mengalihkan sumber daya sesuai kondisi terbaik (misal: pindah ke PLTS saat siang, PLTB saat malam).

Tabel 4.32 Tantangan dan Cara Mengatasinya

No.	Tantangan	Solusi
1	Kompleksitas Sistem & Biaya Awal Tinggi	Gunakan SEMS modular yang dapat ditingkatkan secara bertahap
2	Konektivitas dan Keamanan Data	<ul style="list-style-type: none"> Pastikan sistem memiliki mode offline agar tetap bisa berfungsi tanpa internet. Tambahkan <i>cybersecurity</i> untuk melindungi data pemilik rumah
3	Kesesuaian dengan Perangkat yang Ada	Gunakan protokol komunikasi standar (Modbus, MQTT, Zigbee, atau Wi-Fi) agar sistem SEMS kompatibel dengan berbagai perangkat energi terbarukan

Tabel 4.33 Contoh Implementasi *Smart Energy Management*

No.	Kondisi	Keterangan
1	Siang Hari (Matahari Kuat) ☀️	<ul style="list-style-type: none"> SEMS mengutamakan PLTS untuk suplai listrik rumah dan pengisian baterai. Beban berat (AC, pompa air) dinyalakan saat daya PLTS tinggi. Jika produksi berlebih, daya dialihkan ke pemanas air atau dikirim ke jaringan PLN (jika <i>grid-tied</i>)
2	Malam Hari (Angin Kuat, Matahari Tidak Ada) 🌙🌬️	<ul style="list-style-type: none"> SEMS mengutamakan PLTB dan Baterai sebagai sumber utama. Jika baterai hampir habis, SEMS akan mengaktifkan genset atau membatasi daya ke perangkat non-esensial
3	Kondisi Darurat (Cuaca Buruk, Energi Terbatas) ⚠️	<ul style="list-style-type: none"> SEMS mengurangi konsumsi daya dengan memprioritaskan beban penting (lampu, kulkas, perangkat komunikasi). Mengaktifkan genset jika perlu, tetapi dengan konsumsi bahan bakar minimal.

4. Edukasi dan Pelatihan Masyarakat dalam Pengoperasian dan Pemeliharaan Sistem Energi Hibrida

Setelah sistem energi hibrida (PLTS + PLTB + baterai + genset) dipasang di masyarakat, edukasi dan pelatihan sangat penting agar sistem dapat berjalan dengan optimal dan memiliki umur pakai yang panjang. Berikut strategi pelatihan yang dapat diterapkan.

a. Strategi Edukasi dan Pelatihan

1) Pendekatan Berbasis Komunitas

- Bentuk tim teknis lokal dari warga yang akan bertanggung jawab atas pemeliharaan harian.
- Libatkan tokoh masyarakat untuk meningkatkan kepercayaan warga terhadap sistem.

2) Pelatihan Bertahap

Tabel 4.34 Pelatihan Bertahap

No.	Tahapan Pelatihan	Tujuan	Materi	Metode
1	Pelatihan Dasar (Pengenalan Sistem)	Memahami komponen utama sistem energi hibrida dan cara kerjanya	<ul style="list-style-type: none"> • Bagaimana PLTS dan PLTB menghasilkan listrik. • Peran baterai dan inverter dalam sistem. • Cara membaca indikator daya dan status sistem. 	Simulasi langsung di lapangan + materi visual sederhana
2	Pelatihan Operasional Harian	Mengajarkan cara menggunakan sistem energi dengan efisien.	<ul style="list-style-type: none"> • Cara menyalakan dan memastikan sistem dengan benar. • Cara mengoptimalkan pemakaian energi, misalnya: <ul style="list-style-type: none"> ◆ Gunakan peralatan listrik berat saat siang hari (ketika PLTS optimal). ◆ Hemat energi saat cuaca mendung atau angin lemah. • Cara menggunakan aplikasi pemantauan sistem (jika tersedia). 	Demonstrasi langsung di rumah warga + panduan cetak
3	Pelatihan Pemeliharaan dan Troubleshooting Dasar	Masyarakat dapat melakukan perbaikan ringan tanpa menunggu teknisi luar.	<ul style="list-style-type: none"> • Pengecekan harian: Pastikan panel surya tidak tertutup debu atau kotoran. • Pengecekan mingguan: Periksa koneksi kabel, baut turbin angin, dan kapasitas baterai. • Solusi masalah sederhana: <ul style="list-style-type: none"> ◆ Apa yang harus dilakukan jika tegangan baterai turun drastis? ◆ Bagaimana cara memeriksa inverter jika mati? ◆ Apa yang harus dilakukan jika PLTB berhenti berputar? 	Latihan langsung dengan skenario kerusakan kecil

No.	Tahapan Pelatihan	Tujuan	Materi	Metode
4	Pelatihan Lanjutan untuk Tim Teknis Lokal	Melatih beberapa warga terpilih sebagai teknisi lokal	<ul style="list-style-type: none"> • Cara mengganti fuse, kabel putus, atau konektor MC4. • Cara memeriksa kapasitas baterai dengan multimeter. • Cara melakukan reset atau konfigurasi ulang inverter jika ada <i>error</i>. 	Workshop mendalam selama beberapa hari + sertifikat.

2. Pentingnya Partisipasi Masyarakat dalam Keberhasilan Proyek

Tabel 4.35 Keuntungan Partisipasi Masyarakat

No.	Keuntungan	Keterangan
1	Meningkatkan Keberlanjutan Proyek	Jika masyarakat paham sistemnya, mereka dapat menjaga dan merawat sendiri sehingga tidak bergantung pada teknisi luar.
2	Mengurangi Biaya Operasional dan Perbaikan	Dengan pemeliharaan rutin, kerusakan besar dapat dicegah, menghemat biaya perbaikan.
3	Meningkatkan Kesadaran dan Tanggung Jawab Energi	Masyarakat akan lebih sadar untuk menggunakan listrik dengan bijak, terutama saat sumber daya terbatas.
4	Menciptakan Lapangan Kerja Baru	Warga yang terlatih bisa menjadi teknisi energi terbarukan lokal, membuka peluang pekerjaan baru di komunitas mereka

3. Tantangan dan Solusi

Tabel 4.36 Tantangan dan Solusi

Tantangan	Solusi
Kurangnya pemahaman teknis warga.	Gunakan bahasa sederhana, ilustrasi visual, dan praktek langsung agar lebih mudah dipahami.
Kurangnya minat masyarakat.	Libatkan tokoh masyarakat dan tunjukkan manfaat nyata sistem bagi kehidupan mereka.
Kurangnya alat perawatan di desa.	Siapkan kit pemeliharaan sederhana (multimeter, obeng, sikat panel surya, dll.).
Kurangnya akses internet untuk monitoring.	Pastikan sistem memiliki mode offline, dengan tampilan status di layar inverter atau kontroler.

Kesimpulan

Melibatkan masyarakat dalam pengoperasian dan pemeliharaan sistem energi hibrida sangat krusial untuk keberlanjutan proyek. Pelatihan bertahap dan berbasis praktik langsung akan membuat warga lebih mandiri dalam menjaga sistem, menghemat biaya operasional, dan memastikan energi tetap tersedia dalam jangka panjang.

I. Refleksi

Refleksi terdiri atas dua refleksi, yakni refleksi peserta didik dan refleksi guru.

1. Refleksi Peserta didik

Refleksi pada Buku Siswa intinya berisi pertanyaan, ajakan, ulasan, persepsi, dan sejenisnya terkait manfaat yang dirasakan oleh peserta didik setelah mempelajari bab teknik energi surya. Oleh karena itu, guru dapat memberikan pertanyaan kunci yang membantu peserta didik untuk merefleksikan kegiatan pembelajaran, di antaranya dengan pertanyaan berikut.

- Apakah ada kendala yang kamu alami saat mempelajari materi ini?
- Apakah ada manfaat yang kamu peroleh setelah mempelajari materi ini?
- Apakah selama pembelajaran kamu mendapatkan keleluasaan dalam mengekspresikan kemampuan pengetahuan dan sikapmu?
- Berdasarkan materi yang kamu pelajari, bagian manakah yang paling kamu sukai? Mengapa?
- Apa manfaat yang kamu dapatkan setelah mempelajari materi ini untuk kehidupan sehari-hari?

2. Refleksi Guru

- Setelah memberikan materi Teknik Energi Surya, berilah tanda centang (✓) pada jawaban yang kamu anggap sesuai!

Materi	Bobot			
	1	2	3	4
Bagaimana keterlibatan peserta didik dalam proses pembelajaran?				
Apakah tujuan pembelajaran hari ini tercapai?				
Apakah kegiatan pembelajaran sudah sesuai target?				

Materi	Bobot			
	1	2	3	4
Apakah strategi/rencana pembelajaran berjalan dengan baik?				
Apakah metode pembelajaran yang digunakan cocok untuk materi ini?				
Bagaimana keterlibatan peserta didik dalam proses pembelajaran?				

Keterangan Bobot	1. Kurang
	2. Cukup
	3. Baik
	4. Sangat Baik

- b. Kesulitan-kesulitan apa saja yang dialami peserta didik yang ditemukan dalam proses pembelajaran?
- c. Apakah yang harus diperbaiki dan bagaimana cara memperbaiki proses pembelajaran?

J. Sumber Belajar

Al Kindhi, B., Aliffianto, L. R., Wicaksono, I. A., Farid, I. W., Adhim, F. I., Priambodo, J., Khothib, A. Al, Khatulistiwa, S. J., Prakoso, R. R., Brillianto, M. R., Nasrulloh, F. A. D., Ghiffari, M. I., Utama, H. F. S., & Pramudhita, A. S. Mesin Pengering Hasil Pertanian Bertenaga Hibrida dan Portabel pada Pemukiman Terpencil di Desa Broto, Kecamatan Slahung, Ponorogo, Jawa Timur. *Sewagati*, 8(3), 1549–1556. 2024. <https://doi.org/10.12962/j26139960.v8i3.807>

BPVP Aceh, B. SISTEM PV Hibrida DIESEL MATERI-ToT Solar hibrida. 2023.

Chen, H., Xu, Y., Liu, C., He, F., & Hu, S. Storing Energy in China—An Overview. *In Storing Energy* (pp. 509–527). Elsevier. 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803440-8.00024-5>

Elbaset, A. A., & Ata, S. Hibrida Renewable Energy Systems for Remote Telecommunication Stations. *In Hibrida Renewable Energy Systems for Remote Telecommunication Stations*. Springer International Publishing. 2021. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-66344-5>

- Hayes, B. P., Shrestha, A., Hayes, B., Biswakarma, R., Chapagain, A., Banjara, S., Aryal, S., Thapa, R., Mali, B., Papadakis, A., & Korba, P. (n.d.). Peer-to-peer energy trading in micro/mini-grids for local energy communities: a review and case study of the Nepalese electricity system. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34544.71684>
- Heywood, J. B. *Internal combustion engine fundamentals*. McGraw-Hill Book Company. 1988.
- Ikram, A. Techno-Economic Assessment of Pso Optimized Microgrid With Hydrogen Storage System. 2022. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11606.42565>
- Kunaifi. Desain Pembangkit Listrik Hibrida PLTS-Diesel untuk Meningkatkan Pelayanan Kesehatan di Puskesmas Kecamatan Gema Kabupaten Kampar. *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau*, 10(1). 2021.
- Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*. 2010.
- Murphy, C. A., Schleifer, A., & Eureka, K. A taxonomy of systems that combine utility-scale renewable energy and energy storage technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 139, 110711. 2021. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110711>

Glosarium

Alat Pelindung Diri (APD)	: perlengkapan keselamatan yang digunakan dalam pekerjaan teknik.
baterai	: penyimpan energi listrik yang dihasilkan dari panel surya.
bendung	: struktur untuk mengalirkan air dalam sistem hidro.
combiner box	: kotak yang menggabungkan output dari beberapa string panel surya.
debit air	: jumlah aliran air yang digunakan dalam PLTMH.
desain sistem PLTS	: rancangan teknis untuk pemasangan sistem PLTS.
distribusi listrik	: proses menyalurkan listrik dari sumber pembangkit ke pengguna akhir.
efek fotovoltaiik	: proses konversi cahaya menjadi listrik pada sel surya.
efisiensi energi	: tingkat efektivitas sistem dalam menghasilkan listrik.
efisiensi PLTMH	: tingkat kinerja pembangkit listrik tenaga mikrohidro.
generator	: alat yang mengubah energi mekanik menjadi listrik.
grid-tied	: sistem yang terhubung dengan jaringan listrik utama.
ground mounted	: panel surya yang dipasang di tanah.
head	: tinggi jatuh air yang digunakan untuk menghasilkan energi dalam PLTMH.
hibrida	: sistem pembangkit listrik yang menggunakan kombinasi energi terbarukan dan bahan bakar fosil.
inverter	: alat yang mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC).
intake	: sistem penyaluran air dari sungai ke pembangkit hidro.
K3	: kesehatan dan Keselamatan Kerja.
konstruksi PLTS	: struktur fisik yang mendukung instalasi panel surya.
modul surya	: panel yang terdiri atas sel surya yang digunakan dalam PLTS.
monitoring sistem	: pemantauan operasional sistem energi.
off-grid	: sistem mandiri yang tidak terhubung ke jaringan listrik.
pembangkit listrik tenaga hibrida	: sistem yang menggunakan kombinasi energi terbarukan seperti surya dan angin.
PJUTS	: penerangan Jalan Umum Tenaga Surya, sistem penerangan yang menggunakan energi matahari.

pipa pesat	: pipa yang membawa air bertekanan tinggi ke turbin dalam PLTMH.
potensi PLTS	: kemampuan suatu lokasi untuk menghasilkan energi dari matahari.
proteksi sistem	: alat yang melindungi sistem dari kerusakan atau gangguan.
rooftop	: panel surya yang dipasang di atap bangunan.
SCC	: <i>Solar Charge Controller</i> , alat yang mengatur pengisian daya baterai dari panel surya.
sel surya	: komponen yang mengonversi cahaya matahari menjadi listrik.
sistem elektrik PLTMH	: sistem kelistrikan yang menghubungkan turbin dan generator.
sistem monitoring PLTMH	: sistem untuk mengawasi operasional pembangkit listrik tenaga hidro.
sistem proteksi	: alat yang melindungi sistem dari gangguan.
transmisi mekanik	: sistem yang mentransfer tenaga dari turbin atau generator ke sistem listrik.
turbin angin	: alat yang mengubah energi angin menjadi listrik dalam sistem hibrida.

Daftar Pustaka

- Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan. Panduan Pembelajaran dan Asesmen. Jakarta: Kemdikbudristekristek. 2022.
- Kemdikbudristekristek. Perangkat mengajar. Platform Merdeka Mengajar. 2022.
- Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Riset dan Teknologi. 2022. Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Riset dan Teknologi Nomor 5 Tahun 2022 tentang Standar Kompetensi Lulusan pada Pendidikan Anak Usia Dini, Jenjang Pendidikan Dasar, dan Jenjang Pendidikan Menengah
- Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. 2020. Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan No 22 Tahun 2020 tentang Rencana Strategis Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Tahun 2020-2024
- Kepmenaker RI Nomor 109 Tahun 2018 tentang Penetapan SKKNI Kategori Industri Pengolahan Golongan Pokok Industri Mesin dan Perlengkapan YTDL Bidang Industri Logam Mesin dengan mempertimbangkan deskriptor jenjang kualifikasi 2 pada KKNI. Jakarta: Kemenaker
- Keputusan Direktur Jenderal Pembinaan Pelatihan dan Produktivitas Kementerian Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor KEP.415/LATTAS/XII/2016 Tanggal 13 Desember 2016 tentang Registrasi Standar Khusus Bidang Energi Terbarukan Asosiasi Masyarakat Energi Terbarukan Indonesia. Jakarta: Kemenaker
- Keputusan Kepala Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 031/H/KR/2024 tentang Kompetensi dan Tema Proyek Penguatan Profil Pelajar Pancasila. Jakarta: Kemdikbudristekristek
- Keputusan Kepala BSKAP Nomor 032/H/KR/2024 tentang Capaian Pembelajaran pada Pendidikan Anak Usia Dini, Jenjang Pendidikan Dasar, dan Jenjang Pendidikan Menengah pada Kurikulum Merdeka. Jakarta: Kemdikbudristekristek
- Keputusan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 244/M/2024 tentang Spektrum Keahlian dan Konversi Spektrum Keahlian Sekolah Menengah Kejuruan/ Madrasah Aliyah Kejuruan pada Kurikulum Merdeka. Jakarta: Kemdikbudristekristek
- Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 12 Tahun 2024 tentang Kurikulum pada Pendidikan Anak Usia Dini, Jenjang Pendidikan Dasar, dan Jenjang Pendidikan Menengah. Jakarta: Kemdikbudristekristek
- Pusat Data Informasi dan Teknologi. 2021. Panduan Penerapan Model Pembelajaran Inovatif. Jakarta: Kemdikbudristekristek
- Sisdiana, Ety, dkk. Evaluasi Pelaksanaan Pembelajaran Kurikulum 2013. Jakarta: Puslitjar Kemdikbud. 2019.

A

analisis 10, 24, 79, 86, 87, 88, 89, 90, 132, 150, 224
angin 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 11, 13, 19, 23, 27, 29, 39, 117, 169, 170, 173, 177, 180, 190, 214, 217, 276
apersepsi 38, 50, 125, 178, 227
asesmen 30, 31, 32, 34, 35, 36, 40, 67, 141, 190, 238, 277

B

baterai 55, 70, 72, 80, 96, 97, 98, 99, 106, 107, 108, 112, 113
bayangan 92, 111, 112
beban 75, 76, 97, 98, 102, 103, 104, 105, 106, 109, 111, 113, 114
bendung 128

D

desain 47, 74, 75, 101, 102, 123, 176
distribusi 5, 55, 56, 75, 76, 77, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 130, 177, 275

E

efisiensi 36, 52, 68, 91, 92, 100, 110, 275
elektrik 22, 135, 139, 194, 197, 276
energi 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 19, 22, 23, 27, 29, 39, 40, 41, 47, 49, 72, 73, 76, 80, 97, 98, 99, 104, 107, 108, 110, 113,

114, 115, 117, 118, 119, 122, 123, 124, 127, 168, 169, 170, 171, 173, 175, 177, 179, 180, 190, 214, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 239, 272, 275, 277

energi angin 169
energi hidro 117
energi hybrid 217
energi surya 39

F

fotovoltaik 275

G

generator 130
gotong royong 35

H

hidro 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 13, 16, 23, 27, 29, 39, 117, 118, 119, 122, 123, 124, 127, 148, 168, 169, 217
hibrida 8, 9, 12, 45, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 239, 240, 241, 242

I

implementasi 5, 55
inverter 54, 71, 76, 87, 97, 98, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 111, 176, 275

K

kapasitas 70, 71, 80, 96, 97, 98, 99, 106, 108, 111, 112, 113, 114, 145, 148

komponen 37, 44, 49, 51, 53, 76, 77, 104, 106, 121, 126, 127, 128, 129, 130, 166, 168, 170, 173, 176, 177, 179, 180, 191, 220, 222, 226, 228, 229, 230, 239

koneksi 75, 76, 77, 102, 104, 105, 106

konsep dasar 44, 45, 49, 51, 52, 121, 126, 127, 170, 179, 180, 220, 222, 226, 228

konstruksi 48, 68, 69, 123, 221, 222, 231

kontrol 130

konversi 277

M

mekanik 129, 134, 138, 193, 195, 221, 222, 223, 232, 235, 276

mikrohidro 8, 9, 10, 168

modul 14, 45, 53, 54, 75, 80, 97, 98, 102, 103, 106, 108, 109, 275

monitoring 25, 130, 275, 276

O

optimalisasi 68, 112

P

panel surya 69, 95, 105, 106, 107, 110, 112, 113

pemantauan 113, 114, 275

pemasangan 44, 45, 46, 49, 57, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 71, 72, 82, 83, 84, 85, 89, 96, 113, 121, 124, 136, 137, 138, 139, 153, 154, 170, 174, 177, 195, 197, 222, 223, 226, 234, 235, 236

pembangunan 121, 122, 124, 136, 137, 170, 174, 195, 197, 214

pemeliharaan 92, 96, 112, 113, 116

penerapan 23, 86, 87, 88, 89, 90, 277

pengoperasian 116

penyimpanan 110, 113, 114

perancangan 22, 45, 46, 49, 57, 59, 81, 102, 104, 122, 133, 170, 174, 177, 192, 193, 194, 214, 221, 222, 223, 226, 230, 231, 232, 233, 234

perencanaan 25, 44, 46, 49, 57, 80, 82, 83, 84, 85, 88, 108, 116, 121, 122, 124, 132

pltb 11, 13, 19, 20, 170, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 190, 191, 214, 215, 227

pltmh 10, 11, 13, 16, 17, 18, 19, 118, 119, 121, 122, 124, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 141, 145, 147, 148, 149, 151, 152, 153, 155, 166, 275, 276

plts 10, 13, 14, 15, 16, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 73, 88, 89, 90, 91, 94, 96, 100, 102, 107, 109, 110, 111, 113, 114, 116, 227, 275, 276

potensi 132

produksi 110

proteksi 73, 74, 75, 76, 101, 102, 103, 104, 130,
197, 276

R

refleksi 38, 114, 115, 167, 168, 214, 215, 272

S

saluran 128

sirkuit 73, 74, 100, 102, 104, 107

sistem 22, 48, 51, 56, 57, 69, 73, 74, 83, 84, 85,
92, 95, 100, 101, 110, 116, 124, 130, 131,
134, 135, 138, 139, 146, 166, 167, 170, 173,
174, 176, 181, 193, 194, 195, 197, 221, 222,
223, 225, 232, 233, 234, 235, 236, 275, 276

solar charge controller 14, 53, 54, 96, 97, 106,
276

surya 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 13, 14, 23, 27, 29,
39, 40, 41, 45, 49, 53, 54, 60, 61, 62, 63, 64,
65, 66, 68, 69, 75, 80, 87, 91, 92, 95, 97, 98,
102, 103, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 112,
113, 115, 116, 117, 169, 217, 227, 272, 275,
276

T

tegangan 69, 70, 76, 95, 96, 98, 104

tenaga 8, 9, 10, 11, 40, 41, 45, 48, 53, 60, 62, 63,
65, 116, 118, 121, 124, 130, 168, 173, 174,
195, 197, 218, 227, 275

transmisi 129, 130, 147, 167, 276

turbin 129, 149, 276

Penulis



Zainul M PULUNGAN

Email:

zmpulungan@gmail.com

Instansi:

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

Alamat Instansi:

Jl. Poncol Raya No 39 Ciracas, Jakarta Timur

Bidang Keahlian:

Ketenagalistrikan
Energi Baru dan Terbarukan

Pekerjaan/Profesi

1. Widyaiswara Ahli Muda (2020–sekarang)
2. Subkoordinator Sarana Pengembangan SDM Bidang Listrik dan Energi Terbarukan (2021–sekarang)
3. Praktisi Mengajar Bidang Listrik dan Energi Terbarukan di Perguruan Tinggi (2022–sekarang)
4. Asesor Ketenagalistrikan (2021–sekarang)
5. Asesor Kompetensi BNSP (2017–sekarang)
6. Kepala Subbidang Perencanaan (2018–2021)
7. Analis Kerja Sama (2014–2018)

Pendidikan Terakhir

1. S2, Manajemen Energi, Institut Teknologi Bandung, 2017
2. S1, Teknik Elektro, Universitas Telkom, 2012

Bidang Keahlian

1. Ketenagalistrikan
2. Energi Baru dan Terbarukan

Penulis



Feviana
IDARRANI

Email:

suratpunyafevi@gmail.com

Instansi:

SMKN 1 Kemang

Alamat Instansi:

Jl. Kemang Limus Manggung RT. 004
RW. 002 Desa Kemang Kec. Kemang
Kab. Bogor 16310

Bidang Keahlian:

Teknik Energi Terbarukan
Teknik Elektronika

Pekerjaan/Profesi

1. Guru Teknik Energi Terbarukan SMKN 1 Kemang (2022 s.d. Sekarang)
2. Guru Fisika SMAS Citra Nusa Kab. Bogor (2013–2015)
3. Guru Teknik Audio Video SMKS Bina Warga 1 Kota Bogor (2008–2022)

Pendidikan Terakhir

S1 Teknik Elektro Universitas Gunadarma (Tahun Lulus 2006)

Penulis



Amin
WAHYONO,
S.Kom., M.T.

Email:

aminwahyono65@guru.smk.belajar.id

Instansi:

SMKN 1 Suruh

Alamat Instansi:

Jln. Ngusman Kecamatan Suruh
Kabupaten Trenggalek Jawa Timur
66360

Bidang Keahlian:

Rekayasa Teknik dan Energi
Terbarukan
Guru Penggerak Sekolah Menengah
Kejuruan

Pekerjaan/Profesi

1. Guru Mata Pelajaran Teknik Komputer dan Jaringan
2. Wakil Kepala Sekolah Bidang Mutu dan Ketenagaan
3. Guru Mata Pelajaran Teknik Audio Video
4. CIO Alhytech Engineering bidang Rekayasa Teknik dan Energi Terbarukan

Pendidikan Terakhir

Pendidikan Program S-2 Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Tahun Lulus 2016

Rekam Jejak Karya Tulis

1. Penulis Buku Teks SMK Fase F, Bidang Energi Baru dan Terbarukan, Tahun 2024
2. Pekerjaan Dasar Elektronika Kelas X , 2020, Penerbit Bumi Aksara, ISBN 978602444746-5
3. Instalasi Motor Listrik Kelas XI, 2020, Penerbit Bumi Aksara, ISBN 9786024447946
4. Dasar Listrik dan Elektronika Kelas X, 2020, Penerbit Bumi Aksara, ISBN 9786024447496
5. Instalasi Motor Listrik Kelas XII, 2020, Penerbit Bumi Aksara, ISBN 9786024447953
6. Gambar Teknik Listrik Kelas X, 2020, Penerbit Bumi Aksara, ISBN 9786024447502

Penelaah



**Tatyantoro
ANDRASTO, S.T.,
M.T.**

Email:

tatyantoro@gmail.com

Instansi:

Teknik Elektro Universitas Negeri
Semarang

Alamat Instansi:

Gd E11, lt 2, Kampus UNNES Sekaran,
Semarang - 50229

Bidang Keahlian:

Teknik Elektro

Pekerjaan/Profesi

1. Koordinator Program Studi Teknik Elektro UNNES (2023)
2. Sekretaris Jurusan Teknik Elektro UNNES (2015)

Pendidikan Terakhir

1. Sarjana Teknik Elektro UNDIP (1993)
2. Magister Teknik Elektro ITB (2005)

Judul Buku dan Tahun Terbit

1. Praktik Elektronika, 2021, DeepPublish, Yogyakarta, ISBN: 9786230221392
2. Perancangan dan Fabrikasi NMOS Menggunakan Teknologi Implantasi Ion, 2023, Mahata, Yogyakarta, ISBN: 9786236480311

Judul Penelitian dan Tahun Terbit

1. The effect of the performance of using a boost converter on the voltage of the solar panel.
2. Optimalisasi Stand-Alone Photovoltaic System dengan Implementasi Algoritma P&O-Fuzzy MPPT

Informasi Lain dari Penulis/Penelaah

SCOPUS ID : 57211337885
SINTA ID : 6041495
Google Scholar ID : 39YCFYAAAAJ

Pekerjaan/Profesi

Dosen di Universitas Pendidikan Indonesia (2014–sekarang)

Pendidikan Terakhir

1. S1 Pendidikan Fisika – Universitas Pendidikan Indonesia (2007–2011)
2. S2 Teknik Fisika – Institut Teknologi Bandung (2011–2013)
3. S3 Teknik Fisika – Institut Teknologi Bandung (2013–2017)

Judul Buku dan Tahun Terbit

1. Buku Pendalaman Materi PPG: Partikel Materi, Larutan dan Sifatnya, Senyawa Organik dan Anorganik, Zat Aditif dan Zat Adiktif. Kemdikbud (2022)
2. Teori dan Implementasi Case Method dan Team Based Project di Perguruan Tinggi. UPI Press (2023)
3. STEM-ESD pada Pembelajaran IPA, Yogyakarta: Pustaka Egaliter (2024)
4. Belajar Sel Surya melalui STEM-Design Thinking, Yogyakarta: Pustaka Egaliter (2024)

Judul Penelitian dan Tahun Terbit

1. Standarisasi Fabrikasi Modul Sel Surya Lapisan Tipis Non-Silikon (Dye-Sensitized, Kesterite) Berbasis Material Lokal Untuk Mencapai Standar Efisiensi Komersial, Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (2024)
2. Pengembangan Material Energi Terbarukan $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ Memanfaatkan Potensi Material Lokal untuk Aplikasi Sel Surya Lapisan Tipis, Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi, (2020-2022)

Penelaah



Dr. Eka Cahya
PRIMA, S.Pd., M.T.

Email:

ekacahyaprima@upi.edu

Instansi:

Universitas Pendidikan Indonesia

Alamat Instansi:

Jl. Dr. Setiabudi No. 229 Bandung

Bidang Keahlian:

Sel Surya

Ilustrator



Rizki Arif
MAULANA

Email:

ramarts.tiktok@gmail.com

Bidang Keahlian:

Designer

Ilustrator

Tradisional Artist

Konten Maker

Pekerjaan/Profesi

1. SDN KASEMEN
2. SMPN 5 KOTA SERANG
3. SMAN 4 KOTA SERANG
4. UNSERA Universitas Serang Raya

Judul Buku yang Pernah Dibuat Ilustrasi

1. Keur Waktu Hujan Turun B2
2. Rebo Wekasan B2
3. Tugas Rahasiane Aki
4. Baling Bambu Desa Abah
5. Tsunami Sunyi
6. Sosoh Misnah
7. Sentuh Warna
8. Teman Baru Eno
9. Legenda Cikuya
10. Legenda Cisoka
11. Teknik Energi Surya, Hidro, dan Angin

Editor



Dr. Christina
TULAESY

Email:

nonatula6@gmail.com

Bidang Keahlian:

Penulisan BTP
Pembelajaran dan Penilaian SD-SMA/K
Editor

Pekerjaan/Profesi

1. Pusat Perbukuan (1988–2010)
2. Pusat Kurikulum dan Perbukuan, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kemdikbudristek (2010–2021)

Pendidikan Terakhir

1. S3 Penelitian dan Evaluasi Pendidikan UNJ Tahun 2017
2. S2 Penelitian dan Evaluasi Pendidikan UHAMKA Tahun 2006
3. S1 Tata Busana IKIP Jakarta Tahun 1988

Judul Buku dan Tahun Terbit

Penelitian Tindakan Kelas: Apa, Mengapa, Bagaimana: 2020

Informasi Lain

Asesor Kompetensi Penulis dan Penyunting

Editor



**Ria
TRIANTI**

Email:

ria.pusbuk@yahoo.com

Instansi:

Pusat Perbukuan, Kemendikbudristek

Bidang Keahlian:

Menyunting

Pekerjaan/Profesi

Pusat Perbukuan, BSKAP, Kemendikbudristek (2005–sekarang)

Pendidikan Terakhir

S1 Fisika-MIPA, Universitas Indonesia, 2000

Pengalaman Menyunting

Panduan Guru Pembelajaran untuk fase Fondasi edisi revisi,
Kemendikbudristek 2023

Pekerjaan/Profesi

1. Direktur Program Pembelajaran Selingkar (2019–2022)
2. Kepala editor Ruang Cendekia
3. Penulis

Pendidikan Terakhir

S-1 Komunikasi UIN Imam Bonjol, Padang

Judul Buku dan Tahun Terbit

1. Secara personal sudah menulis lebih dari 30 buku
2. Sebagai editor sudah merancang puluhan buku nonteks

Editor Visual



Maya LESTARI GF

Email:

mayalestarigf@gmail.com

Bidang Keahlian:

Penulisan

Editing

Penyajian Naskah

Desainer



Erwin

Email:

erwinwienk2025@gmail.com

Instansi:

Freelance

Bidang Keahlian:

Desainer

Pekerjaan/Profesi

2012–Sekarang Desainer Lepas

Pendidikan Terakhir

SMA

Pengalaman Mendesain Buku

1. Pendidikan Agama Hindu dan Budi Pekerti Kelas 5 dan 10 (Pusbuk-Kemendikbudristek, 2021)
2. Buku Panduan Guru Pendidikan Jasmani, Olahraga, dan Kesehatan Kelas 2 dan 5 (Pusbuk-Kemendikbudristek, 2021)
3. Buku Panduan Guru Seni Tari Kelas 1 dan 4 (Pusbuk-Kemendikbudristek, 2023)
4. Buku Panduan Guru Seni Tari Kelas 2 dan 5 (Pusbuk-Kemdikbudristek, 2024)