

MODUL PENGEMBANGAN KEPROFESIAN BERKELANJUTAN

SURVEI DAN KONSTRUKSI BANGUNAN ENERGI SURYA DAN ANGIN

PAKET KEAHLIAN : TEKNIK ENERGI SURYA & ANGIN

Program Keahlian : Teknik Energi Terbarukan



KELOMPOK
KOMPETENSI

3



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
2015

SURVEY DAN KONSTRUKSI BANGUNAN ENERGI SURYA DAN ANGIN

PAKET KEAHLIAN : TEKNIK ENERGI SURYA DAN ANGIN

PROGRAM KEAHLIAN : TEKNIK ENERGI TERBARUKAN

Penyusun:

Tim PPPPTK

BMTI



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN

2015

KATA PENGANTAR

Undang–Undang Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2005 tentang Guru dan Dosen mengamanatkan adanya pembinaan dan pengembangan profesi guru secara berkelanjutan sebagai aktualisasi dari profesi pendidik. Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan (PKB) dilaksanakan bagi semua guru, baik yang sudah bersertifikat maupun belum bersertifikat. Untuk melaksanakan PKB bagi guru, pemetaan kompetensi telah dilakukan melalui Uji Kompetensi Guru (UKG) bagi semua guru di Indonesia sehingga dapat diketahui kondisi objektif guru saat ini dan kebutuhan peningkatan kompetensinya.

Modul ini disusun sebagai materi utama dalam program peningkatan kompetensi guru mulai tahun 2016 yang diberi nama diklat PKB sesuai dengan mata pelajaran/paket keahlian yang diampu oleh guru dan kelompok kompetensi yang diindikasikan perlu untuk ditingkatkan. Untuk setiap mata pelajaran/paket keahlian telah dikembangkan sepuluh modul kelompok kompetensi yang mengacu pada kebijakan Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan tentang pengelompokan kompetensi guru sesuai jabatan Standar Kompetensi Guru (SKG) dan indikator pencapaian kompetensi (IPK) yang ada di dalamnya. Sebelumnya, soal UKG juga telah dikembangkan dalam sepuluh kelompok kompetensi. Sehingga diklat PKB yang ditujukan bagi guru berdasarkan hasil UKG akan langsung dapat menjawab kebutuhan guru dalam peningkatan kompetensinya.

Sasaran program strategi pencapaian target RPJMN tahun 2015–2019 antara lain adalah meningkatnya kompetensi guru dilihat dari *Subject Knowledge* dan *Pedagogical Knowledge* yang diharapkan akan berdampak pada kualitas hasil belajar siswa. Oleh karena itu, materi yang ada di dalam modul ini meliputi kompetensi pedagogik dan kompetensi profesional. Dengan menyatukan modul kompetensi pedagogik dalam kompetensi profesional diharapkan dapat mendorong peserta diklat agar dapat langsung menerapkan kompetensi pedagogiknya dalam proses pembelajaran sesuai dengan substansi materi yang diampunya. Selain dalam bentuk *hard-copy*, modul ini dapat diperoleh juga dalam bentuk digital, sehingga guru dapat lebih mudah mengaksesnya kapan saja dan dimana saja meskipun tidak mengikuti diklat secara tatap muka.

Kepada semua pihak yang telah bekerja keras dalam penyusunan modul diklat PKB ini, kami sampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Jakarta, Desember 2015
Direktur Jenderal,

Sumarna Surapranata, Ph.D
NIP: 195908011985031002

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	viii
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Tujuan	2
C. Peta Kompetensi.....	2
D. Ruang Lingkup.....	3
E. Saran Cara Penggunaan Modul.....	4
KEGIATAN PEMBELAJARAN.....	5
Kegiatan Pembelajaran 1 Merancang Pengalaman Belajar	5
A. Tujuan Pembelajaran	5
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	6
C. Lingkup Materi	6
D. Langkah-langkah.	6
E. Uraian Materi.....	7
F. Rangkuman.....	44
G. Tes Formatif	46
Kegiatan Pembelajaran 2 : Pemilihan Materi Pembelajaran	48
A. Tujuan Pembelajaran	48
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	48
C. Lingkup Materi	49
D. Langkah-langkah.	49
E. Uraian Materi.....	50
F. Rangkuman	56
G. Test Formatif.....	57

Kegiatan Pembelajaran 3 : Aspek Perancangan Pembangunan PLTB.....	59
A. Tujuan	59
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	59
C. Uraian Materi	59
D. Aktifitas Pembelajaran	74
E. Rangkuman	75
F. Tes Formatif	76
G. Kunci Jawaban.....	79
LEMBAR KERJA KB-3.....	80
Kegiatan Pembelajaran 4 : Survei Potensi PLTB.....	90
A. Tujuan	90
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	90
C. Uraian Materi	90
D. Aktifitas Pembelajaran	98
E. Rangkuman	98
F. Tes Formatif	99
G. Kunci Jawaban.....	100
LEMBAR KERJA KB-4.....	101
Kegiatan Pembelajaran 5 : Menara PLTB.....	110
A. Tujuan	110
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	110
C. Uraian Materi	110
D. Aktifitas Pembelajaran	123
E. Rangkuman	124
F. Tes Formatif	125
G. Kunci Jawaban.....	127
LEMBAR KERJA KB-5.....	128
Kegiatan Pembelajaran 6 : Analisis Konstruksi Menara PLTB.....	138
A. Tujuan	138
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	138

C. Uraian Materi	138
D. Aktifitas Pembelajaran	146
E. Rangkuman	147
F. Tes Formatif	148
G. Kunci Jawaban.....	149
LEMBAR KERJA KB-6.....	150
Kegiatan Pembelajaran 7 : Potensi Energi Surya	160
A. Tujuan	160
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	160
C. Uraian Materi.....	160
D. Aktifitas Pembelajaran.....	172
E. Rangkuman	174
F. Tes Formatif	175
G. Kunci Jawaban.....	176
LEMBAR KERJA KB-7	177
Kegiatan Pembelajaran 8 : Komponen PLTS	187
A. Tujuan	187
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	187
C. Uraian Materi.....	187
D. Aktifitas Pembelajaran.....	214
E. Rangkuman	216
F. Tes Formatif	216
G. Kunci Jawaban.....	218
LEMBAR KERJA KB-8.....	219
Kegiatan Pembelajaran 9 : Konstruksi PLTS.....	227
A. Tujuan	227
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	227
C. Uraian Materi.....	227
D. Aktifitas Pembelajaran.....	234
E. Rangkuman	235

F. Tes Formatif	235
G. Kunci Jawaban.....	236
LEMBAR KERJA KB-9.....	237
PENUTUP.....	244
DAFTAR PUSTAKA	248
GLOSARIUM	250

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Komponen-komponen PLTB	60
Gambar 2. 2 Rotor.....	60
Gambar 2. 3 Sistem transmisi daya	62
Gambar 2. 4 Tampak lintang dari generator sinkron.....	64
Gambar 2. 5 Generator PLTB	65
Gambar 2. 6 Unit kontrol	67
Gambar 2. 7 <i>Yaw drive</i>	67
Gambar 2. 8 Komponen rem	68
Gambar 2. 9 Berbagai bentuk menara.....	69
Gambar 2. 10 Nasel.....	69
Gambar 2. 11 Sistem kelistrikan lepas jaringan.....	70
Gambar 2. 12 Sistem kelistrikan terhubung dengan baterai	71
Gambar 2. 13 Sistem kelistrikan terhubung tanpa baterai.....	71
Gambar 2. 14 Sistem kelistrikan langsung tanpa baterai	72
Gambar 3. 1 Anemometer dengan tiga mangkuk.....	93
Gambar 3. 2 Anemometer digital	94
Gambar 4. 1 Penulangan pondasi.....	111
Gambar 4. 2 Pondasi pasca pengecoran.....	112
Gambar 4. 3 Pondasi diurug sesuai rencana.....	112
Gambar 4. 4 Pengerjaan pancang lobang.....	113
Gambar 4. 5 Penggerak memasukan pancang ke dalam Tanah	113
Gambar 4. 6 Tulangan tiang pancang	114
Gambar 4. 7 Tipe menara lattis	115
Gambar 4. 8 Tipe menara pipa	116
Gambar 4. 9 <i>Truss guyed</i>	117
Gambar 4. 10 <i>Guyed pole</i>	117
Gambar 4. 11 <i>Guy attachment</i>	118
Gambar 4. 12 Menara polygon	120
Gambar 5. 1 Retak pada menara	139
Gambar 5. 2 Menara patah karena pengereman mendadak	140
Gambar 5. 3 Menara roboh oleh dorongan gaya luar yang tidak terkendali	141
Gambar 6. 1 Distribusi radiasi solar global dalam (kWh/m ² .tahun)	161

Gambar 6. 2 Profil penyinaran matahari di Indonesia	163
Gambar 6. 3 Pola waktu radiasi untuk 3 model radiasi sederhana	166
Gambar 6. 4 Contoh perbandingan model ' <i>Standard Solar Day</i> '	167
Gambar 6. 5 Radiasi Ekstraterritorial (terkalkulasi), global (terukur) dan sebaran/difusi	169
Gambar 6. 6 Geometri Matahari	171
Gambar 7. 1 Prinsip Umum Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya	188
Gambar 7. 2 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya	188
Gambar 7. 3 Karakteristik Tegangan dan Arus (i-v) Modul PV tipikal.....	189
Gambar 7. 4 Bahan <i>photovoltaic mono- poly crystalline</i> dan <i>thin film</i>	191
Gambar 7. 5 Penyangga sistem PLTS	193
Gambar 7. 6 Kurva Arus-Tegangan dari sebuah modul surya	194
Gambar 7. 7 <i>Fill-factor</i>	196
Gambar 7. 8 Kurva I-V sebagai fungsi radiasi matahari	196
Gambar 7. 9 Kurva I-V sebagai fungsi temperatur sel	197
Gambar 7. 10 Jenis-jenis baterai.....	199
Gambar 7. 11 Contoh hubungan serial dan paralel pada baterai.....	201
Gambar 7. 12 Kelistrikan dan sistem kontrol turbin angin	205
Gambar 7. 13 Inverter Skala Besar.....	209
Gambar 7. 14 <i>Solar charge controller</i>	212
Gambar 8. 1 Blok diagram Sistem SESF terpusat.....	227
Gambar 8. 2 Bentuk gelombang <i>Pure Sine Wave</i>	230
Gambar 8. 3 Sistem penerangan individual atau <i>Solar Home System (SHS)</i>	231
Gambar 8. 4 Skema pemasangan SHS (3 lampu)	232
Gambar 8. 5 Skema umum instalasi pompa air tenaga surya.....	233

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Perlengkapan pembuatan pondasi	114
Tabel 6. 1 Penyinaran matahari di 18 lokasi di Indonesia	162
Tabel 6. 2 Berbagai simbol untuk besaran penyinaran matahari	165
Tabel 7. 1 Karakteristik <i>photovoltaic</i> berdasarkan bahannya	191
Tabel 7. 2 Menentukan kapasitas panel surya vs luas modul.....	192

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tingkat kebutuhan energi di Indonesia semakin meningkat seiring dengan perkembangan pembangunan yang pesat, terutama menyangkut energi listrik dan energi dari bahan bakar. Berkaitan dengan pemenuhan energi listrik, tingkat elektrifikasi di Indonesia masih jauh dari 100 persen, demikian juga untuk pemenuhan kebutuhan bahan bakar masih terjadi kekurangan. Oleh karena itu perlu dilakukan diversifikasi energi dan konservasi energi untuk pemenuhan dan pemerataan energi di Indonesia. Modul ini akan memberi wawasan mengenai hal tersebut.

Modul ini memuat secara menyeluruh mengenai tahapan pengelolaan energi. Tahapan pengelolaan energi tersebut terdiri dari: penyediaan energi, pengusahaan energi, pemanfaatan energi, dan konservasi sumber daya energi. Dengan demikian pengetahuan yang komprehensif mengenai konservasi energi dan lingkungan dapat dicapai.

Modul ini dirancang agar guru mampu memahami teknik konversi energi yang bersumber pada sumber daya alam yang dapat diperbaharui yang ramah lingkungan, serta mampu mengenali langkah-langkah penghematan energi pada berbagai peralatan dan fasilitas.

Uraian dalam modul ini selain menekankan pada aspek produksi energi juga mempelajari konservasi energi dan lingkungan. Perlunya konservasi energi dan lingkungan berkaitan dengan pilihan sumber daya dalam produksi energi, dan upaya-upaya dalam melestarikan sumber energi. Produksi energi tanpa memperhatikan konservasi energi dan lingkungan hanya akan menimbulkan pemborosan energi dan kerusakan lingkungan. Buku ini memberi wawasan penyeimbang dalam produksi energi.

B. Tujuan

Setelah mengikuti kegiatan pembelajaran ini, peserta diklat mampu melakukan pekerjaan survei potensi PLTB dan PLTS kemudian merancang kapasitas yang akan dibangun.

C. Peta Kompetensi

GRADE KOMPETENSI PAKET KEAHLIAN TEKNIK ENERGI SURYA DAN ANGIN	
GRADE 1	20.01
	20.02
	20.03
	20.04
	20.05
GRADE 2	20.06
	20.07
	20.14
GRADE 3	20.10
	20.11
GRADE 4	20.08
	20.09
GRADE 5	20.12
	20.13
GRADE 6	20.15
	20.16
	20.17
	20.18
GRADE 7	20.19
	20.20
	20.21
	20.22
GRADE 8	20.24
	20.25
	20.26
	20.27
	20.28
GRADE 9	20.29
	20.30
	20.31
	20.32
GRADE 10	20.33
	20.34
	20.35
	20.36
	20.37
	20.38

D. Ruang Lingkup

Pembelajaran dalam modul ini meliputi: aspek perancangan pembangunan PLTB, survei potensi PLTB, menara PLTB, analisis konstruksi menara PLTB, potensi energi surya, komponen PLTS, dan konstruksi PLTS.

E. saran Cara Penggunaan Modul

Penjelasan bagi peserta diklat tentang tata cara belajar dengan bahan ajar/modul bahan ajar, tugas-tugas peserta diklat antara lain:

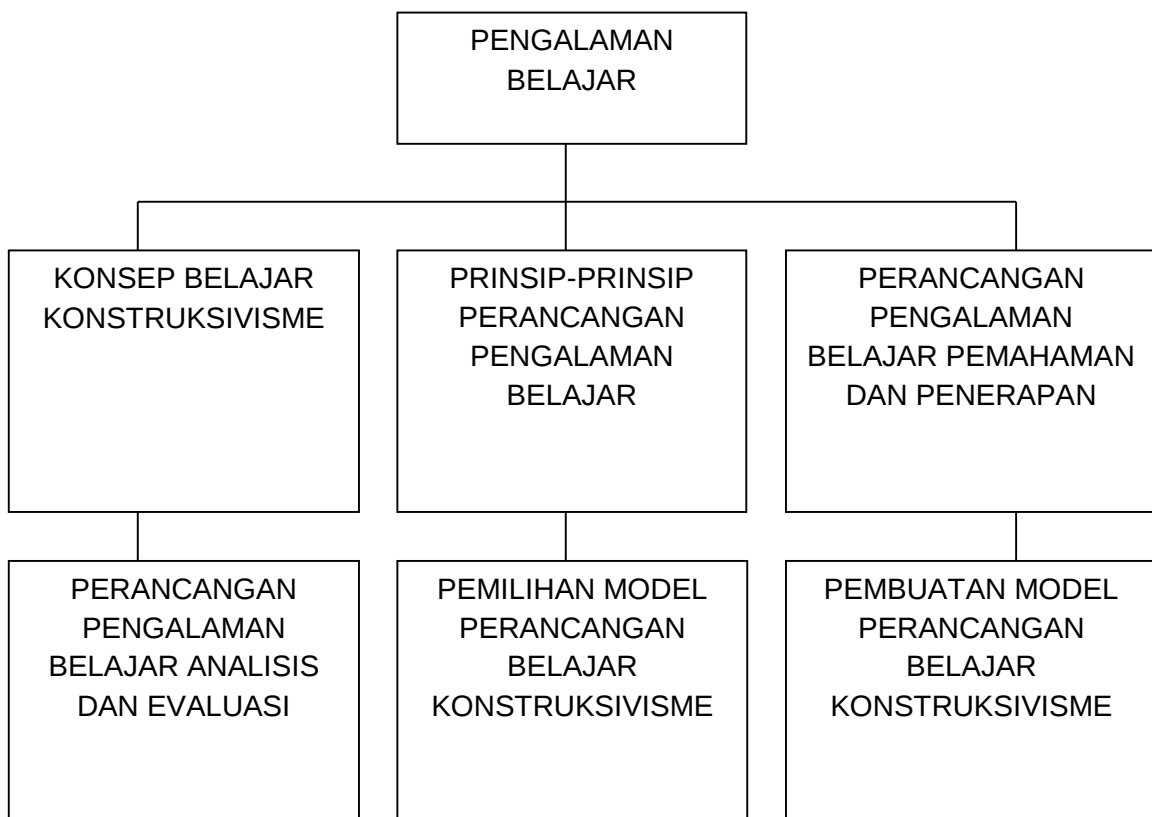
- 1) Modul ini dirancang sebagai bahan pembelajaran dengan pendekatan peserta diklat aktif.
- 2) Guru berfungsi sebagai fasilitator.
- 3) Penggunaan modul ini dikombinasikan dengan sumber belajar yang lainnya.
- 4) Pembelajaran untuk pembentukan sikap spiritual dan sosial dilakukan secara terintegrasi dengan pembelajaran kognitif dan psikomotorik.
- 5) Lembar tugas peserta diklat untuk menyusun pertanyaan yang berkaitan dengan isi buku memuat (apa, mengapa dan bagaimana).
- 6) Tugas membaca bahan ajar/modul secara mendalam untuk dapat menjawab pertanyaan. Apabila pertanyaan belum terjawab, maka peserta diklat dipersilahkan untuk mempelajari sumber belajar lainnya yang relevan.

BAB II

KEGIATAN PEMBELAJARAN

Kegiatan Pembelajaran 1 Merancang Pengalaman Belajar

PETA KONSEP



A. Tujuan Pembelajaran

Melalui penggalian informasi, diskusi dan mencoba peserta diklat dapat:

1. Menilai contoh perancangan pengalaman belajar perkembangan berfikir tingkat evaluasi sesuai prinsip-prinsip belajar konstruktivistik secara teliti dan tanggung jawab.

2. Membuat perancangan pengalaman belajar mata pelajaran yang diampu tingkat berfikir mencipta sesuai prinsip-prinsip belajar konstruktivistik secara teliti dan bertanggung jawab

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Menjelaskan prinsip-prinsip perancangan pengalaman belajar pemahaman
2. Menentukan langkah-langkah perancangan pengalaman belajar penerapan.
3. Mengkoreksi contoh perancangan pengalaman belajar perkembangan berfikir analisis dan evaluasi
4. Memilih model pembelajaran yang akan digunakan dalam perancangan pengalaman belajar konstruktivisme.
5. Membuat perancangan pengalaman belajar sesuai model pembelajaran konstruktivisme.

C. Lingkup Materi.

1. Konsep belajar konstruktivisme
2. Prinsip perancangan pengalaman belajar pemahaman
3. Langkah perancangan penerapan
4. Model-model pembelajaran dengan pendekatan belajar konstruktivisme
5. Matrik pepaduan (*scaffolding*) perancangan pengalaman belajar
6. Rancangan pengalaman belajar sesuai model pembelajaran konstruktivisme

D. Langkah-langkah.

Materi pelatihan ini dirancang untuk dipelajari oleh Guru. Selain disajikan prinsip-prinsip dan contoh yang dilakukan dalam bentuk individu, dan diskusi kelompok, juga digunakan latihan sebagai bentuk pendalaman materi yang mendorong kreativitas untuk berinovasi. Pelaksanaan pembelajaran menggunakan pendekatan andragogi, yaitu lebih mengutamakan pengungkapan kembali pengalaman peserta pelatihan, menganalisis, menyimpulkan, dan menggeneralisasi dalam suasana diklat yang aktif, inovatif, kreatif, efektif, menyenangkan, dan bermakna.

1. Aktivitas individual meliputi:
 - a. memahami dan mencermati materi pelatihan;
 - b. mengerjakan latihan/tugas, menyelesaikan masalah/kasus pada setiap kegiatan belajar;
 - c. menyimpulkan materi pengembangan pengalaman belajar;
 - d. melakukan refleksi.

2. Aktivitas kelompok meliputi:
 - a. mendiskusikan materi pelatihan;
 - b. bertukar pengalaman (*sharing*) dalam melakukan latihan menyelesaikan masalah/kasus;
 - c. membuat rangkuman;
 - d. refleksi.

E. Uraian Materi.

Belajar adalah perubahan berkaitan dengan pengaturan perilaku peserta didik atau kemampuan dalam rentang waktu tertentu dari suatu periode. Perubahan perilaku sebagai hasil belajar sering disebut dengan bukti belajar atau *learning exhibits* yang merupakan akibat proses interaksi antara peserta didik dengan guru, dengan peserta didik lainnya maupun dengan lingkungan serta objek yang dipelajarinya.

Perubahan kemampuan atau perilaku (*behavior*) sebagai hasil belajar sesuai dengan yang diharapkan, tentu tidak dapat terjadi begitu saja, tetapi diperlukan perancangan pengalaman belajar yang disengaja dan sistematis, yang memungkinkan perubahan perilaku dalam perkembangan berfikir peserta didik mencapai gradasi perkembangan sesuai dengan yang ditetapkan dalam tujuan pembelajaran. Untuk itu guru sebagai perancang pembelajaran memegang peranan strategis dalam mengantarkan peserta didik melalui pengalaman belajar yang dirancangnya mencapai gradasi kemampuan tertentu.

1. Pembelajaran Konstruktivisme

Untuk merancang pengalaman belajar peserta didik pada kurikulum 2013 atau juga sering diistilahkan dengan Kurnas, anda diajak terlebih dahulu mengingat kembali

salah satu pendekatan pembelajaran yang digunakan yakni pembelajaran berpendekatan konstruksivisme.

Masih ingatkah anda apa filosofi yang mendasari pembelajaran konstruksivisme.
Jelaskan.....

.....

Coba periksa jawaban anda dengan pernyataan ini apakah telah sesuai.

Pembelajaran yang menjadikan seseorang secara aktif membangun pengetahuan dan pemahaman dengan mensintesisakan pengetahuan yang telah dimilikinya menjadi pengetahuan baru. Hal ini disebut pendekatan belajar konstruksivisme, sesuai dengan teori kerja Jean Piaget dalam Alan Pritchard (2010 : 5) “ *his work led to the expansion of understanding of child development and learning as a proces of construction that has underpinned much of the theory relating to social constructivism*”. Berdasarkan teori belajar konstruktivisme merupakan pembelajaran yang pembelajar mengkonstruk pemahaman mereka dari dunia sekelilingnya berdasarkan pengalaman dimana mereka hidup dan tumbuh. Mereka selanjutnya memilih dan mentransformasi informasi dari pengetahuan yang lalu; saat ini; juga pengalaman menjadi pengetahuan dan pemahaman peserta didik yang baru. Pada tabel 1 di bawah ini dapat dilihat perbandingan antara kognitivisme dan konstruksivisme menurut Anne Jordan; Orison Carlile dan Annetta Stack pada *Approaches to learning* (2008:55).

Tabel 1. Perbandingan antara Kognitivisme dengan Konstruksivisme

Teori	Aktivitas Mental	Proses Belajar	Peran Guru
Cognitivisme	• Presepsi • Perhatian • Pemerosesan	• Mengingat • Pembelajaran permukaan dan mendalam • Menyampaikan informasi (<i>encoding</i>) • Terjadinya secara internal pada dirinya	• Menerapkan prinsip-prinsip kognitif untuk memfasilitasi proses kognitif
Construsivisme	• Membuat makna	• Belajar menurut skema (<i>returning Schemata</i>) • Mengkonstruk kemampuan pikir/intelektual (<i>mental constructs</i>) • Terjadinya secara internal pada dirinya	• Mendukung pembelajaran bermakna • Membangun gagasan yang menantang

2. Pertimbangan dalam Mengembangkan Pengalaman Belajar

Pengalaman belajar merupakan aktifitas peserta didik dengan lingkungannya yang dibutuhkan untuk mencapai tujuan. Pengalaman belajar itu bukanlah isi atau materi pelajaran melainkan interaksi peserta didik dengan lingkungan berupa aktivitas dalam proses pembelajaran. Ini sesuai dengan pendapat Tyler (1990:41) “ *The term learning experience is not the same as the content with which a course deal nor activities performed by the teacher The term learning experience refer to interaction between the learner and the external condition in the environment to which he can react. Learning takes place through the active behavior of student; it is what he does*

that he learn not what the teacher does”. Dari kutipan di atas dapat digaris bawahi pengalaman belajar adalah apa yang akan diinteraksikan atau yang telah diinteraksikan di dalam proses pembelajaran antara peserta didik dengan lingkungan, bukan apa yang akan atau diperbuat pendidik.

Tugas 2. Berdasarkan pengalaman sebagai seorang pendidik, pertimbangan-pertimbangan apa yang anda lakukan di dalam menentukan pengalaman belajar sesuai Kompetensi Dasar dari mata pelajaran yang diampu berdasarkan pendekatan belajar konstruktivisme?

.....
.....
.....

Sesuaikan jawaban anda dengan penjelasan !

Pertimbangan-Pertimbangan Menentukan Pengalaman Belajar

- a. Sesuai dengan tujuan dari Kompetensi Dasar (KD) yang akan dicapai
Dalam sistem perencanaan dan desain pembelajaran tujuan merupakan komponen utama dan pertama yang harus dipikirkan oleh seorang perancang pembelajaran. Sehingga apa yang harus dilakukan guru dan siswa diarahkan untuk mencapai tujuan itu. Dilihat dari domainnya tujuan itu terdiri atas tujuan kognitif, afektif, dan psikomotorik.
- b. Sesuai dengan jenis bahan atau materi pelajaran
Pengalaman belajar yang direncanakan dan didisain harus memerhatikan karakteristik materi pelajaran baik dilihat dari kompleksitas materi maupun pengemasannya.
- c. Ketersediaan sumber belajar
Selain pertimbangan tujuan dan isi bahan pelajaran, seorang desainer pembelajaran dalam menentukan pengalaman belajar juga harus memerhatikan ketersediaan sumber belajar yang dapat digunakan.

- d. Pengalaman belajar harus sesuai dengan karakteristik siswa

Kondisi dan karakteristik siswa merupakan salah satu hal pertimbangan yang harus diperhatikan, baik menyangkut minat dan bakat siswa, kecenderungan gaya belajar maupun kemampuan dasar yang dimiliki siswa.

- e. Model belajar

Model pembelajaran merupakan kerangka konseptual yang digunakan sebagai pedoman dalam melakukan pembelajaran yang disusun secara sistematis untuk mencapai tujuan belajar yang menyangkut sintaksis, system sosial, prinsip reaksi dan system pendukung (Joice&Wells).

3. Prinsip-Prinsip Pengembangan Pengalaman Belajar

Pada pendekatan pembelajaran konstruktivisme peserta didik adalah subjek yang memiliki kemampuan untuk secara aktif mencari, mengolah, mengkonstruksi, dan menggunakan pengetahuan. Untuk itu pengembangan pengalaman pembelajaran harus berkenaan dengan kesempatan yang diberikan kepada peserta didik untuk mengkonstruksi pengetahuan dalam proses kognitifnya. Agar benar benar memahami dan dapat menerapkan pengetahuan, peserta didik perlu didorong untuk bekerja memecahkan masalah, menemukan segala sesuatu untuk dirinya, dan berupaya keras mewujudkan ide-idenya.

Ada sejumlah prinsip-prinsip yang harus diperhatikan mana kala kita akan mengembangkan pengalaman belajar yaitu,

- a. Berorientasi pada tujuan

Dalam system pembelajaran tujuan merupakan komponen yang utama. Efektivitas pengembangan pengalaman belajar ditentukan dari keberhasilan siswa mencapai tujuan pembelajaran.

- b. Aktivitas

Pengaman belajar siswa harus dapat mendorong agar siswa beraktivitas melakukan sesuatu. Aktivitas tidak dimaksudkan terbatas pada aktivitas fisik, akan tetapi juga meliputi aktivitas yang bersifat psikis seperti aktivitas mental.

c. Individualitas

Mengajar adalah usaha mengembangkan setiap individu siswa. Oleh sebab itu pengalaman belajar dirancang untuk setiap individu siswa.

d. Integritas

Merancang pengalaman belajar siswa harus dapat mengembangkan seluruh aspek kepribadian siswa secara terintegritas, dengan tetap memperhatikan prinsip interaktif, Inspiratif, menyenangkan, menantang, dan motivasi. Secara rinci pada Permendikbud No. 103 Tahun 2014 prinsip pengembangan pengalaman belajar perlu memperhatikan :

- 1) peserta didik difasilitasi untuk mencari tahu;
- 2) peserta didik belajar dari berbagai sumber belajar;
- 3) proses pembelajaran menggunakan pendekatan ilmiah;
- 4) pembelajaran berbasis kompetensi;
- 5) pembelajaran terpadu;
- 6) pembelajaran yang menekankan pada jawaban divergen yang memiliki kebenaran multi dimensi;
- 7) pembelajaran berbasis keterampilan aplikatif;
- 8) peningkatan keseimbangan, kesinambungan, dan keterkaitan antara hard-skills dan soft-skills;
- 9) pembelajaran yang mengutamakan pembudayaan dan pemberdayaan peserta didik sebagai pembelajar sepanjang hayat;
- 10) pembelajaran yang menerapkan nilai-nilai dengan memberiketaeladanan (ing ngarso sung tulodo), membangun kemauan mauan (ingmadyo mangun karso), dan mengembangkan kreativitas peserta didik dalam proses pembelajaran (tut wuri handayani);
- 11) pembelajaran yang berlangsung di rumah, di sekolah, dan dimasyarakat;
- 12) pemanfaatan teknologi informasi dan komunikasi untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pembelajaran;
- 13) pengakuan atas perbedaan individual dan latar belakang budaya peserta didik;

14) dan suasana belajar menyenangkan dan menantang

Tugas 3. Diskusikan dari kasus berdasarkan hasil observasi pada supervisi akademik oleh guru yang ditugaskan oleh kepala sekolah mensupervisi, ditemukan guru memberikan pengalaman belajar pembentukan pengalaman belajar memahami dengan cara menjelaskan prinsip kerja dari wiring diagram suatu proses, setelah itu guru melakukan tanya jawab. Dari kasus tersebut apakah guru yang mengajar telah menggunakan prinsip pembentukan pengalaman belajar konstruktivisme sesuai tuntutan kurikulum SMK 2013; apa yang seharusnya anda sarankan kepada guru yang mengajar tersebut

4. Tahapan Pengembangan Pengalaman Belajar

Tahapan pengembangan pembelajaran yang dikembangkan seorang guru dilakukan berdasarkan pada kedudukan KD itu berada, dan berdasarkan itu guru melakukan perancangan pengalaman belajar mengikuti standar proses yang pada kurikulum 2013 berada pada Permendikbud No 65 Tahun 2013 dan petunjuk pembelajaran Permendikbud No 103 Tahun 2014, yang dapat di bagi dalam tahap pra Instruksional atau sering juga di istilahkan dengan langkah pendahuluan, tahap Instruksional atau langkah kegiatan Inti dan tahap penilaian dan tindak lanjut. Pengalaman belajar dalam operasionalnya dirancang guru pada kegiatan Inti yang di dalam kurikulum KTSP 2006 kegiatan ini terbagi pada tiga fase yakni Eksplorasi; Elaborasi dan Konfirmasi (EEK). Pada Kurikulum 2013 pengembangan pengalaman belajar dilakukan menggunakan pendekatan saintifik atau pendekatan berbasis proses keilmuan dengan langkah meliputi mengamati, menanya, mengeksperimen, menganalisis dan mengkomunikasikan seperti terlihat pada tabel 2. Pendekatan saintifik dapat menggunakan beberapa strategi seperti pembelajaran kontekstual. Model pembelajaran merupakan suatu bentuk pembelajaran yang memiliki nama, ciri, sintak, pengaturan, dan budaya misalnya discovery learning, project-based learning, problem-based learning, inquiry learning.

Tabel 2. Deskripsi Langkah Pembentukan Pengalaman Belajar

LANGKAH PEMBELAJARAN	DESKRIPSI KEGIATAN	BENTUK HASIL BELAJAR
Mengamati (observing)	mengamati dengan indra (membaca, mendengar, menyimak, melihat, menonton, dan sebagainya) dengan atau tanpa alat	perhatian pada waktu mengamati suatu objek/membaca suatu tulisan/mendengar suatu penjelasan, catatan yang dibuat tentang yang diamati, kesabaran, waktu (on task) yang digunakan untuk mengamati
Menanya (questioning)	membuat dan mengajukan pertanyaan, tanya jawab, berdiskusi tentang informasi yang belum dipahami, informasi tambahan yang ingin diketahui, atau sebagai klarifikasi.	jenis, kualitas, dan jumlah pertanyaan yang diajukan peserta didik (pertanyaan faktual, konseptual, prosedural, dan hipotetik)
Mengumpulkan informasi/mencoba (experimenting)	mengeksplorasi, mencoba, berdiskusi, mendemonstrasikan, meniru bentuk/gerak, melakukan eksperimen, membaca sumber lain selain buku teks, mengumpulkan data dari nara sumber melalui angket, wawancara, dan memodifikasi/ menambah/ mengembangkan	jumlah dan kualitas sumber yang dikaji/digunakan, kelengkapan informasi, validitas informasi yang dikumpulkan, dan instrumen/alat yang digunakan untuk mengumpulkan data.
Menalar/Mengasosiasi (associating)	mengolah informasi yang sudah dikumpulkan, menganalisis data dalam bentuk membuat kategori, mengasosiasi atau	mengembangkan interpretasi, argumentasi dan kesimpulan mengenai keterkaitan informasi dari dua fakta/konsep,

LANGKAH PEMBELAJARAN	DESKRIPSI KEGIATAN	BENTUK HASIL BELAJAR
	menghubungkan fenomena/informasi yang terkait dalam rangka menemukan suatu pola, dan menyimpulkan	interpretasi argumentasi dan kesimpulan mengenai keterkaitan lebih dari dua fakta/konsep/teori, menyintesis dan argumentasi serta kesimpulan keterkaitan antarberbagai jenis fakta/konsep/teori/pendapat; mengembangkan interpretasi, struktur baru, argumentasi, dan kesimpulan yang menunjukkan hubungan fakta/konsep/teori dari dua sumber atau lebih yang tidak bertentangan; mengembangkan interpretasi, struktur baru, argumentasi dan kesimpulan dari konsep/teori/pendapat yang berbeda dari berbagai jenis sumber
Mengomunikasikan (communicating)	menyajikan laporan dalam bentuk bagan, diagram, atau grafik; menyusun laporan tertulis; dan menyajikan laporan meliputi proses, hasil, dan kesimpulan secara lisan	menyajikan hasil kajian (dari mengamati sampai menalar) dalam bentuk tulisan, grafis, media elektronik, multi media dan lain-lain

Tugas 4. Berdasarkan Informasi di atas diskusikan tahapan pengembangan pengalaman belajar dan langkah-langkahnya menurut tuntutan kurikulum 2013 ?.....

5. Pengembangan Pengalaman Belajar Memahami dan Penerapan

Seperti telah disinggung di atas pengalaman belajar peserta didik pada kurikulum 2013 dibentuk melalui langkah-langkah saintifik yang diintegrasikan di dalam model belajar yang sesuai dengan tingkat Kompetensi Dasar yang dipelajari baik berkaitan Kompetensi pengetahuan KD-3 dan kompetensi keterampilan (KD-4). Pengalaman belajar Kompetensi pengetahuan dan Kompetensi keterampilan dilakukan dengan cara menggunakan modus pembelajaran langsung (*direct instructional*). Pembelajaran langsung adalah pembelajaran yang mengembangkan pengetahuan, kemampuan berpikir dan keterampilan menggunakan pengetahuan peserta didik melalui interaksi langsung dengan sumber belajar yang dirancang pendidik di dalam RPP. Dalam pembelajaran langsung peserta didik melakukan kegiatan mengamati, menanya, mengumpulkan informasi / mencoba, menalar / mengasosiasi, dan mengomunikasikan. Pembelajaran langsung menghasilkan pengetahuan dan keterampilan langsung, yang disebut dengan dampak pembelajaran (*instructional effect*). Adapun Pembelajaran tidak langsung adalah pembelajaran yang terjadi selama proses pembelajaran langsung yang dikondisikan menghasilkan dampak pengiring (*nurturant effect*). Pembelajaran tidak langsung berkenaan dengan pengembangan nilai dan sikap yang terkandung dalam KI-1 dan KI-2. Pengalaman pembelajaran tidak saja terjadi akibat pengaruh eksternal terhadap peserta didik seperti guru, tetapi juga terjadi akibat dari itu sendiri melakukan

aktivitas belajar atau *self instruction* melalui bahan bacaan, gambar atau film Ini sejalan dengan yang Gagne (1992 :3) yakni :

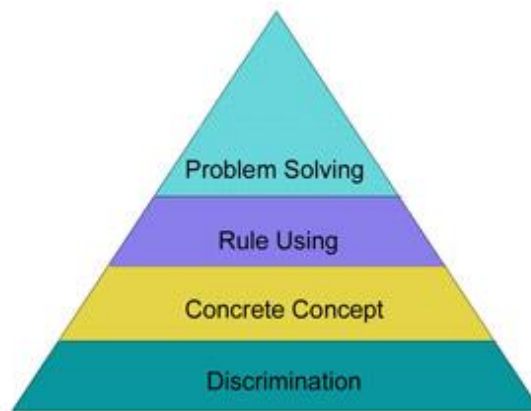
Why do we speak of instruction rather than teaching ? It is because we wish to describe all of the events that may have direct effect on the learning of human being, not just those set motion by individual who is a teacher. Instruction may include events that generated by page of print, by a picture, by a television program, or by combination of physical objects, among other things. Of course, teacher may play an essential role in arrangement of any of these events. Or, as already mentioned, the learners may be able to manage instructional events themselves.

Walaupun pengalaman pembelajaran lebih banyak menekankan pada kegiatan peserta didik, tidak berarti peran-peran guru di dalam interaksi pembelajaran menjadi hilang. Peran guru dalam pengelolaan pembelajaran bergeser dari guru sebagai sumber belajar menjadi fasilitator. Ini sesuai dengan pendapat Gagne (1992 :3) yakni “ *Instruction is set of event that effect learners in such a way that learning is facilitated*”. Sementara Driscoll (1994) memaknai pengertian pembelajaran dalam perspektif yang hampir sama “sebagai rencana atau sementara yang disengaja dari kondisi belajar untuk meningkatkan pencapaian tujuan yang telah ditentukan.”. Peran guru dalam pembelajaran disamping berperan sebagai fasilitator juga guru berperan sebagai perencana dalam kegiatan pengalaman belajar. Baik yang berkaitan dengan rencana kegiatan peserta didik maupun kegiatannya sendiri, dalam upaya memberikan petunjuk pada peserta didik untuk melakukan belajar, sehingga mampu mendeskripsikan apa yang dipelajarinya.

Agar memudahkan perencanaan pengalaman belajar, pendidik sebagai perancang pengalaman belajar akan menggunakan tujuan pembelajaran atau indikator sebagai sebagai representatif dari kompetensi dasar yang diajarkan dalam bentuk tingkatan gradasi taksonomi. Dimana Taksonomi merupakan seperangkat prinsip untuk mengklasifikasikan tiga domain dalam perilaku tujuan hasil belajar yaitu kognitif; afektif dan psikomotor. Ini sejalan dengan apa yang diutarakan oleh Bloom (1956 : 7) “ *Our original plans called for a complete taxonomy in three major parts - the*

cognitive, the affective, and the psychomotor domains". Domain kognitif merupakan berpikir yang berhubungan dengan sesuatu fenomena seperti mengingat atau mengenal pengetahuan dan manifestasi kemampuan intelektual dan kecakapan; domain afektif berhubungan dengan minat, perilaku dan nilai; sedangkan domain psikomotor berhubungan dengan perilaku keterampilan yang kompleks atau pengembangan keterampilan motorik di bengkel berkaitan dengan pendidikan vokasi. Sementara Gagne (2000:83) membedakan kategori perilaku hasil belajar (*Outcome behavior*) dalam lima klasifikasi yaitu " *The domains I would distinguish are five, and I call them (1) motor Skill, (2) Verbal information, (3) intellectual skills, (4) Cognitive Strategies, and (5) attitudes* ".

Klasifikasi perilaku hasil belajar dalam keterampilan intelektual (*intellectual skills*) merupakan kecakapan yang berfungsi seseorang berinteraksi dengan lingkungannya melalui penggunaan simbol-simbol atau konsep-konsep yang merupakan salah satu cara utama seseorang mengingat dan berpikir tentang dunia dimana mereka hidup. Belajar keterampilan intelektual berarti belajar bagaimana melakukan sesuatu dari sisi intelektual (Gagne, 1992:43), dan secara umum apa yang dipelajari tersebut diistilahkan dengan pengetahuan prosedural atau *knowing how*, Tingkat keterampilan intelektual seseorang berkembang sejalan dengan perhatian dan kemampuan intelektual yang dimilikinya, dan perbedaan keterampilan intelektual tersebut dapat diklasifikasikan dari level terendah ke level tinggi, dimana level rendah merupakan prasyarat untuk mencapai level di atasnya. Gagne (1992 : 55) membagi tingkat kompleksitas keterampilan Intelektual dari mulai : *Discriminations; Concrete Concepts; Rule and Defined Concepts; Higher Order Rules; Problem Solving*. Tingkatan level tersebut digambarkan seperti pada Gambar 2 sebagai berikut.



Strategi kognitif (*Cognitive strategies*) merupakan keterampilan belajar yang mengatur belajarnya, mengingat dan berpikir yang diregulasi oleh proses internal peserta didik. Kemampuan ini dalam istilah teori belajar modern disebut dengan proses kontrol yakni suatu proses internal yang mana peserta didik menyeleksi dan memodifikasi cara-caranya dalam menghadirkan informasi, belajar dan berpikir serta memecahkan masalah. Pengaturan diri ini dilakukan sebagai metoda yang digunakan seseorang dalam mengontrol dirinya untuk mendapatkan inti dari permasalahan. Lebih singkatnya Gagne (1992 : 70) menyatakan strategi kognitif merupakan keterampilan kognitif untuk memilih dan mengarahkan proses-proses internal dalam belajar dan berpikir. Dengan demikian strategi kognitif adalah keterampilan peserta didik mengontrol dirinya sendiri secara internal berkaitan dengan teknik berpikir, cara menganalisis problem dan pendekatan dalam memecahkan masalah. Konsep dan aturan-aturan yang menunjuk pada lingkungan objek-objek dan kejadian-kejadian seperti pernyataan-pernyataan, grafik-grafik, atau rumus matematis, merupakan objek keterampilan intelektual sedangkan objek strategi-strategi kognitif adalah proses-proses kognitif yang dimiliki siswa. Strategi kognitif yang digunakan siswa dapat menentukan bagaimana ia belajar, bagaimana ia memanggil kembali dan menggunakan apa yang dipelajari, dan bagaimana ia berpikir. Sekaitan dengan itu Weinstein dan Mayer dalam Gagne (1992 : 66) membagi strategi kognitif menjadi lima: (1) strategi- strategi menghafal (*rehearsal strategies*), strategi-strategi elaborasi (*elaboration strategies*), strategi-strategi

pengaturan (*organizing strategies*), strategi-strategi pemantauan pemahaman (*comprehension monitoring strategies*) atau juga disebut strategi-strategi metakognitif (*metacognitive strategies*), dan strategi-strategi afektif (*affective strategies*).

Informasi verbal (*Verbal Information*) atau pengetahuan deklaratif, adalah kemampuan pengetahuan pembelajar untuk menyampaikan suatu fakta atau kumpulan kejadian melalui lisan, tulisan atau gambar. Kemampuan tersebut harus ditunjang oleh kemampuan intelektual dalam rangka menempatkan pernyataan dengan tepat atau peserta didik harus mengetahui bagaimana dalam membangun kalimat sederhana sehingga peserta didik dapat menyampaikan pernyataan yang berkaitan dengan pengetahuan yang diketahuinya dalam bentuk penyampaian lisan atau tulisan. Kemampuan yang dipelajari yang memungkinkan peserta didik memiliki kemampuan menyampaikan ide atau gagasan disebut informasi verbal atau *knowing that or declarative knowledge* (R. Gagne, 1985 : 48).

Kemampuan hasil belajar ke empat menurut Gagne merupakan *motor skills*, berbentuk motorik dimana peserta didik melakukan keterampilan gerakan kesatuan yang terorganisir atau tersusun. Kemampuan gerakan yang terorganisir yang diindikasikan dalam tindakan yang halus; teratur dan waktu yang tepat merupakan refleksi keterampilan motorik tingkat tinggi (minimal tingkat Presisi pada taksonomi keterampilan Dave) dari peserta didik, sebagai hasil latihan yang terus menerus dalam rentang waktu tertentu. Sehubungan dengan itu urutan prosedur dari keterampilan motorik harus dipelajari oleh peserta didik dan biasanya dipelajari bersamaan dengan mempelajari keterampilan motoriknya itu sendiri. Keadaan itu diistilahkan dengan *internal condition* atau juga cara demikian oleh Fitts and Posner dalam R. Gagne (1985:48) disebut "*executive subrutine* " yakni karakter kebiasaan peserta didik berkaitan apa yang akan dilakukan setelah melakukan. Hal ini berlainan dengan *external condition*, yakni urutan prosedur gerak keterampilan motorik dibentuk melalui periode latihan yang diulang-ulang dengan pemberian umpan balik yang dilakukan oleh pengajar atau pelatih. Langkah ini akan meningkatkan kehalusan dan ketepatan waktu dari keterampilan motorik.

Attitude satu juga sering diistilahkan sikap merupakan perilaku kemampuan hasil belajar berkaitan dengan keadaan internal yang mempengaruhi pilihan personal peserta didik. Keadaan internal yang mempengaruhi tindakan peserta didik sangat dipengaruhi oleh situasi spesifik dimana tindakan tersebut dilakukan dan juga ditunjang secara bersamaan melalui pengetahuan dan aspek-aspek emosional yang dipelajari dalam berbagai cara. Pembentukan kemampuan tindakan peserta didik sebagai bagian dari sikap dapat dipelajari melalui bentuk suatu kejadian maupun peniruan dari perilaku tertentu yang diajarkan oleh pengajar, atau melalui observasi pada model. Apabila sikap diajarkan melalui imitasi atau model, maka hal terpenting yang perlu diperhatikan yakni peserta didik harus respek dan kagum pada perilaku orang yang dijadikan model tersebut. Lebih lanjut berdasarkan apa yang dipelajarinya, peserta didik dapat mengekspresikan bentuk tingkah laku yang tepat, sesuai dengan tujuan yang telah dirumuskan.

Pengembangan pengalaman belajar tingkat memahami (C2) merupakan kemampuan mengonstruksi makna dari pesan pembelajaran baik secara lisan, tulisan maupun grafik. Sekaitan dengan itu pembentukan pengetahuan deklaratif atau informasi verbal dapat dirancang oleh pendidik dengan cara peserta didik belajar secara individu dan atau kelompok untuk mempelajari yang berkaitan dengan tata letak, bentuk, konsep dan prinsip kerja berdasarkan gambar diagram dari suatu kompetensi dasar yang di pelajari. Kegiatan ini dalam konteks saintifik bagaimana peserta didik menggali informasi baik berdasarkan buku siswa maupun sumber yang lain seperti *searching* di internet, observasi pada objek latih yang selanjutnya mereka dapat saling bertanya di dalam kelompoknya maupun diri sendiri untuk menguatkan informasi yang di dapatnya sehingga mereka dapat menyampaikan atau menyajikan secara verbal maupun tulisan berkaitan dengan konsep dan prinsip kerja sebagai pengetahuan deklaratif yang telah dikonstruksi peserta didik.

Pengembangan pengalaman belajar tingkat C3 yakni menerapkan (*apply*); merupakan kemampuan dalam penggunaan prosedur dalam situasi yang diberikan atau situasi baru. Pendidik dalam merancang pengalaman belajar membentuk

kemampuan peserta didik dalam perkembangan berfikir penerapan dapat dilakukan dengan membentuk hasil belajar strategi kognitif (*Cognitive strategies*) yang merupakan keterampilan belajar yang mengatur belajarnya, mengingat dan berpikir yang diregulasi oleh proses internal peserta didik. Guru sebagai perancang pengajaran harus memberikan pengalaman belajar yang memungkinkan peserta didik dapat menerapkan pengetahuan yang telah dimilikinya seperti konsep dan prinsip dapat diaplikasikan berkaitan dengan pemeriksaan fungsi kerja dari sistem yang menggunakan konsep atau prinsip kerja tersebut. Kegiatan pengalaman belajar pada tahapan ini merupakan kelanjutan dari pengalaman belajar Memahami (C2) yang lebih lanjut peserta melalui langkah pengumpulan data (ekperiment) melakukan pengukuran dengan menggunakan konsep atau prinsip kerja yang telah dimilikinya terhadap sistem yang diperiksa. Pada pengalaman belajar ini peserta didik dapat mengembangkan berfikir skematik untuk menentukan dari mana pemeriksaan dilakukan.

TUGAS 5 ; Kembangkan pengalaman belajar pembentukan perkembangan berfikir C2 dan C3 peserta didik dari mata pelajaran yang anda ampu dengan pendekatan saintifik

6. Pengembangan Pengalaman Belajar Menganalisis dan Evaluasi

Pengembangan pengalaman belajar tingkat C4 yakni analisis merupakan penguraian materi kedalam bagian-bagian dan bagaimana bagian-bagian tersebut saling berhubungan satu sama lainnya dalam keseluruhan struktur. Adapun pengalaman belajar mengevaluasi (C5); merupakan kemampuan membuat keputusan berdasarkan kriteria dan standar. Pengalaman belajar tingkat analisis dan evaluasi dapat menggunakan model pembelajaran berbasis masalah atau pemecahan masalah, dimana pendidik dapat menggunakan problem sebagai pemotivasi belajar peserta didik yang lebih lanjut membentuk peserta didik sebagai pemecah masalah. Pengalaman belajar memecahkan masalah dapat dilakukan jika peserta didik telah memiliki pengalaman belajar pada tingkat C2 dan C3 sebagai *prerequesit* yang

memungkinkan terbentuknya pengalaman belajar menganalisis dan evaluasi. Sebagai contoh langkah-langkah pengembangan pengalaman belajar pada keahlian otomotif dapat dilakukan sebagai berikut:

Mengidentifikasi dan Merumuskan masalah

- Peserta didik memperhatikan permasalahan yang disampaikan pendidik mengenai gangguan (*fault*) yang terjadi pada kendaraan (mobil) ketika saat digunakan.
- Peserta didik melakukan observasi pada objek latihan (*training object*)
- Peserta didik mendiskusikan dalam kelompok tentang masalah yang terjadi pada kendaraan.
- Pendidik menstimulus dengan pertanyaan pemandu mengapa terjadi gangguan, apa akibat jika pengemudi membiarkan gangguan tersebut dan apa yang harus diketahui untuk dapat mengidentifikasi gangguan pada masalah yang dibahas.
- Peserta didik melakukan penggalian informasi berkaitan dengan konsep dan prinsip dari Kompetensi Dasar yang dipelajari dari modul yang disiapkan pendidik
- Peserta didik melakukan pertanyaan didalam kelompok berkaitan dengan faktor-faktor kemungkinan penyebab gangguan dan melakukan tutorial sebaya
- Peserta didik merumuskan kemungkinan penyebab utama gangguan pada sistem yang ada pada kendaraan

Mengembangkan kemungkinan penyebab, mendiagnosa, melakukan tindakan perbaikan berdasarkan penentuan letak gangguan, dan melakukan pengayaan berdasarkan perkembangan teknologi

- Pendidik memberikan pertanyaan pemandu bagaimana cara menentukan kemungkinan penyebab yang sistematis dan dari mana memulainya.
- Pendidik membimbing (tutorial kelompok) peserta didik dalam mengembangkan alur atau *schemata* cara menentukan kemungkinan penyebab gangguan berdasarkan aliran listrik.

- Berdasarkan penggalan informasi dan diskusi peserta didik dalam kelompok mengembangkan alur cara menentukan kemungkinan penyebab gangguan.
- Setiap siswa menyampaikan pedapatnya dalam kelompok tentang cara menelusuri letak masalah beserta alasannya.
- Pendidik menanyakan langkah awal cara memeriksa dalam menentukan letak gangguan serta memeriksa hubungan antara komponen baik secara manual maupun alat ukur.
- Peserta didik mengobservasi pada sistem kemungkinan-kemungkinan gangguan dan menyampaikan hasil observasi berdasarkan fakta.
- Peserta didik memeriksa secara manual dan dengan alat ukur hubungan antar komponen serta menyampaikan hasil pemeriksaannya pada kelompok luas berdasarkan fakta hasil pengukuran.
- Peserta didik melakukan diagnosa dengan menganalisis hasil-hasil pemeriksaan, menyimpulkan letak gangguan dan menentukan kemungkinan kerusakan serta solusi perbaikannya.
- Peserta didik menyampaikan simpulan letak gangguan pada kelompok besar dan menanggapi pertanyaan berdasarkan konsep, prinsip dan hasil pemeriksaan
- Pendidik menanyakan langkah-langkah perbaikan dan melakukan bimbingan pada peserta didik berkaitan pelaksanaan perbaikan komponen.
- Peserta didik melakukan pembongkaran, penggantian komponen dan perakitan kembali sistem dengan panduan service manual.
- Pendidik menstimulus dengan pertanyaan pemandu pada peserta didik berkaitan dengan pengayaan materi sesuai dengan perkembangan teknologi yang diterapkan pada sistem dewasa ini
- Peserta didik menggali informasi dari hand out yang diberikan pendidik berkaitan dengan konstruksi dan prinsip kerja serta mengobservasi komponen.
- Peserta didik mendiskusikan perbedaan konstruksi dan prinsip kerja dengan tipe konvensional, mempresentasikan prinsip kerja dan kelebihan dari teknologi baru serta kemungkinan gangguan dan cara mengatasinya.

Mengevaluasi hasil solusi masalah dan konfirmasi pemecahan masalah

- Peserta didik melakukan evaluasi terhadap perakitan dan perbaikan berdasarkan SOP dengan menguji performan sistem tanpa beban di luar kendaraan serta mengetes dengan beban yang berbeda-beda pada kendaraan dengan di dampingi pendidik.
- Pendidik memberikan stimulus melalui pertanyaan pemandu, apa yang peserta didik sarankan kepada *user* apabila sistem mengalami kerusakan pada komponen utama.
- Peserta didik menyampaikan pandangannya berkaitan dengan kerusakan pada komponen utama dan solusi perbaikannya sesuai SOP dan harga keekonomisan.
- Peserta didik melakukan refleksi terhadap perbaikan sistem yang mengalami gangguan pada kendaraan.

Tugas 6. Cermati contoh perancangan pengalaman belajar melalui model pemecahan masalah di atas, dan berikan pendapat perkembangan berfikir apa yang dapat dibentuk melalui model belajar tersebut

7. Memilih Model Perancangan Belajar Konstruksivisme

Pada Kurikulum 2013 dikembangkan 3 (tiga) model pembelajaran utama yang diharapkan dapat membentuk perilaku saintifik, perilaku sosial serta mengembangkan rasa keingintahuan. Ketiga model tersebut adalah: model Pembelajaran Berbasis Masalah (*Problem Based Learning*), model Pembelajaran Berbasis Proyek (*Project Based Learning*), dan model Pembelajaran Melalui Penyingkapan/Penemuan (*Discovery/Inquiry Learning*). Tidak semua model pembelajaran tepat digunakan untuk semua KD/materi pembelajaran. Model pembelajaran tertentu hanya tepat digunakan untuk materi pembelajaran tertentu pula. Demikian sebaliknya mungkin materi pembelajaran tertentu akan dapat berhasil maksimal jika menggunakan model pembelajaran tertentu. Untuk itu guru

harus menganalisis rumusan pernyataan setiap KD, apakah cenderung pada pembelajaran penyingkapan (*Discovery/Inquiry Learning*) atau pada pembelajaran hasil karya (*Problem Based Learning* dan *Project Based Learning*). Di bawah ini diberikan rambu-rambu cara memilih model pembelajaran dari Kompetensi Dasar yang akan diajarkan.

Rambu-rambu penentuan model penyingkapan/penemuan:

- a. Pernyataan KD-3 dan KD-4 mengarah ke pencarian atau penemuan;
- b. Pernyataan KD-3 lebih menitik beratkan pada pemahaman pengetahuan faktual, konseptual, dan procedural; dan
- c. Pernyataan KD-4 pada taksonomi mengolah dan menalar.

Rambu-rambu penemuan model hasil karya (*Problem Based Learning* dan *Project Based Learning*):

- a. Pernyataan KD-3 dan KD-4 mengarah pada hasil karya berbentuk jasa atau produk;
- b. Pernyataan KD-3 pada bentuk pengetahuan metakognitif;
- c. Pernyataan KD-4 pada taksonomi menyaji dan mencipta, dan
- d. Pernyataan KD-3 dan KD-4 yang memerlukan persyaratan penguasaan pengetahuan konseptual dan prosedural.

Masing-masing model pembelajaran tersebut memiliki urutan langkah kerja (*syntax*) tersendiri, yang dapat diuraikan sebagai berikut.

- a. Model Pembelajaran Penyingkapan (Penemuan dan pencarian/penelitian)

Model *Discovery Learning* adalah memahami konsep, arti, dan hubungan, melalui proses intuitif untuk akhirnya sampai kepada suatu kesimpulan (Budiningsih, 2005:43). *Discovery* terjadi bila individu terlibat, terutama dalam penggunaan proses mentalnya untuk menemukan beberapa konsep dan prinsip.

Discovery dilakukan melalui observasi, klasifikasi, pengukuran, prediksi, penentuan dan *inferi*. Proses tersebut disebut *cognitive process* sedangkan *discovery* itu sendiri adalah *the mental process of assimilating concepts and principles in the mind* (Robert B. Sunddalam Malik, 2001:219).

1) Sintaksis model *Discovery Learning*

- a) Pemberian rangsangan (*Stimulation*);
- b) Pernyataan/Identifikasi masalah (*Problem Statement*);
- c) Pengumpulan data (*Data Collection*);
- d) Pembuktian(*Verification*), dan
- e) Menarik simpulan/generalisasi (*Generalization*).

2) Sintaksis model *Inquiry Learning* Terbimbing

Model pembelajaran yang dirancang membawa peserta didik dalam proses penelitian melalui penyelidikan dan penjelasan dalam *setting* waktu yang singkat (Joice&Wells, 2003).

Merupakan kegiatan pembelajaran yang melibatkan secara maksimal seluruh kemampuan siswa untuk mencari dan menyelidiki sesuatu secara sistematis kritis dan logis sehingga mereka dapat merumuskan sendiri temuannya.

Sintaksis/tahap model inkuiri terbimbing meliputi:

- a) Orientasi masalah;
- b) Pengumpulan data dan verifikasi;
- c) Pengumpulan data melalui eksperimen;
- d) Pengorganisasian dan formulasi eksplanasi, dan
- e) Analisis proses inkuiri.

b. Model Pembelajaran Hasil Karya *Problem Based Learning (PBL)*

Merupakan pembelajaran yang menggunakan berbagai kemampuan berpikir dari peserta didik secara individu maupun kelompok serta lingkungan nyata untuk mengatasi permasalahan sehingga bermakna, relevan, dan kontekstual (Tan Onn Seng, 2000).

Tujuan PBL adalah untuk meningkatkan kemampuan dalam menerapkan konsep-konsep pada permasalahan baru/nyata, pengintegrasian konsep *High Order Thinking Skills* (HOTS), keinginan dalam belajar, mengarahkan belajar diri sendiri dan keterampilan (Norman and Schmidt).

- 1) Sintaksis model *Problem Based Learning* dari Bransford and Stein (dalam Jamie Kirkley, 2003:3) terdiri atas:
 - a) Mengidentifikasi masalah;
 - b) Menetapkan masalah melalui berpikir tentang masalah dan menseleksi informasi-informasi yang relevan;
 - c) Mengembangkan solusi melalui pengidentifikasi alternatif-alternatif, tukar-pikiran dan mengecek perbedaan pandang;
 - d) Melakukan tindakan strategis, dan
 - e) Melihat ulang dan mengevaluasi pengaruh-pengaruh dari solusi yang dilakukan.
 - 2) Sintaksis model *Problem Solving Learning Jenis Trouble Shooting* (David H. Jonassen, 2011:93) terdiri atas:
 - a) Merumuskan uraian masalah;
 - b) Mengembangkan kemungkinan penyebab;
 - c) Mengetes penyebab atau proses diagnosis, dan
 - d) Mengevaluasi.
- c. Model pembelajaran *Project Based Learning (PjBL)*.

Pembelajaran otentik menggunakan proyek nyata dalam kehidupan yang didasarkan pada motivasi yang tinggi, pertanyaan yang menantang, tugas-tugas atau permasalahan untuk membentuk penguasaan kompetensi yang dilakukan secara kerjasama dalam upaya memecahkan masalah (Barel, 2000 and Baron 2011).

Tujuan PjBL adalah meningkatkan motivasi belajar, *team work*, keterampilan kolaborasi dalam pencapaian kemampuan akademik level tinggi/taksonomi tingkat kreativitas yang dibutuhkan pada abad 21 (Cole & Wasburn Moses, 2010).

Sintaksis/tahapan model pembelajaran *Project Based Learning*, meliputi:

- 1) Penentuan pertanyaan mendasar (*Start with the Essential Question*);
- 2) Mendesain perencanaan proyek;
- 3) Menyusun jadwal (*Create a Schedule*);

- 4) Memonitor peserta didik dan kemajuan proyek (*Monitor the Students and the Progress of the Project*);
- 5) Menguji hasil (*Assess the Outcome*), dan
- 6) Mengevaluasi pengalaman (*Evaluate the Experience*).

Tugas 7. Tentukan model pembelajaran dari KD mata pelajaran yang anda ampu menggunakan tabel 3. Di bawah ini dengan menggunakan kriteria pemilihan model pembelajaran yang telah di jelaskan di atas.

Tabel 1. Penentuan Model Pembelajaran Mata Pelajaran

No.	Kompetensi Dasar	Model Pembelajaran	Keterangan

8. Pembuatan Model Perancangan Belajar

Agar memudahkan langkah pemaduan/pensinkronan pendekatan dengan model pembelajaran yang dipilih atas dasar hasil analisis, dapat menggunakan matrik perancah sebagai pertolongan sebelum dituliskan menjadi kegiatan inti pada RPP. Pemaduan atau pensinkronan antara langkah-langkah pendekatan saintifik dan sintaksis (langkah kerja) model pembelajaran dilakukan sebagai berikut.

1. Pilih pasangan KD-KD dari mata pelajaran yang diampu sesuai dengan silabus.

2. Rumuskan IPK dari KD3 dan dari KD4 sesuai dengan dimensi proses atau level pengetahuan dan dimensi kategori pengetahuan dan keterampilan yang terkandung di masing-masing KD. Setiap KD minimal memiliki 2 (dua) indikator.
3. Petakan pemilihan model pembelajaran sesuai KD dengan mempertimbangkan rambu-rambu pemilihan model pembelajaran.
4. Pilih model pembelajaran sesuai KD dengan mempertimbangkan rambu-rambu pemilihan model pembelajaran.

Contoh :

Matrik Perancah Pemaduan Sintaksis Model Pembelajaran *Problem Based Learning* dan Pendekatan Saintifik pada Mapel Kelistrikan Alat Berat

- KI 3. Memahami, menerapkan, menganalisis, dan mengevaluasi pengetahuan faktual, konseptual, prosedural, dan metakognitif dalam ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dengan wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidang kerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.
- KI 4. Mengolah, menalar, menyaji, dan mencipta dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung.

Kompetensi Dasar	IPK	Tujuan Pembelajaran	Sintaksis model Problem Based Learning	Pendekatan Saintifik				
				Mengamati (mengidentifikasi masalah)	Menanya (merumuskan masalah/hipotesis)	Mengumpulkan Informasi (menguji hipotesis)	Menalar (menyimpulkan hasil dr hipotesis)	Mengomunikasikan (memformulasikan pembuktian hipotesis)
		orang lain.		- Guru menyam paikan permasalahan tentang tidak hidupnya lampu kepala, lampu stop, lampu parking. - Guru menanyakan dan menganugaskan untuk mengobs				

Kompetensi Dasar	IPK	Tujuan Pembelajaran	Sintaksis model Problem Based Learning	Pendekatan Saintifik				
				Mengamati (mengidentifikasi masalah)	Menanya (merumuskan masalah/hipotesis)	Mengumpulkan Informasi (menguji hipotesis)	Menalar (menyimpulkan hasil dr hipotesis)	Mengomunikasikan (memformulasikan pembuktian hipotesis)
3.3 Menentukan teknik perbaikan ringan pada sistem penerangan alat berat.	1. Mengur utkan teknik perbaikan ringan pada sistem penerangan alat berat.	1. Melalui menggali informasi dari referensi dan diskusi siswa dapat mengurutkan teknik perbaikan ringan pada sistem penerangan alat berat sesuai buku literatur dengan teliti, santun, bekerjasama dan menghargai pendapat	1. Merumuskan uraian masalah.	- Guru menyam paikan permasalahan tentang tidak hidupnya lampu kepala, lampu stop, lampu parking. - Guru menanya kan dan mengas kan untuk mengulas				

Kompetensi Dasar	IPK	Tujuan Pembelajaran	Sintaksis model Problem Based Learning	Pendekatan Saintifik				
				Mengamati (mengidentifikasi masalah)	Menanya (merumuskan masalah/hipotesis)	Mengumpulkan Informasi (menguji hipotesis)	Menalar (menyimpulkan hasil dr hipotesis)	Mengomunikasikan (memformulasikan pembuktian hipotesis)
				secara berkelompok mengobservasi gangguan yang terjadi pada sistem penerangan alat berat.				
			2. Mengembangkan kemungkinan penyebab.	• Siswa menggali informasi tentang sistem penerangan alat berat				

Kompetensi Dasar	IPK	Tujuan Pembelajaran	Sintaksis model Problem Based Learning	Pendekatan Saintifik				
				Mengamati (mengidentifikasi masalah)	Menanya (merumuskan masalah/hipotesis)	Mengumpulkan Informasi (menguji hipotesis)	Menalar (menyimpulkan hasil dr hipotesis)	Mengomunikasikan (memformulasikan pembuktian hipotesis)
				pada software training manual berbagai jenis alat berat. Siswa mendiskusikan kemungkinan gangguan berdasarkan hasil observasi dan pembacaan sistem penerangan alat				

Kompetensi Dasar	IPK	Tujuan Pembelajaran	Sintaksis model Problem Based Learning	Pendekatan Saintifik				
				Mengamati (mengidentifikasi masalah)	Menanya (merumuskan masalah/hipotesis)	Mengumpulkan Informasi (menguji hipotesis)	Menalar (menyimpulkan hasil dr hipotesis)	Mengomunikasikan (memformulasikan pembuktian hipotesis)
				berat. Berdasarkan hasil diskusi siswa mengidentifikasi kemungkinan nan- kemungki nan gangguan pada sistem penerangan alat berat.				

Kompetensi Dasar	IPK	Tujuan Pembelajaran	Sintaksis model Problem Based Learning	Pendekatan Saintifik				
				Mengamati (mengidentifikasi masalah)	Menanya (merumuskan masalah/hipotesis)	Mengumpulkan Informasi (menguji hipotesis)	Menalar (menyimpulkan hasil dr hipotesis)	Mengomunikasikan (memformulasikan pembuktian hipotesis)
					Guru menugaskan siswa untuk menentukan			

Kompetensi Dasar	IPK	Tujuan Pembelajaran	Sintaksis model Problem Based Learning	Pendekatan Saintifik				
				Mengamati (mengidentifikasi masalah)	Menanya (merumuskan masalah/hipotesis)	Mengumpulkan Informasi (menguji hipotesis)	Menalar (menyimpulkan hasil dr hipotesis)	Mengomunikasikan (memformulasikan pembuktian hipotesis)
					lampu stop, lampu parking. • Siswa berdasarkan diskusi dan observasi merumuskan masalah- masalah penyebab gangguan tidak hidupnya lampu kepala, lampu stop, lampu parking. • Guru menugaskan siswa			

Kompetensi Dasar	IPK	Tujuan Pembelajaran	Sintaksis model Problem Based Learning	Pendekatan Saintifik				
				Mengamati (mengidentifikasi masalah)	Menanya (merumuskan masalah/hipotesis)	Mengumpulkan Informasi (menguji hipotesis)	Menalar (menyimpulkan hasil dr hipotesis)	Mengomunikasikan (memformulasikan pembuktian hipotesis)
2. Mendiagnosis gangguan ringan pada sistem peredaran alat berat.	2. Melalui informasi dari referensi dan diskusi siswa dapat mendiagnosis gangguan ringan pada sistem peredaran alat berat.	2. Melalui informasi dari referensi dan diskusi siswa dapat mendiagnosis gangguan ringan pada sistem peredaran alat berat sesuai buku literatur dengan teliti, santun, bekerjasama dan menghargai pendapat orang lain.	3. Mengetes penyebab atau proses diagnosa.			• Guru menugaskan siswa untuk melakukan pemeriksaan berdasarkan urutan pemeriksaan gangguan tidak hidupnya lampu kepala, lampu stop, lampu parking yang telah siswa buat. • Siswa melakukan pengukuran menggunakan AVO meter berdasarkan		

Kompetensi Dasar	IPK	Tujuan Pembelajaran	Sintaksis model Problem Based Learning	Pendekatan Saintifik				
				Mengamati (mengidentifikasi masalah)	Menanya (merumuskan masalah/hipotesis)	Mengumpulkan Informasi (menguji hipotesis)	Menalar (menyimpulkan hasil dr hipotesis)	Mengomunikasikan (memformulasikan pembuktian hipotesis)
						urutan skema penelusuran gangguan sesuai service manual. • Siswa mencatat dan membandingkan hasil pengukurannya dengan data pada service manual. • Siswa menentukan letak gangguan.		
4.3 Memperbaiki kerusakan pada ringan pada sistem	Memperbaiki kerusakan	1. Melalui praktik siswa dapat memperbaiki				• Guru menugaskan siswa memperbaiki		

Kompetensi Dasar	IPK	Tujuan Pembelajaran	Sintaksis model Problem Based Learning	Pendekatan Saintifik				
				Mengamati (mengidentifikasi masalah)	Menanya (merumuskan masalah/hipotesis)	Mengumpulkan Informasi (menguji hipotesis)	Menalar (menyimpulkan hasil dr hipotesis)	Mengomunikasikan (memformulasikan pembuktian hipotesis)
		dengan teliti, konsisten, rasa percayadiri, teliti dan disiplin.					mencoba fungsi dari bagian yang telah diperbaiki. Siswa menyimpulkan hasil pemeriksaan perbaikan gangguan sesuai service manual.	
							- Guru menugaskan siswa untuk mempresentasikan proses dan hasil perbaikan ringan gangguan sistem penerangan alat berat. - Siswa membuat bahan presentasi tentang proses dan hasil perbaikan ringan gangguan sistem penerangan alat berat. - Siswa mempresentasikan	

Kompetensi Dasar	IPK	Tujuan Pembelajaran	Sintaksis model Problem Based Learning	Pendekatan Saintifik				Mengomunikasikan (memformulasikan pembuktian hipotesis)
				Mengamati (mengidentifikasi masalah)	Menanya (merumuskan masalah/hipotesis)	Mengumpulkan Informasi (menguji hipotesis)	Menalar (menyimpulkan hasil dr hipotesis)	
								tentan proses dan hasil perbaikan ringan gangguan sistem penerangan alat berat. • Guru membimbing dan menilai pelaksanaan presentasi • Siswa lain memberikan tanggapan dan masukan • Siswa memperbaiki hasil presentasi perbaikan ringan gangguan sistem penerangan alat berat. • Siswa secara individu membuat laporan pelaksanaan perbaikan ringan gangguan sistem penerangan alat berat. • Guru bersama siswa menyimpulkan dari hasil pelaksanaan presentasi

Kompetensi Dasar	IPK	Tujuan Pembelajaran	Sintaksis model Problem Based Learning	Pendekatan Saintifik			
				Mengamati (mengidentifikasi masalah)	Menanya (merumuskan masalah/hipotesis)	Mengumpulkan Informasi (menguji hipotesis)	Menalar (menyimpulkan hasil dr hipotesis)
					kemungkinan utama penyebab gangguan tidak hidupnya lampu kepala, lampu stop, lampu parking. Siswa mendiskusikan temuan berdasarkan observasi terhadap gangguan tidak hidupnya lampu kepala,		

Kompetensi Dasar	IPK	Tujuan Pembelajaran	Sintaksis model Problem Based Learning	Pendekatan Saintifik			
				Mengamati (mengidentifikasi masalah)	Menanya (merumuskan masalah/hipotesis)	Mengumpulkan Informasi (menguji hipotesis)	Menalar (menyimpulkan hasil dr hipotesis)
							Mengomunikasikan (memformulasikan pembuktian hipotesis) perbaikan ringan gangguan sistem penerangan alat berat.

F. Rangkuman

1. Konstruktivisme merupakan salah satu aliran filsafat pengetahuan yang menekankan bahwa pengetahuan kita merupakan hasil bentukan(Konstruksi) kita sendiri.
2. Pembelajaran Konstruktivisme adalah pembelajaran yang menjadikan seseorang secara aktif membangun pengetahuan dan pemahaman dengan mensintesis pengetahuan yang telah dimilikinya menjadi pengetahuan baru.
3. Pengetahuan merujuk pada pengalaman seseorang akan dunia, tetapi bukan dunia itu sendiri. Tanpa pengalaman seseorang tidak dapat membentuk pengetahuan. Pengalaman tidak hanya diartikan sebagai pengalaman fisik, tetapi juga pengalaman kognitif mental.
4. Pengalaman belajar merupakan aktifitas peserta didik dengan lingkungannya yang dibutuhkan untuk mencapai tujuan.
5. Pengalaman belajar ditentukan berdasarkan pertimbangan –pertimbangan yang meliputi kesesuaian dengan tujuan dari kompetensi dasar, jenis bahan / materi pembelajaran, ketersediaan sumber belajar, karakteristik siswa dan model pembelajaran.
6. Pengembangan pengalaman belajar berdasarkan pada prinsip- prinsip yaitu berorientasi pada tujuan, aktivitas , individualitas dan integritas.
7. Tahapan pengembangan pengalaman belajar menurut Permendiknas No. 103 tahun 2014 dibagi menjadi tiga tahap yaitu pra instruksional (pendahuluan), tahap instruksional (inti) dan tahap tindak lanjut, sedangkan pengalaman belajar dirancang guru terletak pada kegiatan intruksional atau kegiatan inti.
8. Langkah-langkah pendekatan saintifik meliputi kegiatan mengamati, menanya, mencoba / mengeksperimen, menganalisis, dan mengkomunikasikan.
9. Dalam mengimplementasikan pendekatan saintifik dapat menggunakan beberapa strategi seperti pendekatan kontekstual diantaranya *discovery learning, project based learning, problem based learning dan inquiry learning*.
10. Pengembangan pengalaman belajar memahami (C2) dan menerapkan (C3) menggunakan modus pembelajaran langsung (*direct instructional*) dan pembelajaran tidak langsung (*indirect instructional*). Pendekatan langsung

diartikan pembelajaran yang mengembangkan pengetahuan peserta didik melalui interaksi langsung dengan sumber belajar yang dirancang dalam RPP.. Sedangkan pembelajaran tak langsung artinya pembelajarn yang terjadi selama proses pembelajaran langsung yang dikondisikan menghasilkan dampak pengiring.

11. Pengembangan pengalaman belajar tingkat pemahaman merupakan kemampuan mengkontruksi makna dari pesan pembelajaran baik secara lisan, tulisan maupun grafik. Sedangkan pengembangan pengalaman belajar penerapan merupakan kemampuan dalam penggunaan prosedur dalam situasi yang diberikan atau situasi baru.
12. Pengembangan Pengalaman Belajar ranah ‘Menganalisis’ dan ‘Evaluasi’,
 - a. Pengembangan Pengalaman Belajar ranah ‘Menganalisis’
Pengembangan pengalaman belajar tingkat C4 yakni analisis merupakan penguraian materi ke dalam bagian-bagian dan bagaimana bagian-bagian tersebut saling berhubungan satu sama lainnya dalam keseluruhan struktur.
 - b. Pengembangan Pengalaman Belajar Ranah Evaluasi
Pengalaman belajar mengevaluasi (C5); merupakan kemampuan membuat keputusan berdasarkan criteria dan standar
13. Memilih Model Perancangan Belajar Konstruksivisme
Penentuan model Perancangan Pengalaman Belajar Konstruktivisme harus mengikuti kriteria karena masing-masing model pembelajaran memiliki urutan langkah kerja (*syntax*) tersendiri.
14. Pembuatan model perancangan belajar
Untuk memudahkan pembuatan model perancangan belajar dapat menggunakan langkah pepaduan/pensinkronan pendekatan dengan model pembelajaran yang dipilih atas dasar hasil analisis, dapat menggunakan matrik perancah sebagai pertolongan sebelum dituliskan menjadi kegiatan inti pada RPP.

G. Tes Formatif

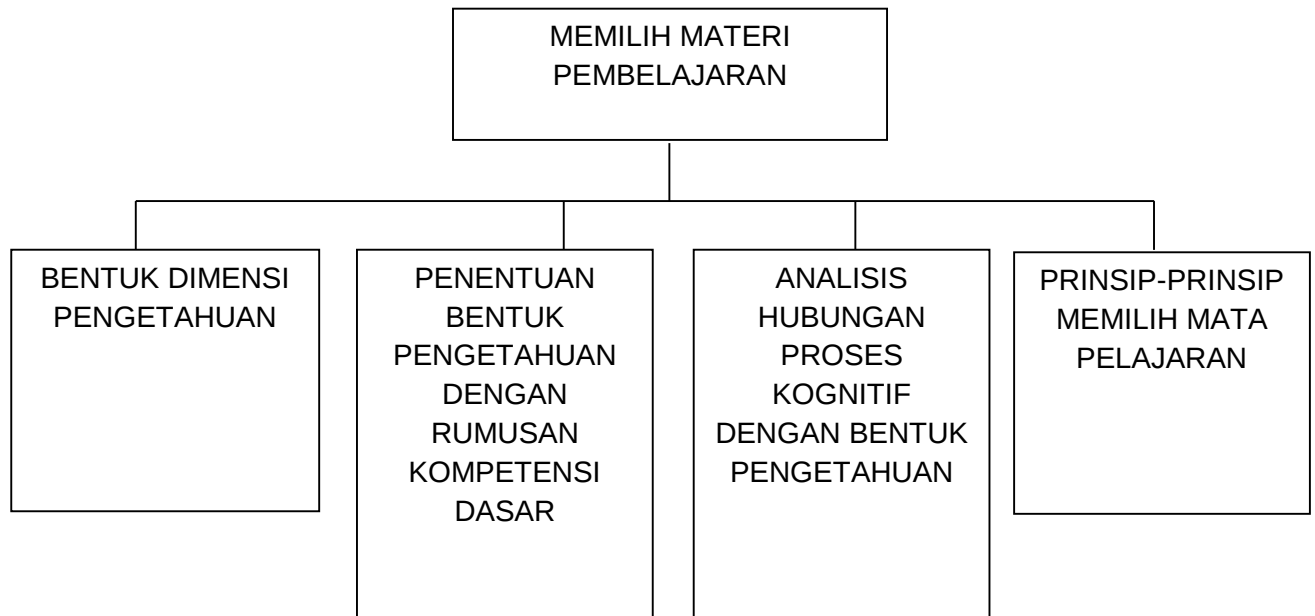
Jawablah pertanyaan dibawah ini dengan tepat.

1. Aliran filsafat pengetahuan yang menekankan bahwa pengetahuan merupakan hasil bentukan dari konstruksi kita sendiri disebut.....
2. Pendekatan belajar konstruktivisme adalah
3. Aktivitas peserta didik dengan lingkungan yang dibutuhkan untuk mencapai tujuan peserta didik tentang apa yang akan dan telah diinteraksikan dalam pembelajaran disebut
4. Pengembangan pengalaman belajar ditentukan berdasarkan kesesuaian dengan jenis bahan atau materi pembelajaran, maksudnya adalah.....
5. Pengembangan pengalaman belajar disusun berdasarkan prinsip aktivitas dan individualitas artinya.....
6. Prinsip-prinsip pengembangan pengembangan pengalaman belajar menurut permendiknas no.103 tahun 2014 adalah.....
7. Menurut kurikulum nasional merancang pengalaman belajar menggunakan penekatan
8. Langkah-langkah pendekatan saintifik dimulai dari tahap mengamati, menanya, mencoba, menganalisis dan mengkomunikasikan. Jelaskan langkah-langkah pendekatan tersebut.....
9. Strategi yang digunakan dalam pendekatan saintifik adalah pendekatan kontekstual yang meliputi model pembelajaran discovery learning, project based learning, problem based learning dan inquiry learning. Jelaskan model-model pembelajaran tersebut.
10. kriteria=kriteria dalam menentukan model pembelajaran penyingkapan dan model hasil karya adalah

11. Pengalaman belajar menurut taksonomi Bloom menggunakan modus pembelajaran langsung dan tidak langsung. Uraikan maksud dari kedua pembelajaran tersebut.
12. Pengembangan pengalaman belajar untuk level memahami dan menerapkan adalah.....
13. Pengembangan pengalaman belajar untuk level menganalisis dan mengevaluasi adalah.....
14. Merancang pengalaman belajar dengan menggunakan model pembelajaran discovery learning memiliki kriteria yang telah ditetapkan. Uraikan langkah-langkah dalam model pembelajaran discovery learning.
15. Tahapan atau sintak model pembelajaran project based learning adalah.....

Kegiatan Pembelajaran 2 : Pemilihan Materi Pembelajaran

PETA KONSEP



A. Tujuan Pembelajaran

Melalui penggalian informasi, diskusi dan latihan yang dirancang pada modul ini peserta dapat:

1. Mengklasifikasi berbagai bentuk dimensi pengetahuan sesuai informasi pada modul secara tepat dan teliti
2. Menentukan dimensi pengetahuan dari KD-3 pada silabus mata pelajaran yang di ampu sesuai kaidah taksonomi secara tepat dan teliti
3. Memilih materi pembelajaran. sesuai kaidah taksonomi secara tepat dan teliti

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Menjelaskan pembagian materi menurut Schulman

2. menjelaskan berbagai bentuk dimensi pengetahuan.
3. Menentukan bentuk pengetahuan dari rumusan KD-3
4. Menganalisis hubungan KD-3 dengan bentuk pengetahuan dan kategori tingkatan berfikir
5. Menjelaskan prinsip-prinsip dalam memilih materi pembelajaran

C. Lingkup Materi

1. Klasifikasi Bentuk Dimensi Pengetahuan
2. Menentukan bentuk pengetahuan dari rumusan KD-3
3. Analisis hubungan KD-3 dan bentuk pengetahuan
4. Prinsip-prinsip memilih materi pembelajaran

D. Langkah-langkah.

Materi pelatihan ini dirancang untuk dipelajari oleh Guru. Selain disajikan prinsip-prinsip dan contoh yang dilakukan dalam bentuk individu, dan diskusi kelompok, juga digunakan latihan sebagai bentuk pendalaman materi yang mendorong kreativitas untuk berinovasi. Pelaksanaan pembelajaran menggunakan pendekatan andragogi, yaitu lebih mengutamakan pengungkapan kembali pengalaman peserta pelatihan, menganalisis, menyimpulkan, dan menggeneralisasi dalam suasana diklat yang aktif, inovatif, kreatif, efektif, menyenangkan, dan bermakna.

1. Aktivitas individual meliputi:
 - a. memahami dan mencermati materi pelatihan;
 - b. mengerjakan latihan/tugas, menyelesaikan masalah/kasus pada setiap kegiatan belajar;
 - c. menyimpulkan materi pengembangan pengalaman belajar;
 - d. melakukan refleksi.
2. Aktivitas kelompok meliputi:
 - a. mendiskusikan materi pelatihan;
 - b. bertukar pengalaman (*sharing*) dalam melakukan latihan menyelesaikan masalah/kasus;
 - c. membuat rangkuman;

E. Uraian Materi

Pengembangan kurikulum SMK yang digunakan tahun 2006 maupun Kurikulum 2013 menggunakan pendekatan kompetensi, dimana kompetensi menurut Whiddett dan Sarah Hollyforde (1999:5) “ *An ability based on work tasks or job outputs tends to be referred to as a competence*”. Merujuk pada pengertian tersebut kurikulum SMK berisikan rumusan-rumusan kemampuan atau Kompetensi Dasar baik pengetahuan, keterampilan maupun sikap yang harus dikuasai peserta didik. Perumusan Kompetensi Dasar pada kurikulum 2013 menggunakan tingkatan gradasi sesuai tuntutan Kompetensi Inti (Ki), dari rentang memahami (C2) hingga evaluasi (C5) sebagai bentuk *cognitive process dimension*. Untuk mencapai kemampuan tersebut diperlukan pengalaman belajar-pengalaman belajar yang memungkinkan perkembangan berfikir dan perkembangan keterampilan sesuai dengan tuntutan rumusan Kompetensi Dasar. Hal lain pada rumusan Kompetensi Dasar juga berisi bentuk pengetahuan, yang terbagi menjadi dua jenis seperti menurut Shulman,1987 pada A Taxonomy for Learning (Anderson,2001:13) “Content knowledge and paedagogical content knowledge” yakni substansi mata pelajaran (*content knowledge*) seperti deret ukur pada matematika, hukum archimides pada fisika dan bentuk pengetahuan itu sendiri yang diistilahkan *knowledge dimension* . Bentuk pengetahuan terdiri dari tingkatan isi materi dari bentuk pengetahuan fakta, konsep, prosedural dan metakognitif. Untuk itu pendidik sebagai pengembang pengalaman pembelajaran tidak saja dia mampu merancang pengalaman belajar berdasarkan perkembangan berfikir peserta didik (*Cognitive process dimenssion*), tetapi lebih jauh juga dapat menentukan bentuk pengetahuan (*knowledge dimension*) yang bagaimana yang perlu peserta didik capai sesuai tuntutan Kompetensi Dasar atau Indikator Pencapaian Kompetensi (IPK) yang telah dirumuskan.

1. Bentuk Materi (*Knowledge Dimension*)

Terdapat pemilihan bentuk materi pada taksonomi Bloom yang diperbaiki Anderson menjadi empat (4) tipe dan dapat membantu anda sebagai guru membedakan bentuk-bentuk pengetahuan apa yang harus diajarkan. Adapun bentuk pengetahuan tersebut terdiri dari bentuk pengetahuan faktual; konseptual; prosedural dan metakognitif.

a. Bentuk pengetahuan Faktual

yakni pengetahuan terminologi atau pengetahuan detail yang spesifik dan elemen. Contoh fakta bisa berupa kejadian atau peristiwa yang dapat dilihat, didengar, dibaca, atau diraba. Seperti Engine mobil hidup, lampu menyala, rem yang pakem/blong. Contoh lain: simbol musik, Arsip dan dokumen.

b. Bentuk pengetahuan Konseptual

merupakan pengetahuan yang lebih kompleks yang merupakan hubungan dari sejumlah elemen sebagai sistem yang memungkinkan bekerja saling berhubungan berbentuk klasifikasi, kategori, prinsip dan generalisasi serta teori. Contohnya fungsi kunci kontak pada Engine mobil, prinsip kerja starter, prinsip kerja lampu, prinsip kerja rem. Contoh lain: Pengertian Arsip dan dokumen, teori evolusi serta struktur DPR.

c. Bentuk pengetahuan Prosedural

merupakan pengetahuan bagaimana melakukan sesuatu, metoda pencarian dan termasuk pengetahuan keterampilan, algoritma (urutan langkah-langkah logis pada penyelesaian masalah yang disusun secara sistematis), teknik, dan metoda seperti langkah-langkah membongkar engine, langkah-langkah mengganti lampu, langkah-langkah mengganti sepatu rem. Contoh lain: Langkah-langkah menyusun arsip sistem alphabet dan geografik, teknik interviu.

d. Bentuk pengetahuan Metakognitif

yaitu pengetahuan tentang kognisi (pengetahuan tentang mental proses yang berhubungan dengan mengetahui dan memahami) yang merupakan tindakan atas dasar suatu pemahaman meliputi kesadaran dan pengendalian berpikir, serta penetapan keputusan tentang sesuatu. Sebagai contoh menentukan kerusakan pada engine, Merancang instalasi kelistrikan lampu, menentukan penyebab kegagalan panen. Contoh lain: Apa yang terjadi jika penyimpanan arsip tidak tepat, menilai kelemahan dan kekuatan cerpen.

TUGAS 1 : KD-3 Menilai ulang hasil perbaikan Komputer.

Berdasarkan pernyataan KD tersebut anda sebagai pengampu mata pelajaran tersebut harus menentukan bentuk pengetahuan yang harus di ajarkan. Bentuk pengetahuan yang tepat dari pernyataan KD di atas adalah

.....

2. Hubungan bentuk pengetahuan dengan Dimensi Proses Kognitif

Perencanaan pembelajaran merupakan salah satu tugas yang harus dilakukan oleh seorang guru dalam melaksanakan tugas profesinya. Untuk melakukan itu guru terlebih dahulu harus menganalisis Kompetensi Dasar yang akan diajarkan, yakni berkaitan dengan kedudukan pernyataan KD-3 berada pada tahapan gradasi mana, demikian pula berkaitan dengan KD-4 apakah pernyataannya dominan berbentuk keterampilan abstrak atau dominan keterampilan konkrit. Pemahaman guru terhadap hal tersebut akan memudahkan guru dalam mengembangkan indikator pencapaian kompetensi dan lebih lanjut mengembangkan tujuan pembelajaran.

Perumusan tujuan sangat tergantung pada tingkat gradasi yang digunakan pada penentuan indikator (kata kerja operasional) oleh guru terhadap tuntutan dari pernyataan Kompetensi Dasar yang akan diajarkan. Ini selanjutnya memiliki hubungan antara bentuk pengetahuan dengan dimensi proses kognitif (C-1 s.d C-6). Ini sejalan dengan yang diutarakan oleh Anderson pada *A Revision of Bloom's Taxonomy of Education Objective* (2001:107) "*For objective that involve remember, understanding, and apply, there generally is a direct correspondence between process category and type of knowledge*". Peserta didik yang dapat menyebutkan sesuatu maka dia akan mengingat (C-1) bentuk pengetahuan fakta. Lebih jelasnya hubungan tersebut diuraikan pada tabel 1.

No	Perkembangan Berfikir taksonomi Bloom Rivised Anderson (Cognitive Process Dimension)	Bentuk Pengetahuan (Knowledge Dimension)	Keterangan
1	Mengingat (C1)	Pengetahuan Faktual	Lower Order Thinking (LOT)
2	Menginterpretasi prinsip (Memahami/C2)	Pengetahuan Konseptual	
3	Menerapkan (C3)	Pengetahuan prosedural	
4	Menganalisis (C4); Mengevaluasi (C5) dan Mengkreasi(C6)	Pengetahuan Metakognitif	Higher Order Thinking (HOT's)

TUGAS 2 : Tentukan hubungan perkembangan berpikir dari silabus mata pelajaran yang anda ampu dengan bentuk pengetahuannya menggunakan tabel berikut.

Nama Mata Pelajaran :

Tingkat :

No	Rumusan KD-3 pada Silabus	Bentuk Pengetahuan (Knowledge Dimension)	Keterangan
1			Lower Order Thinking (LOT)
2			
3			
4			Higher Order Thinking (HOT's)

3. Memilih Materi Pembelajaran (*content knowledge*)

Materi pembelajaran harus dipilih dengan tepat sebelum berlangsungnya proses pembelajaran agar ruang lingkup, urutan dan kedalaman materi pelajaran sesuai dengan kompetensi /kemampuan yang diharapkan muncul dari peserta didik.

a. Menentukan Ruang Lingkup (*scope*) Materi Pembelajaran

Menentukan ruang lingkup materi pembelajaran perlu dilakukan oleh pengajar agar materi pembelajaran yang disampaikan tidak terlalu banyak atau terlalu sedikit, namun memadai dan tepat sesuai dengan kompetensi dasar yang ingin dicapai. Prinsip-prinsip menentukan ruang lingkup materi pembelajaran diawali dengan menentukan jenis materi pembelajaran yaitu kognitif, afektif atau psikomotorik. Maksudnya agar jenis materi pembelajaran itu sesuai dengan strategi dan media pembelajaran yang digunakan. Prinsip berikutnya menentukan keluasan materi pembelajaran yaitu banyaknya materi pembelajaran yang dimasukkan ke dalam suatu materi pembelajaran. Selain keluasannya juga diperhatikan kedalaman ruang lingkup materi pembelajaran yang menunjukkan konsep-konsep secara detail yang terkandung di dalam materi itu yang harus dipelajari atau dikuasai oleh peserta didik. Prinsip ketiga adalah kecukupan (*adequansi*) materi pembelajaran yang memadai dan akan sangat membantu mencapai penguasaan kompetensi dasar yang telah ditentukan.

b. Menentukan Urutan Materi Pembelajaran

Penentuan urutan materi pembelajaran (*sequence*) diperlukan untuk menentukan urutan dalam mengajarkannya. Apalagi jika ada materi pelajaran yang bersifat prasyarat (*prerequisite*) yaitu materi pembelajaran harus berurutan dan bertahap atau meningkat. Prinsip-prinsip yang perlu diperhatikan dalam memilih materi pembelajaran yaitu :

1. Prinsip relevansi atau keterkaitan maksudnya pelajaran berkaitan dengan pencapaian kompetensi peserta didik.
2. Prinsip konsistensi atau ajeg, maksudnya materi pembelajaran yang harus dikuasai peserta didik.

3. Prinsip kecukupan atau memadai, maksudnya materi pembelajaran yang memadai untuk membantu peserta didik menguasai kompetensi yang diajarkan, tidak terlalu sedikit, atau tidak terlalu banyak dan tidak terlalu luas / mendalam atau sempit / dangkal.

Pemilihan materi pelajaran juga hendaknya dilakukan secara bertahap dan meningkat yaitu:

- a. Dari materi pembelajaran yang sederhana meningkat pada yang rumit atau sulit (komplek)
- b. Dari materi pembelajaran yang menggunakan tingkat berpikir rendah meningkat pada penggunaan kemampuan berpikir tingkat tinggi.
- c. Dari materi pembelajaran yang konkrit meningkat menuju ke yang abstrak.
Dari materi pembelajaran yang umum meningkat ke yang khusus yang memerlukan analisis yang mendalam.
- d. Menggunakan berpikir induktif (mulai dari mencari fakta dan diambil kesimpulannya) dan deduktif (mulai dengan rumusan konsep kemudian diuji berdasarkan fakta yang dapat diamati).
- e. Materi pembelajaran yang dipelajari berdasarkan pada kehidupan sehari-hari sehingga akan bermakna bagi peserta didik (meaningful)

Berdasarkan prinsip di atas, maka pemilihan materi pembelajaran dilakukan dengan langkah-langkah:

1. Mengidentifikasi Kompetensi (Tujuan)

Mengidentifikasi aspek, aspek yang terdapat dalam standar kompetensi dan kompetensi dasar yang menjadi acuan atau rujukan pemilihan materi pembelajaran yang harus dipelajari atau dikuasai peserta didik. Aspek-aspek itu perlu ditentukan karena standar kompetensi dan kompetensi dasar memerlukan jenis materi yang berbeda-beda untuk membantu pencapaiannya dalam kegiatan pembelajaran. Standar kompetensi dan kompetensi dasar yang harus dipelajari peserta didik meliputi domain kognitif, psikomotorik dan afektif

2. Mengidentifikasi Jenis-jenis materi pembelajaran

Jenis materi pembelajaran perlu diidentifikasi karena memerlukan Strategi, media, dan sistem evaluasi pembelajaran yang berbeda-beda. Jenis materi pembelajaran dapat dibedakan menjadi kognitif, afektif dan psikomotorik.

3. Memilih Sumber Materi Pembelajaran

Materi pembelajaran dapat ditemukan dari berbagai sumber seperti buku teks, buku paket, media cetak dan sebagainya. Pada era teknologi digital seperti sekarang ini, materi pembelajaran terdapat pula pada halaman- halaman web, pada portal-portal pendidikan. Jaringan internet sangat dibutuhkan oleh semua orang, khususnya tenaga pendidik.

TUGAS 3 : Tentukan prinsip-prinsip dalam memilih materi pembelajaran

F. Rangkuman

1. Bertitik tolak dari pengertian kompetensi adalah seperangkat pengetahuan, keterampilan dan sikap yang harus dikuasai oleh peserta didik, maka di dalam kurikulum berisikan rumusan-rumusan kemampuan (kompetensi dasar) baik pengetahuan, sikap dan keterampilan.
2. Di dalam kurikulum nasional rumusan kompetensi menggunakan gradasi sesuai dengan tuntutan kompetensi inti (KI) dari rentang memahami (C2) hingga evaluasi (C5) sebagai bentuk kognitif process dimension (dimensi proses pengetahuan) yang harus dicapai peserta didik.
3. Untuk mencapai kompetensi-kompetensi tersebut peserta didik perlu diberikan pengalaman belajar yang dapat meningkatkan perkembangan berfikir dan perkembangan keterampilan sesuai tuntutan rumusan kompetensi dasar.
4. Tingkatan isi materi berdasarkan bentuk pengetahuan terdiri dari jenis materi fakta, konsep, prosedur, dan metakognitif.
5. Menentukan hubungan bentuk pengetahuan dengan proses kognitif harus diawali dengan menganalisis KD 3 dan KD 4 yang akan diajarkan dengan kedudukan KD 3

berada pada gradasi mana, (C2 sampai dengan C6), sedangkan KD4 berbentuk keterampilan abstrak atau keterampilan konkrit. Dengan melakukan analisis ini akan memudahkan guru untuk mengembangkan indikator pencapaian kompetensi dan perumusan tujuan.

6. Proses pembelajaran akan tepat apabila materi pembelajaran yang dipilih guru tepat .Ketepatan pemilihan materi ini berkaitan dengan ruang lingkup, urutan dan kedalaman materi pelajaran sesuai dengan kompetensi / kemampuan yang diharapkan muncul dari peserta didik.
7. Prinsip-prinsip menentukan ruang lingkup(scope) materi pembelajaran dan urutan materi (squence) materi pembelajaran diawali dengan menentukan jenis materi pembelajaran,keluasan dan kedalaman materi pembelajaran serta kecukupan materi pembelajaran. Sedangkan urutan materi pembelajaran dilakukan untuk menentukan urutan dalam mengajarkannya.
8. Prinsip-prinsip dalam memilih materi pembelajaran yaitu prinsip relevansi atau keterkaitan, prinsip konsistensi atau keajegan dan prinsip kecukupan atau memadai.
9. Pemilihan materi pelajaran hendaknya dilakukan secara bertahap dan meningkat. Misalnya dari materi yang sederhana meningkat pada yang rumit, dari materi pelajaran yang menggunakan tingkat berpikir rendah meningkat pada penggunaan berpikir tingkat tinggi, dari materi pelajaran yang konkrit meningkat menuju materi pelajaran yang abstrak.
10. Langkah- langkah pemilihan materi pembelajaran yaitu mengidentifikasi kompetensi / tujuan, mengidentifikasi jenis-jenis materi pembelajaran, memilih sumber materi pembelajaran.

G. Test Formatif

Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan tepat

1. Kurikulum nasional menggunakan pendekatan kompetensi. Kompetensi yang dimaksud adalah.....
2. Kompetensi/ kemampuan yang terdapat dalam kurikulum berisikan rumusan kompetensi yang meliputi

3. Rumusan kompetensi pada kurikulum nasional menggunakan tingkatan gradasi sesuai tuntutan kompetensi inti yang dimulai dari rentang.....
4. Bentuk pengetahuan menurut Shulman terbagi atas.....
5. Pemilihan isi materi harus berdasarkan pada bentuk pengetahuan yang meliputi.....
6. Pengetahuan terminologi atau pengetahuan detail yang merupakan pernyataan benda- benda atau peristiwa yang terjadi adalah.....
7. Pengetahuan yang merupakan hubungan dari sejumlah elemen sebagai sistem yang berkaitan adalah bentuk pengetahuan.....
8. Pengetahuan bagaimana melakukan sesuatu berdasarkan persyaratan-persyaratan tertentu adalah bentuk pengetahuan.....
9. Pengetahuan tentang mental proses yang berhubungan dengan pemahaman sebagai tindakan atas dasar suatu pemahaman adalah bentuk pengetahuan.....
10. Mengingat, memahami, menerapkan, menganalisis, mengevaluasi dan mengkreasi merupakan tingkatan perkembangan
11. Menentukan ruang lingkup materi pembelajaran,menentukan keluasan materi pembelajaran dan kecukupan materi pembelajaran merupakan
12. Prinsip-prinsip yang perlu diperhatikan dalam pemilihan materi pembelajaran adalah.....
13. Langkah – langkah dalam pemilihan materi pembelajaran adalah.....
14. Pemilihan materi pembelajaran hendaknya dilakukan secara bertahap dan meningkat yaitu
15. Jenis materi pembelajaran yang akan dipilih perlu diidentifikasi agar.....

Kegiatan Pembelajaran 3 : Aspek Perancangan Pembangunan PLTB

A. Tujuan

Setelah mengikuti kegiatan pembelajaran ini, peserta diklat mampu memahami aspek perancangan pembangunan PLTB.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

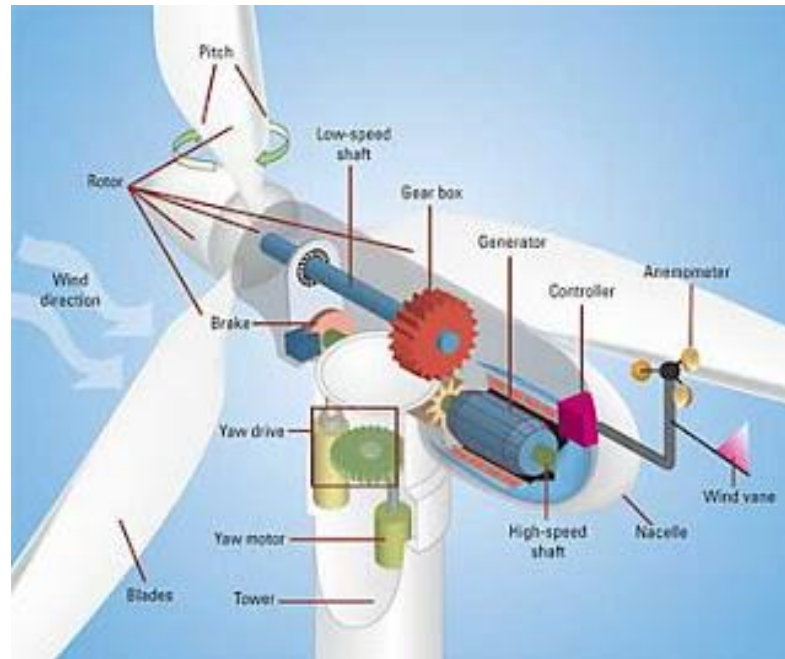
Peserta diklat mampu menganalisis aspek perancangan pembangunan PLTB.

C. Uraian Materi

1. Aspek Teknis

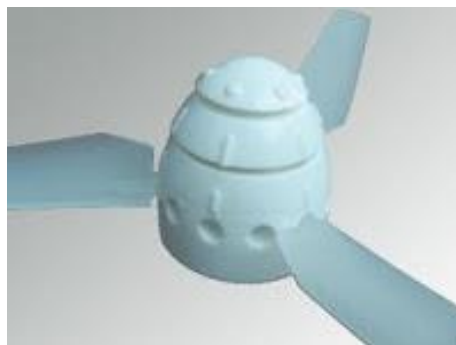
Aspek teknis perancangan pembangunan PLTB membahas mengenai komponen-komponen yang membentuk sistem PLTB. Aspek teknis ini sangat menentukan berhasil tidaknya sebuah PLTB beroperasi sebagai sistem. Kegagalan salah satu komponen akan mengurangi kinerja turbin angin secara keseluruhan, bahkan dapat menyebabkan sistem PLTB tidak dapat beroperasi.

Komponen-komponen teknis dalam pembangunan PLTB antara lain:



a. Rotor turbin angin

Terdiri atas naf (hub) dan sudu, yang berfungsi untuk mengubah energi angin menjadi putaran rotor. Rotor terdiri atas 2 atau 3 lebih sudu yang terbuat dari bahan fiberglas atau bahan lain dengan diameter dan posisi rotor tertentu. Secara aerodinamik, prestasi rotor dinyatakan oleh koefisien daya rotor (C_p) yang dihasilkan oleh bentuk sudu, jumlah sudu, dan konfigurasi yang dinyatakan dalam bentuk aerofoil dengan standar tertentu.



b. Unit transmisi

Gear menghubungkan poros kecepatan tinggi ke poros kecepatan rendah dan meningkatkan kecepatan sekitar 30-60 kali, untuk mencapai kecepatan putar 1000-1800 rpm yaitu kecepatan rotasi yang diperlukan oleh sebagian besar generator untuk menghasilkan listrik. *Gearbox* adalah bagian mahal (dan berat) dari turbin angin dan dirancang beroperasi pada kecepatan rotasi yang lebih rendah dan tanpa kotak gigi.

Sistem transmisi daya dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok berdasarkan rasio putaran masukan dan keluarannya yaitu:

- 1)*Direct drive*
- 2)*Speed reducing*
- 3)*Speed increasing*

Direct drive yang dimaksud adalah transmisi daya langsung dengan menggunakan poros dan pasangan kopling. Pada sistem transmisi ini tidak ada penurunan dan peningkatan putaran.

Sistem transmisi *speed reducing* adalah sistem transmisi dengan penurunan putaran, dimana putaran masuk lebih rendah dari putaran keluarannya. Tujuan penggunaan sistem transmisi ini adalah untuk meningkatkan momen gaya pada transmisi keluarannya.

Sedangkan sistem transmisi *speed increasing* yaitu putaran keluarannya lebih besar dari putaran masukan, namun momen gaya pada transmisi keluarannya lebih rendah.

Pada penerapannya, sistem transmisi *direct drive* hanya menggunakan poros dan kopling jika diperlukan. Konstruksi *direct drive* lebih sederhana dibandingkan dengan sistem transmisi lain, tidak membutuhkan ruang yang

besar untuk sistem transmisi. Sistem transmisi *speed reducing* dan *speed increasing* memerlukan mekanisme pengubah putaran seperti pasangan sabuk-puli dan pasangan roda gigi dengan rasio putaran tertentu.

Turbin angin yang putaran rotornya berada dalam selang putaran kerja generator, maka transmisi daya yang digunakan adalah *direct drive*, rotor menggerakkan generator secara langsung, namun hal ini sangat jarang aplikasinya dijumpai di lapangan. Sistem transmisi yang digunakan pada turbin yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik adalah *speed increasing*, karena generator pada umumnya membutuhkan putaran yang tinggi. Sedangkan turbin angin dengan sistem transmisi *speed reducing* biasanya digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan putaran rendah dan momen gaya yang besar, seperti turbin angin untuk memompa air.

Gambar 2. 3

Sistem transmisi daya



c. Generator

Turbin angin yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik tentu memerlukan generator yang berguna mengubah energi mekanik gerak rotasi rotor menjadi energi listrik. Terdapat beberapa jenis generator yang

digunakan. Berdasarkan arah arus yang dikeluarkan, generator dibagi menjadi dua jenis yaitu:

- a) Generator arus searah (*Direct Current* - DC).
- b) Generator arus bolak-balik (*Alternating Current* - AC).

Generator arus searah (DC) menghasilkan tegangan yang arahnya tetap dan jika dihubungkan dengan beban akan menghasilkan arus searah pula. Pada umumnya generator arus searah dapat menghasilkan energi listrik pada putaran tinggi. Untuk digunakan pada turbin angin, jenis generator ini memerlukan sistem transmisi untuk menaikkan putaran (*speed increasing*).

Generator arus bolak-balik (AC) menghasilkan tegangan yang arahnya bolak-balik dan jika dihubungkan dengan beban akan menimbulkan arus bolak-balik pula. Generator AC dapat menghasilkan daya pada putaran yang bervariasi bergantung pada spesifikasi generator itu sendiri.

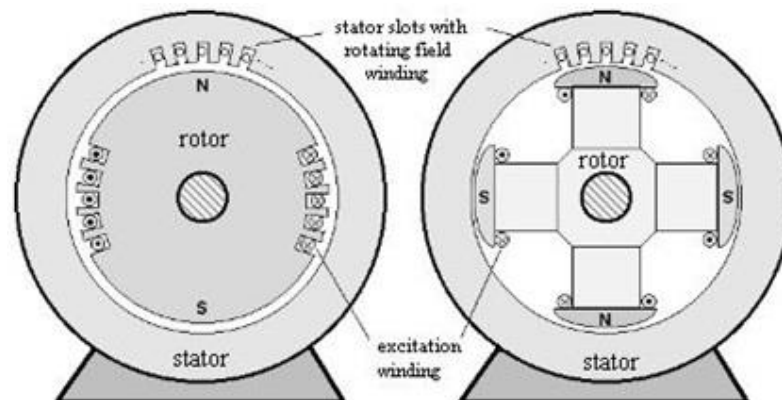
Besar putaran minimal yang diperlukan generator AC untuk dapat menghasilkan energi listrik dan besar putaran kerja bergantung pada jumlah kutub dan kumparan dalam generator, semakin banyak jumlah kumparannya maka semakin kecil putaran minimal dan putaran kerjanya. Jumlah kumparan merupakan kelipatan dari jumlah kutub yang dimiliki generator. Untuk putaran turbin yang memiliki putaran yang relatif rendah, digunakan jenis generator magnet permanen dengan variasi jumlah kutub, semakin banyak jumlah kutub generator maka putaran yang dibutuhkan semakin kecil untuk membangkitkan listrik dan sebaliknya. Untuk generator yang menggunakan magnet permanen sebagai penginduksi kumparannya disebut generator magnet permanen.

Generator tiga fase digunakan untuk konversi energi angin menjadi energi listrik, yang menghasilkan arus tiga fase dengan pergeseran 120° antara

satu dan lainnya. Generator memiliki lilitan 3 fase pada stator, sedangkan rotor diletakkan di bagian tengah mesin seperti gambar berikut:

Gambar 2. 4

Tampak lintang dari generator sinkron



Atas dasar beda prinsip operasi maka dibedakan antara generator sinkron dan asinkron. Generator asinkron seperti namanya, rotor tidak akan berputar pada frekuensi sama untuk setiap bidang medan pada stator. Hal tersebut dinamakan *slippage*. *Slippage* dapat dihitung dari kecepatan rotasi sinkron dari *armatur (frekuensi grid)* dan kecepatan rotasi rotor.

$$s = (n_s - n) / n_s \quad (2.35)$$

Slippage memiliki nilai dalam jangkauan dari 1 (*standstill*) dan 0 (*ideal open circuit*).

Modus operasi normal $s < 0,10$.

Kecepatan rotasi sinkron adalah:

$$n_s = f / p \quad (2.36)$$

dimana f adalah frekuensi jaringan (*grid frequency*) dan p jumlah pasangan *pole*. Atas dasar frekuensi jaringan 50 Hz, maka sepasang *pole* memiliki kecepatan rotasi sinkron sebesar 3000 rpm. Kecepatan sebesar itu hanya dapat dicapai dengan bantuan sistem transmisi (*gearbox*).

Rotor mesin asinkron tidak memerlukan ekstra suplai arus karena rotasi medan pada stator dapat menghasilkan induksi tegangan dalam rotor yang kemudian menghasilkan arus reaktif dalam stator.



d. Unit penggerak

Unit penggerak terdiri dari bantalan poros utama, roda gigi, rem cakram, serta generator dan rangkaian penempatannya. Rem cakram sering dipasang pada poros yang berputar cepat yaitu antara roda gigi dan generator. Penempatan komponen turbin angin yang merupakan kelengkapan dari unit penggerak adalah sebagai berikut:

- 1) Poros utama sebagai penerus daya dari rotor ke roda gigi.
- 2) Roda gigi berada di antara rotor turbin angin dan generator.
- 3) Rem cakram untuk pengereman darurat dipasang pada poros utama antara roda gigi dan rotor agar roda gigi tidak terbebani oleh rem.
- 4) Kopling diperlukan untuk pengalihan dan peredaman putaran rotor, poros, roda gigi, dan generator.

e. Unit kontrol

Fungsi aktual pengontrolan adalah mempertahankan turbin angin dalam kondisi operasi yang diijinkan/direncanakan khususnya selama angin tinggi dengan membatasi nilai kecepatan, torsi, daya dan gaya dorong rotor. Pengontrolan daya turbin angin bisa secara aktif maupun secara pasif. Modus pengaturan dapat dilakukan dengan cara *stall* atau *pitch*. *Stall* kontrol digunakan untuk rpm konstan. *Pitch* kontrol dilakukan untuk rpm konstan maupun variabel.

Gambar 2. 6

Unit kontrol



f. Subsistem geleng

Sistem geleng digunakan untuk kebanyakan turbin angin poros datar dan berfungsi untuk mempertahankan agar rotor selalu mengarah ke angin. Mekanisme yang sama juga digunakan untuk pengereman dengan membawa rotor menjauhi angin. Subsistem geleng terdiri dari dua jenis yaitu:

1) Sistem aktif/*power yaw*

Terdiri dari aktuator yang dikopling ke roda gigi dan terpasang pada bagian atas menara.

Gambar 2. 7

Yaw drive



2) Sistem pasif/*free yaw*

Sistem ini digunakan untuk turbin angin kecil. Dapat berupa: *fan tail*, *tail vane*, dan *rotor down wind*.

g. Subsistem keselamatan

Tujuan utama sistem ini adalah untuk menghentikan turbin angin dalam keadaan darurat dengan cara mengaktifkan unit rem.

Gambar 2. 8

Komponen rem



h. Menara

Menara ada yang terbuat dari baja tabung, beton atau kisi baja. Kecepatan angin berbanding lurus dengan ketinggian, oleh karena itu menara yang tinggi memungkinkan turbin untuk menangkap lebih banyak energi angin dan menghasilkan listrik lebih banyak.

Gambar 2. 9

Berbagai bentuk menara



i. Pondasi

Rancangan pondasi lebih banyak ditentukan oleh beban-beban ekstrim dari pada beban lelah/*fatigue*, sehingga rancangan pondasi tidak tergantung pada kecepatan angin.

j. Nacel

Merupakan bagian turbin angin yang berfungsi untuk penempatan beberapa komponen turbin angin yaitu: unit transmisi, generator, kopling mekanik, rem mekanik, dan komponen lainnya agar terlindung dari pengaruh lingkungan yang membahayakan atau merugikan.

Gambar 2. 10

Nacel



k. Subsistem listrik

Pada turbin angin pembangkit energi listrik tentu memiliki sistem kelistrikan yang merupakan bagian dari rantai konversi energi angin menjadi energi listrik. Ian Woovenden memberikan penyederhanaan dalam memahami sistem kelistrikan turbin angin. Sistem kelistrikan ini dibedakan menjadi:

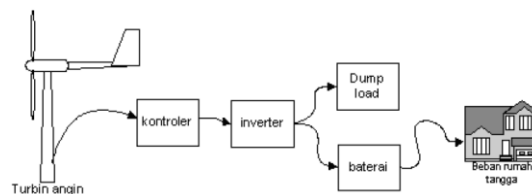
1) Sistem kelistrikan lepas jaringan

Sistem listrik turbin angin lepas jaringan berbasis pada penggunaan baterai.

Sistem ini dipilih jika penggunaan energi terhubung dengan jaringan atau akan lebih mahal jika terhubung dengan jaringan karena membutuhkan perangkat tambahan. Sistem lepas jaringan terbatas dalam kapasitas oleh ukuran sumber pembangkit listrik, sumber energi angin, dan kapasitas baterai.

Gambar 2. 11

Sistem kelistrikan lepas jaringan

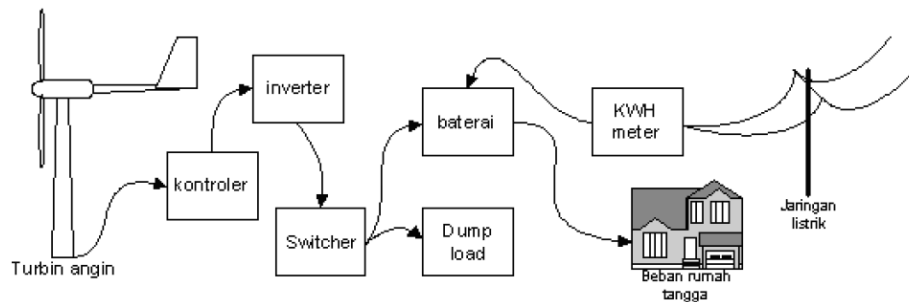


2) Sistem kelistrikan terhubung dengan baterai

Menghubungkan sistem kelistrikan turbin angin dengan jaringan dan baterai adalah sistem terbaik untuk penggunaan rumah tangga. Kapasitas listrik tidak terbatas dan kelebihan energi listrik dapat dijual masuk ke dalam jaringan. Ketika jaringan listrik padam, kapasitas baterai (meskipun terbatas) dan turbin tetap dapat menyuplai energi listrik untuk beban rumah tangga. Kekurangannya adalah sistem ini mahal untuk diterapkan dalam rumah tangga.

Gambar 2. 12

Sistem kelistrikan terhubung dengan baterai



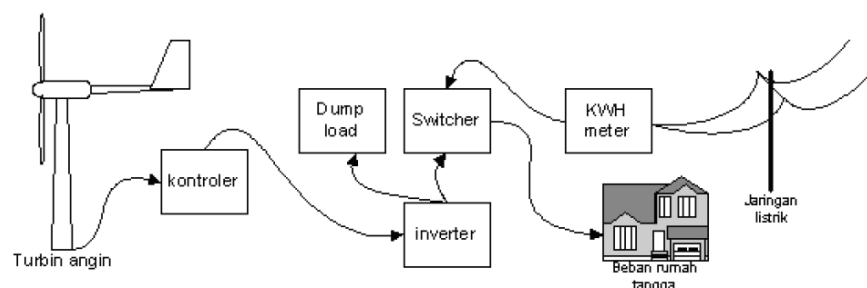
3) Sistem kelistrikan terhubung tanpa baterai

Menghubungkan sistem kelistrikan turbin angin dengan jaringan tanpa menggunakan baterai merupakan pilihan yang efektif untuk aspek biaya dan lingkungan. Sistem ini mengeliminasi baterai yang mahal harganya maupun pemeliharaannya, juga secara signifikan mengurangi efisiensi sistem. Kekurangan sistem ini adalah jika jaringan listrik padam, tidak ada sumber energi cadangan untuk mengatasi kekurangan listrik.

Sistem tanpa baterai dapat meningkatkan efisiensi secara signifikan jika dibandingkan dengan sistem yang menggunakan baterai. Hal ini karena *inverter* dapat menyesuaikan beban angin lebih baik, menjalankan turbin angin pada kecepatan maksimal dan mengekstrak energi angin lebih besar.

Gambar 2. 13

Sistem kelistrikan terhubung tanpa baterai

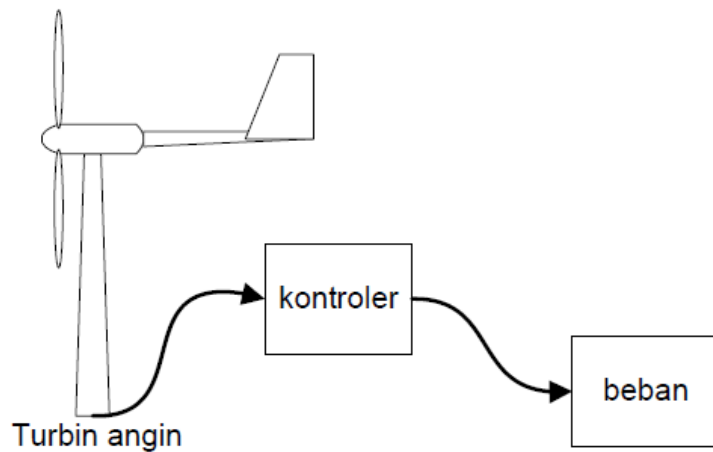


4) Sistem kelistrikan langsung tanpa baterai

Jenis ini adalah sistem kelistrikan turbin angin yang paling umum, biasanya digunakan untuk memompa air. Turbin angin dihubungkan dengan pompa air melalui *kontroler* atau langsung. Ketika angin bertiup, pompa air akan menaikkan air ke tangki penyimpanan. Sistem kelistrikan langsung tanpa baterai dapat digunakan untuk irigasi maupun untuk keperluan lainnya.

Gambar 2. 14

Sistem kelistrikan langsung tanpa baterai



I. Sistem Monitoring

Untuk memonitor kecepatan dan arah angin secara nyata dilakukan sistem monitoring. Pemasangan dilakukan sedekat mungkin ke unit orientasi karena sinyal arah dan kecepatan angin diperlukan sebagai referensi untuk unit kontrol dan sistem geleng. Salah satu *software* yang digunakan untuk memonitoring adalah program *scada*.

m. Rancangan struktur

Rancangan struktur turbin angin harus berdasarkan pada verifikasi integritas struktur dari komponen-komponen yang mengalami pembebanan.

n. Interkoneksi

Beberapa parameter yang harus diperhatikan dalam pemilihan dan rancangan interkoneksi:

- 1) Frekuensi harmonik
- 2) Pemasok daya reaktif
- 3) Pengaturan tegangan
- 4) Kontrol frekuensi
- 5) Stabilitas sistem
- 6) Pengoperasian generator
- 7) Pengaruh kuat sistem distribusi

o. Sistem jaringan

Sistem jaringan transmisi diperlukan untuk menyalurkan daya listrik mulai dari turbin angin ke jaringan grid dan selanjutnya ke transmisi dan distribusi, dan konstanta jaringan yang harus ditentukan adalah penurunan tegangan, rugi-rugi saluran dan efisiensi transmisi.

Jaringan transmisi dibagi dalam tiga kelompok yaitu:

- 1) Transmisi jarak pendek (<50 km dengan tegangan jala-jala <20 kV).
- 2) Transmisi jarak menengah (50 km – 150 km dengan tegangan jala-jala antara 20 kV – 100 kV).
- 3) Transmisi jarak jauh (>150 km dengan tegangan jala-jala >100 kV).

2. Aspek Non Teknis Pembangunan PLTB

Aspek non teknis merupakan aspek pertimbangan pendukung dalam perancangan pembangunan PLTB. Meskipun secara teknis PLTB dapat dibangun, tetapi jika secara non teknis tidak memenuhi syarat, maka pembangunan PLTB akan tidak bisa dibangun.

Aspek non teknis yang perlu mendapat perhatian diantaranya:

a. Aspek ekonomi

Dalam pembangunan PLTB aspek ekonomi harus diperhitungkan secara mendetail. Hal ini menyangkut keberlangsungan operasional PLTB pada jangka panjang. Analisis ekonomi untuk PLTB yang berbasis profit, akan berbeda dengan analisis ekonomi yang berbasis pemberdayaan masyarakat.

Untuk PLTB yang dibangun oleh perusahaan dengan tujuan profit maka harus dianalisa masalah sumber pembiayaan, tenggang pembiayaan, besarnya investasi, dan terutama kapan waktu *break event point*.

Untuk PLTB yang berbasis pemberdayaan, maka harus diantisipasi sumber-sumber dana untuk membiayai operasional dan pemeliharaan.

b. Aspek Lingkungan

Pembangunan PLTB pada skala kecil tidak menimbulkan dampak lingkungan yang signifikan. Namun untuk pembangunan skala besar harus diantisipasi dampaknya. Jangan sampai merusak ekosistem lingkungan, dan penanganan limbah yang mungkin muncul juga harus sangat diperhatikan. Pencemaran suara dari sudu juga harus diantisipasi karena bisa menimbulkan permasalahan sosial.

D. Aktivitas Pembelajaran

1. Peserta diklat menyimak penjelasan instruktur mengenai berbagai aspek dalam perancangan pembangunan PLTB yang meliputi aspek teknis dan aspek non teknis.
2. Peserta diklat berdiskusi per kelompok dan mengkomunikasikan mengenai berbagai aspek dalam perancangan pembangunan PLTB yang meliputi aspek teknis dan aspek non teknis.
3. Latihan
 - a. Salah satu komponen teknis turbin angin adalah rotor. Berilah penjelasan tentang rotor turbin angin...

- b. Berilah penjelasan tentang cara kerja unit transmisi yang terdapat pada turbin angin...
 - c. Sebutkan bagian-bagian komponen unit penggerak dalam sistem turbin angin...
 - d. Berilah penjelasan mengenai generator turbin angin sinkron dan IMAG...
 - e. Sebutkan parameter yang harus diperhatikan dalam pemilihan dan rancangan interkoneksi...
4. Mengidentifikasi Isi Materi Pembelajaran
- Sebelum melakukan kegiatan pembelajaran, berdiskusilah dengan sesama peserta diklat di kelompok Saudara untuk mengidentifikasi hal-hal berikut:
- a. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran ini? Sebutkan!
 - b. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
 - c. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!
 - d. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!
 - e. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
 - f. Apa bukti yang harus diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di atas dengan menggunakan **LK-02**. Jika Saudara bisa menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran.

E. Rangkuman

1. *Direct drive* yang dimaksud adalah transmisi daya langsung dengan menggunakan poros dan pasangan kopling. Pada sistem transmisi ini tidak ada penurunan dan peningkatan putaran.
2. Sistem transmisi *speed reducing* adalah sistem transmisi dengan penurunan putaran, dimana putaran masuk lebih rendah dari putaran keluarannya. Tujuan

penggunaan sistem transmisi ini adalah untuk meningkatkan momen gaya pada transmisi keluarannya.

3. Sistem transmisi *speed increasing* yaitu putaran keluarannya lebih besar dari putaran masukan, namun momen gaya pada transmisi keluarannya lebih rendah.
4. Berdasarkan arah arus yang dikeluarkan, generator dibagi menjadi dua jenis yaitu: generator arus searah (*Direct Current* - DC) dan generator arus bolak-balik (*Alternating Current* - AC).
5. Nasel merupakan bagian turbin angin yang berfungsi untuk penempatan beberapa komponen turbin angin yaitu: unit transmisi, generator, kopling mekanik, rem mekanik, dan komponen lainnya agar terlindung dari pengaruh lingkungan yang membahayakan atau merugikan.
6. Sistem jaringan transmisi diperlukan untuk menyalurkan daya listrik mulai dari turbin angin ke jaringan grid dan selanjutnya ke transmisi dan distribusi, dan konstanta jaringan yang harus ditentukan adalah penurunan tegangan, rugi-rugi saluran dan efisiensi transmisi.
7. Beberapa parameter yang harus diperhatikan dalam pemilihan dan rancangan interkoneksi:
 - Frekuensi harmonik
 - Pemasok daya reaktif
 - Pengaturan tegangan
 - Kontrol frekuensi
 - Stabilitas sistem
 - Pengoperasian generator
 - Pengaruh kuat sistem distribusi

F. Tes Formatif

1. Anemometer apakah yang merupakan suatu sensor yang digunakan untuk mengukur kecepatan fluida (angin) sesaat....
 - a. Anemometer termal
 - b. Cup anemometer
 - c. Anemometer tekanan
 - d. *velocity anemometer*

2. Berikut ini adalah tujuan pengukuran angin, kecuali....
 - a. Memperoleh data potensi energi angin di lokasi.
 - b. Identifikasi lokasi (daerah potensial)
 - c. Penentuan kelas pemanfaatan berdasarkan potensi yang tersedia.
 - d. Penetapan waktu pemasangan turbin angin.

3. Sistem apakah yang merupakan sistem transmisi dengan penurunan putaran, yakni putaran masuk lebih rendah dari putaran keluarannya, yang tujuan penggunaan sistem transmisi ini adalah untuk meningkatkan momen gaya pada transmisi keluarannya....
 - a. *Speed increasing*
 - b. *Speed reducing*
 - c. *Direct drive*
 - d. *Nacelle*

4. Komponen turbin angin yang berfungsi untuk mengarahkan angin dan menghubungkan dengan *yaw drive* untuk menggerakkan turbin adalah....
 - a. *Wind vane*
 - b. *Guide vane*
 - c. *Wind direction*
 - d. *Yaw motor*

5. Komponen turbin angin yang berfungsi untuk mengontrol kecepatan rotor dan menjaga rotor berputar dalam angin yang terlalu tinggi atau terlalu rendah adalah
 - a. *Yaw drive*
 - b. *Wind vane*
 - c. *Pitch*
 - d. *Blades*

6. Disebut apakah bagian turbin angin yang berfungsi untuk penempatan beberapa komponen turbin angin yaitu: unit transmisi, generator, kopling mekanik, rem mekanik, dan komponen lainnya agar terlindung dari pengaruh lingkungan yang membahayakan atau merugikan...
 - a. *Wind vane*
 - b. *Guide vane*

c. *Nasel*

d. *Yaw motor*

7. Turbin angin yang memiliki kemampuan daya sebesar 600 kW ke atas dikelompokkan dalam turbin angin skala

a. Besar

b. Kecil

c. Menengah

d. Terbatas

8. Bagian turbin angin yang mengubah energi poros menjadi energi listrik adalah....

a. *Generator*

b. *Rotor*

c. *Blade*

d. *Wind vane*

9. Disebut sistem transmisi apakah sistem transmisi daya langsung dengan menggunakan poros dan pasangan kopling yang tidak ada penurunan dan peningkatan putaran...

a. *Speed increasing*

b. *Speed reducing*

c. *Direct drive*

d. *Nacelle*

10. Sistem transmisi apakah yang putaran keluarannya lebih besar dari putaran masukan, namun momen gaya pada transmisi keluarannya lebih rendah...

a. *Speed increasing*

b. *Speed reducing*

c. *Direct drive*

d. *Nacelle*

G. Kunci Jawaban

1. a
2. d
3. b
4. a
5. c
6. c
7. a
8. a
9. c
10. b

LEMBAR KERJA KB-3

LK - 03

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran konversi energi dan konservasi energi? Sebutkan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

6. Apa bukti yang harus diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

1. Jelaskan aspek teknis pembangunan PLTB?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Jelaskan tentang rotor turbin angin?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Sebutkan jenis unit transmisi berdasarkan rasio putar?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. Jelaskan kelengkapan untuk penggerak turbin angin?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....
Apa fungsi unit kontrol pada PLTB?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

5. Jelaskan tentang fungsi menara PLTB?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

.....

.....

1. Gambarkan sudu PLTB.

2. Gambarkan tampang lintang generator sinkron.

3. Gambarkan skema sistem kelistrikan lepas jaringan.

4. Gambarkan skema sistem kelistrikan terhubung dengan baterai.

5. Gambarkan skema sistem kelistrikan terhubung tanpa baterai.

6. Gambarkan skema sistem kelistrikan langsung tanpa baterai.

Kegiatan Pembelajaran 4 : Survei Potensi PLTB

A. Tujuan

Setelah mengikuti kegiatan pembelajaran ini, peserta diklat mengetahui tentang survei potensi PLTB.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Peserta diklat mampu melakukan pekerjaan survei potensi PLTB.

C. Uraian Materi

Berkat perkembangan teknologi, saat ini manusia telah dapat menentukan cuaca dengan menggunakan satelit. Dalam skala makro, satelit dapat digunakan untuk mempelajari pembentukan awan, suhu, dan prakiraan cuaca. Sedangkan dalam skala mikro berguna untuk mendeteksi kecepatan angin atau suhu daerah tertentu. Namun, pemanfaatan satelit dalam skala mikro, misalnya untuk mendeteksi kecepatan angin belum dapat diandalkan. Salah satu upaya untuk mengatasi kendala tersebut adalah dengan pembuatan alat ukur otomatis berupa sensor angin.

Secara garis besar ada dua macam pendeteksi arah angin yaitu metode mekanik dan metode perpindahan panas. Metode mekanik sudah sering digunakan sejak lama, seperti otokopler, potensiometer dan magnet. Metode perpindahan panas seperti *thermopile*, transistor, dan termokopel, memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode mekanik yaitu dapat mendeteksi pergerakan angin yang sangat lambat dan pergerakan massa udara.

1. Alat pengukur arah dan kecepatan angin

Angin merupakan pergerakan udara yang disebabkan karena adanya perbedaan tekanan udara di suatu tempat dengan tempat lain. Dengan adanya pergerakan udara di atmosfer ini maka terjadilah distribusi partikel-partikel udara kering (debu, asap, dsb) maupun partikel basah seperti uap air. Pengukuran angin

permukaan merupakan pengukuran arah dan kecepatan angin yang terjadi dipermukaan bumi dengan ketinggian antara 0,5 meter sampai dengan 10 meter. Alat yang paling baik untuk mengukur permukaan angin adalah anemometer. Anemometer adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin dan merupakan salah satu instrumen yang digunakan pada sebuah stasiun cuaca. Istilah ini berasal dari kata bahasa Yunani yaitu *anemos*, yang berarti angin. Yang pertama menemukan anemometer adalah oleh Leon Battista Alberti. Anemometer ini disebut juga *wind speed indicator*. Alat ini digunakan untuk mengukur kecepatan angin dalam satuan knots, m/s, km/h dan *beaufort*.

Di dalam anemometer terdapat alat pencacah yang akan menghitung kecepatan angin. Hasil yang diperoleh alat pencacah dicatat, kemudian dicocokkan dengan skala *beaufort*.

Secara umum ada dua jenis anemometer, yaitu anemometer yang mengukur kecepatan angin (*velocity anemometer*) dan anemometer yang mengukur tekanan angin (anemometer tekanan). Dari kedua tipe anemometer ini *velocity anemometer* lebih banyak digunakan. Salah satu jenis dari *velocity anemometer* adalah *thermal anemometer* atau yang lebih dikenal dengan *hot wire anemometer* yaitu anemometer yang mengkonversi perubahan suhu menjadi kecepatan angin. Anemometer dibagi dalam 3 bagian yaitu:

a. Anemometer *cup* dan *vane*

Alat ini mengukur banyaknya udara yang melalui alat persatuan waktu. Pergerakan udara atau angin umumnya diukur dengan alat *cup counter anemometer*, yang didalamnya terdapat dua sensor, yaitu :*cup-propeller sensor* untuk kecepatan angin dan *vane weather cock sensor* untuk arah angin. Untuk pengamatan angin permukaan anemometer dipasang dengan ketinggian 10 meter dan berada ditempat terbuka yang memiliki jarak dari penghalang sejauh 10 kali dari tinggi penghalang (pohon,gedung atau sesuatu yang menjulang tinggi).

Tiang anemometer dipasang menggunakan 3 buah labrang/ kawat penahan tiang, dimana salah satu kawat/labrang berada pada arah utara dari tiang anemometer dan antar labrang membentuk sudut 120°. Pemasangan penangkal petir pada tiang anemometer merupakan faktor terpenting terutama untuk daerah rawan petir. Hal ini mengingat tiang anemometer memiliki ketinggian 10 meter dengan ujung-ujung runcing yang membuatnya rawan terhadap sambaran petir.

b. Pressure tube anemometer

Alat ini bekerja oleh tekanan dari aliran udara yang melalui pipa-pipanya.

c. Pressure plate anemometer

Lembaran logam tertentu, ditempatkan tegak lurus angin. Lembaran logam ini akan berputar pada salah satu sisinya sebagai sumbu. Besar penyimpangan (sudut) menjadi kecepatan angin.

2. Prinsip kerja anemometer

Prinsip kerja anemometer: angin mengadakan tekanan yang kuat pada bagian baling-baling yang berbentuk cekung (mangkuk), bagian yang cekung akan berputar ke satu arah, poros yang berputar dihubungkan dengan dinamo kecil, bila baling-baling berputar maka terjadi arus listrik yang besarnya sebanding dengan kecepatan putaran, besarnya arus listrik dihubungkan dengan galvanometer yang telah ditera dengan satuan kecepatan dalam knots, m/s, km/h, dan *beaufort*.

Kegunaan anemometer: mengukur kecepatan angin, memperkirakan cuaca, memperkirakan tinggi gelombang laut, memperkirakan kecepatan dan arah arus.

3. Tipe anemometer

a. Anemometer dengan tiga atau empat mangkok

Sensornya terdiri dari tiga atau empat mangkok yang dipasang pada jari-jari yang berpusat pada suatu sumbu vertikal atau semua mangkok tersebut terpasang pada poros vertikal. Seluruh mangkok menghadap kesatu arah melingkar sehingga bila angin bertiup maka rotor berputar pada arah tetap. Kecepatan putar dari rotor mengatur sistem pada kecepatan tiupan angin. Melalui suatu sistem mekanik roda gigi, perputaran rotor mengatur sistem akumulasi angka penunjuk jarak tiupan angin. Dengan alat ini penambahan nilai yang dapat dibaca dari satu pengamatan kepengamatan berikutnya, menyatakan akumulasi jarak tempuh tiupan angin selama waktu dari kedua pengamatan tersebut, sehingga kecepatan anginnya adalah sama dengan akumulasi jarak tempuh tersebut dibagi lama selang waktu pengamatan.

Gambar 3. 1

Anemometer dengan tiga mangkuk



(Sumber: Joytalita's Blog)

b. Anemometer termal

Anemometer ini merupakan satu sensor yang digunakan untuk mengukur kecepatan fluida (angin) sesaat. Cara kerja dari sensor ini berdasarkan pada jumlah panas yang hilang secara konvektif dari sensor ke lingkungan sekeliling sensor. Besarnya panas yang dipindahkan dari sensor secara langsung berhubungan dengan kecepatan fluida yang melewati sensor. Jika hanya

kecepatan fluida yang berubah, maka panas yang hilang bisa diinterpretasikan sebagai kecepatan fluida tersebut. Kerja anemometer ini mengikuti prinsip tabung pitot, yaitu dihitung dari tekanan statis dan tekanan kecepatan.

Gambar 3. 2

Anemometer digital



(Sumber: Viseal Engineering CO)

4. Proses kalibrasi

Proses kalibrasi anemometer dilakukan secara periodik agar kinerja dan hasil pencatatan tetap stabil dan baik. Berikut kalibrasi pada anemometer :

a. Kecepatan angin dengan *Cup Wheel* RPM

$$m/s = (0.01250 \times rpm) + 0.2 \quad (3.1)$$

$$knots = (0.02427 \times rpm) + 0.4 \quad (3.2)$$

$$mph = (0.02795 \times rpm) + 0.4 \quad (3.3)$$

$$km/h = (0.04499 \times rpm) + 0.7 \quad (3.4)$$

b. kecepatan angin dengan *output frekuensi* – Hz

$$\text{m/s} = (0.7500 \times \text{Hz}) + 0.2 \quad (3.5)$$

$$\text{knots} = (1.4562 \times \text{Hz}) + 0.4 \quad (3.6)$$

$$\text{mph} = (1.6770 \times \text{Hz}) + 0.4 \quad (3.7)$$

$$\text{km/h} = (2.6994 \times \text{Hz}) + 0.7 \quad (3.8)$$

5. Aplikasi pengukuran data angin di lapangan

a. Tujuan pengukuran

Tujuan pengukuran adalah:

- 1) Memperoleh data potensi energi angin di lokasi.
- 2) Identifikasi lokasi (daerah potensial).
- 3) Penentuan kelas pemanfaatan berdasarkan potensi yang tersedia.
- 4) Penetapan tempat pemasangan turbin angin.

b. Parameter data angin

Parameter utama (data primer) adalah kecepatan dan arah angin. Sedangkan daya, energi dan informasi statistik lain merupakan data sekunder yang ditentukan dari data-data primer.

Parameter cuaca yakni radiasi matahari, temperatur, kelembaban, tekanan udara luar (atmosfer) juga dapat mempengaruhi daya dan energi di suatu lokasi. Kecepatan angin vertikal kadang-kadang diperlukan guna mengetahui turbulensi, sedangkan perubahan temperatur terhadap ketinggian (yang disebut temperatur delta) diperlukan untuk mengetahui informasi mengenai turbulensi dan stabilitas atmosfer. Tekanan atmosfer (barometer) bersama temperatur udara digunakan untuk menentukan kerapatan udara.

c. Data dan informasi yang diperlukan untuk pemanfaatan energi angin

Data angin serta informasi yang diperlukan untuk pemanfaatan adalah:

- 1) Kecepatan angin di lokasi (rata-rata tahunan, minimum dan maksimum).

- 2) Arah angin dominan.
- 3) Distribusi kecepatan angin.
- 4) Distribusi arah angin (windrose, dalam 12 sektor).
- 5) Pola angin harian, bulanan, tahunan.
- 6) Kondisi lull (angin rendah).
- 7) Daya angin spesifik, WPD (W/m^2) dan energi (WED) dalam satu tahun (kWh/m^2).

d. Kondisi topografi

Kondisi topografi di suatu daerah sangat menentukan kontur atau distribusi kecepatan angin di daerah tersebut. Dengan demikian juga akan mempengaruhi potensi lokasi serta pemilihan tempat pemasangan sebuah turbin angin.

Elemen-elemen topografi adalah:

- 1) Kekasaran Permukaan (roughness)
- 2) Kekasaran permukaan merupakan hasil kolektif dari permukaan dataran dan rintangan dan akan menyebabkan penurunan kecepatan angin di dekat permukaan tanah dan disebut geser angin (wind shear). Contohnya adalah tanaman, hutan, bangunan, dan lain-lain.
- 3) Orografi (orography)
- 4) Suatu bentuk dataran yang menghasilkan pengaruh tambahan terhadap angin, yang dapat mempercepat atau memperlambat. misalnya bukit, lembah, bubungan, cliff, dll. Sebagai contoh, di dekat puncak atau bagian yang tinggi dari dataran-dataran ini, kecepatan angin bertambah, sedangkan di bagian lembah atau bawah, kecepatan angin akan berkurang.
- 5) Rintangan (obstacle)
- 6) Sangat mempengaruhi kecepatan angin, efeknya secara vertikal akan bertambah sampai 3 kali tinggi rintangan, dan dalam arah horizontal sampai 30 atau 40 kali tinggi rintangan.

e. Metoda Pengukuran

Metoda pengukuran data angin dapat dilakukan sebagai berikut:

1) Tidak langsung

- a) Pengamatan fenomena alam di lokasi yang dapat ditaksir secara kuantitatif, misalnya dengan menggunakan skala *beaufort*.
- b) Kondisi ekologi suatu lokasi.

2) Langsung

Pengukuran langsung data angin primer (kecepatan dan arah angin) di lokasi. Kecepatan angin diukur dengan anemometer, dan arah angin dengan sensor arah angin. Syarat pengukuran adalah sebagai berikut :

- a) Pengukuran kecepatan dan arah angin dilakukan pada ketinggian standar WMO (World Meteorological Organization) setinggi 10 m, atau pada ketinggian yang dirancang untuk tinggi aktual menara turbin angin.
- b) Menggunakan peralatan standar (anemometer analog atau digital) yang dilengkapi dengan data logger.
- c) Pengukuran arah angin dilakukan dengan alat ukur arah angin (tipe mekanis atau elektrik), yang dapat digabung atau terpisah dengan anemometer. Arah angin acuan adalah utara (0 derajat). Dengan menggunakan data logger, semua parameter dicuplik (sampling) setiap 10 menit dan dicatat sebagai nilai rata-rata, deviasi standar, maksimum dan minimum. Data tersebut dicatat secara berurutan (serial).
- d) Pengukuran minimum dilakukan dalam satu tahun.

3) Pengukuran sesaat di lokasi (survei):

- a) Kecepatan angin diukur setiap 10 menit untuk mendapatkan kecepatan angin rata-rata per jam dan harian.
- b) Setiap 1 jam pada beberapa pengukuran yang mewakili 1 hari dan mengambil rata-ratanya.

4) Ekstrapolasi

Ekstrapolasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran standar (10 meter) untuk menaksir kecepatan angin pada suatu ketinggian di atas ketinggian standar, misalnya pada 15 meter, 25 meter, 30 meter, dan seterusnya.

D. Aktivitas Pembelajaran

Mengidentifikasi Isi Materi Pembelajaran

Sebelum melakukan kegiatan pembelajaran, berdiskusilah dengan sesama peserta diklat di kelompok Saudara untuk mengidentifikasi hal-hal berikut:

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran ini? Sebutkan!
2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!
4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!
5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
6. Apa bukti yang harus diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di atas dengan menggunakan **LK-03**. Jika Saudara bisa menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran berikut ini.

E. Rangkuman

Angin merupakan pergerakan udara yang disebabkan karena adanya perbedaan tekanan udara di suatu tempat dengan tempat lain. Dengan adanya pergerakan udara di atmosfer

ini maka terjadilah distribusi partikel-partikel udara kering (debu, asap, dsb) maupun partikel basah seperti uap air.

Anemometer adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin dan merupakan salah satu instrumen yang digunakan pada sebuah stasiun cuaca. Istilah ini berasal dari kata bahasa Yunani yaitu *anemos*, yang berarti angin. Yang pertama menemukan anemometer adalah oleh Leon Battista Alberti. Anemometer ini disebut juga *wind speed indicator*. Alat ini digunakan untuk mengukur kecepatan angin dalam satuan knots, m/s, km/h dan beaufort.

Prinsip kerja anemometer: angin mengadakan tekanan yang kuat pada bagian baling-baling yang berbentuk cekung (mangkuk), bagian yang cekung akan berputar ke satu arah, poros yang berputar dihubungkan dengan dinamo kecil, bila baling-baling berputar maka terjadi arus listrik yang besarnya sebanding dengan kecepatan putaran, besarnya arus listrik dihubungkan dengan galvanometer yang telah ditera dengan satuan kecepatan dalam knots, m/s, km/h, dan beaufort.

F. Tes Formatif

1. Sebutkan langkah-langkah metode pengukuran, beserta penjelasannya.

G. Kunci Jawaban

Jawab:

1. Tidak langsung

- a. Pengamatan fenomena alam di lokasi yang dapat ditaksir secara kuantitatif, misalnya dengan menggunakan skala *beaufort*.
- b. Kondisi ekologi suatu lokasi.

2. Langsung

Pengukuran langsung data angin primer (kecepatan dan arah angin) di lokasi. Kecepatan angin diukur dengan anemometer, dan arah angin dengan sensor arah angin. Syarat pengukuran adalah sebagai berikut :

- a. Pengukuran kecepatan dan arah angin dilakukan pada ketinggian standar WMO (World Meteorological Organization) setinggi 10 m, atau pada ketinggian yang dirancang untuk tinggi aktual menara turbin angin.
 - b. Menggunakan peralatan standar (anemometer analog atau digital) yang dilengkapi dengan data logger.
 - c. Pengukuran arah angin dilakukan dengan alat ukur arah angin (tipe mekanis atau elektrik), yang dapat digabung atau terpisah dengan anemometer. Arah angin acuan adalah utara (0 derajat). Dengan menggunakan data logger, semua parameter dicuplik (sampling) setiap 10 menit dan dicatat sebagai nilai rata-rata, deviasi standar, maksimum dan minimum. Data tersebut dicatat secara berurutan (serial).
 - d. Pengukuran minimum dilakukan dalam satu tahun.
3. Pengukuran sesaat di lokasi (survei):
- a. Kecepatan angin diukur setiap 10 menit untuk mendapatkan kecepatan angin rata-rata per jam dan harian.
 - b. Setiap 1 jam pada beberapa pengukuran yang mewakili 1 hari dan mengambil rata-ratanya.

LEMBAR KERJA KB-4

LK - 04

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran konversi energi dan konservasi energi? Sebutkan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....
.....

4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

6. Apa bukti yang harus diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

.....
.....
.....
.....
.....

LK – 04a

1. Jelaskan cara kerja anemometer?

[illegible]

2. Sebutkan tiga bagian anemometer?

[illegible]

3. Jelaskan prinsip kerja anemometer?

4. Sebutkan tipe anemometer?

TEKNOLOGI BIOETANOL

TEKNIK ENERGI TERBARUKAN –GAMBAR TEKNIK ENERGI BIOMASSA

.....
.....

5. Jelaskan tujuan pengukuran dengan anemomter?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

6. Sebutkan elemen-elemen topografi?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

7. Jelaskan tentang metode pengukuran angin?

TEKNOLOGI BIOETANOL

TEKNIK ENERGI TERBARUKAN –GAMBAR TEKNIK ENERGI BIOMASSA

4. Gambarkan *pressure plate anemometer*.

5. Gambarkan bagan alir data dan informasi untuk pemanfaatan energi angin.

6. Gambarkan tentang angin laut.

Kegiatan Pembelajaran 5 : Menara PLTB

A. Tujuan

Setelah mengikuti kegiatan pembelajaran ini, peserta diklat mengetahui tentang berbagai desain menara untuk PLTB.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Peserta diklat mampu menganalisis tentang menara PLTB.

C. Uraian Materi

1. Struktur di Bawah Menara

Struktur di bawah menara berupa konstruksi pondasi. Rancangan pondasi lebih banyak ditentukan oleh beban-beban ekstrim daripada oleh beban lelah/*fatigue*, sehingga rancangan pondasi tidak tergantung pada kecepatan angin.

Untuk turbin angin besar, beberapa tipe pondasi yang banyak digunakan adalah: tipe dermaga (*piers*), tiang pancang (*piles*), *floating* dan angkur untuk lahan berbatu (*rock anchors*).

Komposisi bahan cor untuk pembuatan pondasi mengacu pada standar ASTM C-449: *Spesification for chemical admixtures for concrete*.

Dalam pembuatan pondasi, beberapa faktor yang harus diperhatikan adalah:

a. Verifikasi

Untuk pondasi beton mengacu pada DIN 1045 dengan menggunakan faktor keselamatan global. Pondasi beton yang dikenai air dapat diakses sesuai DIN 4030.

b. Tanah

Sifat tanah menentukan tipe pondasi. Untuk pembebanan tanah yang diperbolehkan mengacu pada DIN 1045.

Tipe pondasi yang umum digunakan adalah:

1) Pondasi lemping (*slab foundation*)

Harus diverifikasi dengan menentukan faktor keselamatan terhadap:

- a) Kegagalan kapasitas bantalan/*bearing*.
- b) Pergeseran tanah/*sliding*.
- c) Eksentrisitas beban/*tilting*.
- d) Mengapung/*buoyancy*.

Verifikasi mengacu pada DIN 1054, dan tekanan tanah yang diperbolehkan mengacu pada DIN 1054. Dalam kasus sulit sesuai dengan DIN 1054, verifikasi harus didasarkan pada standar berikut:

- a) DIN 4017 untuk perhitungan kegagalan kapasitas *bearing*.
- b) DIN 4018 untuk distribusi tekanan tanah.
- c) DIN 4019 untuk perhitungan pemukiman.

Gambar 4. 1

Penulangan pondasi



Sumber: de.wikipedia.org

Gambar 4. 2

Pondasi pasca pengecoran



Sumber: www.schaumburger-zeitung.de

Gambar 4. 3

Pondasi diurug sesuai rencana



Sumber: www.windpower-gmbh.de

2) Pondasi pancang (*pile*)

Dapat dirancang sesuai dengan DIN 1054, dan tergantung pada tipe pile standar yang digunakan, yaitu:

- a) DIN 4014 untuk pancang lobang.

Gambar 4. 4

Pengerjaan pancang lobang



Sumber: asearsitek.wordpress.com

b) DIN 4026 untuk pancang yang ditancapkan dengan penggerak.

Gambar 4. 5

Penggerak memasukan pancang ke dalam Tanah



Sumber: www.imagebali.net

c) DIN 4128 untuk pancang yang disuntikan.



Sumber: atadroe88.blogspot.com

Rancangan pondasi harus mampu menahan beban statik (berat seluruh turbin angin termasuk menara) dan dinamik (pada waktu turbin angin berputar).

Berbagai perlengkapan yang digunakan untuk pembuatan pondasi diperlihatkan pada tabel berikut:

Tabel 4. 1

Perlengkapan pembuatan pondasi

Pemakaian	Perlengkapan
Pengukuran	Teodolith, total station.
Penggalian tanah	Backhoe, bulldozer, power auger, hand shovel.
Saluran kabel bawah tanah	Backhoe, trenching.
Pekerjaan di lahan berkarang	Jack hammer, blasting, safety nets/mats.
Penulangan	Gergaji besi, kunci besi.
Bekisting	Gergaji, palu.

Pengecoran	Cetakan.
Uji kekuatan	Uji kuat tekan kubus beton, <i>Hammer test</i> .

2. Menara

Menara ialah sebuah struktur/konstruksi yang dimensi tingginya lebih besar dari dimensi lebarnya. Menara dipengaruhi oleh pembebanan keausan (*fatigue*) selama operasi atau oleh beban-beban ekstrim ketika turbin dimatikan. Dalam hal beban yang ekstrim terjadi, pembebanan menara akan bergantung pada kecepatan angin nominal/rencana, sedangkan dalam kasus beban kelelahan, pembebanan terutama akan diatur oleh fluktuasi gaya dorong rotor (*trust*) yang dianggap berbanding langsung dengan kecepatan angin rancangan.

Tipe menara yang banyak digunakan untuk turbin angin adalah:

a. Berdiri sendiri/*self supporting*

1) Kerangka/lattis (*trust/lattice*)

Gambar 4. 7

Tipe menara lattis



Sumber: bigstonerenewables.com

2) Pipa (tubular/*pole*)

Menara tipe *truss* atau *lattice* biasanya dirakit dalam posisi rebah dan mendirikannya sebagai satu rakitan pada baut angkur. Untuk pekerjaan ini diperlukan antara lain kunci torsi menara (*torque wrench*), *water pass*, level posisi vertikal, dll. Pemasangan dapat mengacu pada ASTM A-325 dan ASTM A-490 (*structure joints using ASTM A-325 and A-490 bolts*).

Menara tubular biasanya berupa pipa-pipa tubular yang dilas dan dibentuk dari pelat, lempengan (*sheet*), lempengan lengkung, atau gulungan.

Gambar 4. 8

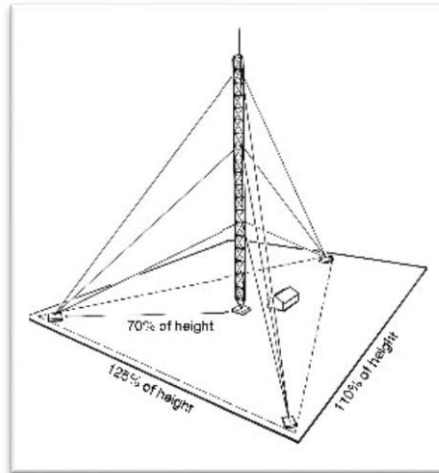
Tipe menara pipa



Sumber: www.windpowermonthly.com

b. Menara dengan tali penopang (*guy wires*)

Terdiri dari tipe: *truss guyed*, *guyed pole*, dan *guy attachment*. *Truss guyed*, secara khas memiliki 3 atau 4 kaki yang disambung oleh penguat atau penjepit diagonal dan dibuat dalam bentuk segmen. Untuk pemasangannya diperlukan pengencang, alat angkat, penentuan posisi vertikal dan horisontal, dll.



Sumber: www.thelivingmoon.com

Tipe *guyed pole* tersedia dalam konstruksi satu menara atau bagian-bagian yang dapat disambungkan dengan flens atau sambungan slip/*slip joints*. Tipe ini umumnya memerlukan tali atau kawat penopang/*guy wires*. Menara tipe ini biasanya dilengkapi dengan tangga untuk sarana memanjat. Perkakas yang diperlukan untuk pemasangan antara lain adalah pengencang, perkakas mekanik dan listrik, dll. Untuk menahan kawat penopang di atas permukaan tanah diperlukan angkur yang ditanam dan diperkeras di dalam tanah.

Kelebihan dari menara tipe ini adalah bisa dipasang pada lahan berbatu maupun berkarang pada ketinggian ekstrim. Untuk PLTB yang kecil jika setelah disurvei, batuanya mempunyai kekuatan yang cukup untuk memikul beban menara, maka konstruksi pondasi bisa dibuat kecil saja, hanya untuk dudukan menara.

Gambar 4. 10 *Guyed pole*

Gambar 4. 11

Guyed pole



Sumber: www.absak.com

Gambar 4. 12

Guy attachment



Sumber: www.mdpub.com

Beberapa faktor penting dalam rancangan menara adalah sebagai berikut:

a. Beban pada menara

Perhitungan pembebanan karena gaya-gaya yang ditimbulkan oleh angin terhadap menara dan beban definitif/tetap.

Penentuan koefisien gaya aerodinamik C_f harus sesuai dengan standar berikut:

- 1) DIN 4131 untuk struktur baja.
- 2) DIN 4228 untuk pipa beton yang di pra cetak (*prefabricated*).

Jika gaya-gaya penampang ditentukan dengan bantuan perhitungan kuasi-statik (pada setiap bagian), maka gaya dorong horisontal pada bagian mesin juga beban angin pada menara akan ditambah dengan faktor reaksi angin kencang (*gust*).

b. Verifikasi menara

Verifikasi menara dapat dilakukan berdasarkan:

- 1) Kualitas material (struktur baja, beton, semen, *reinforcing and prestressing steel*, sambungan dengan skrup/baut dan sambungan las).
- 2) Keadaan batas akhir/*ultimate limit state* yang dapat disebabkan oleh keretakan (regangan karena pelengkungan, gaya longitudinal, gaya transversal, torsi,dll), *bulging/bucling*, dan keausan atau penurunan prestasi.
- 3) Keadaan batas mampu servis.
- 4) Durabilitas.

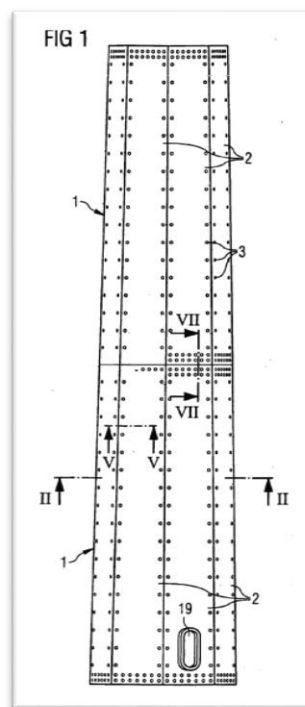
Memenuhi persyaratan DIN 18800 untuk struktur beton *reinforced* dan *prestressed*, dan DIN 413, 4133, dan 55928 untuk struktur baja dan cara penyambungan.

Rancangan dan pemilihan menara, mencakup tipe (lattis dan tubular), tinggi menara, material, dimensi bagian bawah, berat, dll. Secara umum dilihat dari pemanfaatannya menara dikategorikan dalam 3 tipe, yaitu:

- 1) Menara lattis dan tubular untuk turbin angin skala kecil.
- 2) Menara tubular dengan material baja untuk turbin angin skala sedang/besar.
- 3) Menara polygon dengan sistem beton dan tulangan baja untuk sistem besar.

Gambar 4. 13

Menara polygon



Sumber: www.google.com

Untuk turbin angin skala besar, menara yang digunakan adalah tipe lattis/kerangka dari baja atau tubular tanpa tali penopang dari beton atau pelat logam yang digulung dengan diameter tertentu.

Menara besar umumnya didirikan setelah bagian bawah menara terpasang pada pondasi dan selanjutnya memasang bagian menara bagian atas dengan flens yang tersedia dan dibantu dengan perlengkapan untuk menaikkan bersama komponen lainnya yaitu nasel, rotor, generator, dll.

Kelengkapan menara terdiri dari:

- 1) Tangga naik di bagian dalam atau/dan di bagian luar.
- 2) Penangkal petir.
- 3) Platform.

Pemilihan dan rancangan secara umum adalah sebagai berikut:

a. Tipe menara

Dapat dipilih tipe tubular yang terbuat dari gulungan baja (roll). Untuk menghasilkan menara yang lebih tinggi, menara keseluruhan dapat dibuat dari susunan beberapa bagian menara dan untuk menyambungkannya dilengkapi dengan flens. Diameter dalam menara adalah antara 3,0 meter sampai dengan 5,0 meter dengan ketebalan 48 milimeter.

b. Kekuatan menara

Menara harus mampu menahan beban dinamik dan beban karena keausan dan juga beban ekstrim pada waktu penghentian operasi turbin.

c. Tinggi menara

Pada dasarnya tinggi menara dirancang untuk menempatkan turbin angin pada posisi agar menghasilkan kecepatan angin nominal sesuai rancangan dengan menggunakan data pengukuran atau ekstrapolasi kecepatan angin.

Ketinggian menara yang diperlukan agar menghasilkan kecepatan angin tertentu dengan mengacu pada referensi hasil pengukuran yang dilakukan.

Menara untuk turbin angin skala besar, dapat terbuat dari beton berbentuk poligon dengan ketinggian 40 meter sampai dengan 60 meter. Berat menara dapat mencapai 3000 Ton dan salah satu tipe adalah menara berongga yang di bagian dalamnya dilengkapi dengan tangga helikal/spiral untuk mencapai nasek di bagian atas menara. Pada bagian bawah di dalam menara dengan diameter ± 10 meter dapat dipasang panel-monitor, kontrol dan distribusi ke pengguna.

Analisis pembuatan menara (beton, baja, *reinforced concrete*) harus didasarkan pada konsep faktor keselamatan parsial untuk rancangan beban dan harus sesuai dengan standar yang telah ada.

Untuk menentukan gaya-gaya penampang, metode analisis yang digunakan pada umumnya harus mencakup:

- 1) Prosedur perhitungan yang harus menjamin kondisi keseimbangan.
- 2) Analisis kondisi keseimbangan yang sering dilakukan berdasarkan struktur tanpa perubahan bentuk (persamaan orde pertama, teori linier).
- 3) Nonlinieritas geometri (teori orde ke dua) dan material (misalnya regangan retak dalam kasus struktur beton) harus diperhitungkan jika hal tersebut akan mempengaruhi stabilitas total struktur dan keadaan batas akhir yang merugikan.
- 4) Untuk perhitungan dinamik, sifat-sifat dinamik turbin angin, menara dan pondasi harus diperhitungkan dan juga gaya penampang rancangan untuk menara khususnya pada antar muka antara menara dan nasek, demikian juga pada titik lain dalam menara dan pondasi sebagai fungsi dari waktu untuk semua kasus

beban. Dalam hal perhitungan dinamik dilakukan dalam domain waktu, prosedur faktor keselamatan parsial tidak dapat digunakan.

- 5) Untuk perhitungan kuasi statik misalnya penyederhanaan perhitungan (dari pada menggunakan analisis dinamik), sifat-sifat vibrasi yang harus diperhitungkan adalah:
 - a) Frekuensi pribadi, yang ditentukan untuk komponen - komponen elastik yang besarnya paling sedikit 20 % lebih besar dari pada frekuensi sudu. Untuk tanah, digunakan parameter tanah dinamik.
 - b) Redaman (damping).
 - c) Besarnya tergantung pada tipe eksitasi dan biasanya terdiri atas komponen aerodinamik dan struktur.

D. Aktifitas Pembelajaran

1. Peserta diklat menyimak penjelasan instruktur mengenai menara PLTB yang membahas materi struktur di bawah menara dan menara PLTB itu sendiri.
2. Peserta diklat berdiskusi per kelompok dan mengkomunikasikan mengenai menara PLTB yang membahas materi struktur di bawah menara dan menara PLTB itu sendiri.
3. Latihan
 - a. Sebutkan jenis-jenis pondasi yang sering dipergunakan untuk menyokong konstruksi menara...
 - b. Uraikan tentang pondasi *slab* secara ringkas dan jelas...
 - c. Sebutkan rangkaian pekerjaan dalam pembangunan pondasi beserta alat yang dipergunakan...
 - d. Sebutkan beban-beban yang bekerja pada menara PLTB...
 - e. Sebutkan tiga tipe menara yang sering dipergunakan dalam pembangunan menara PLTB...

4. Mengidentifikasi Isi Materi Pembelajaran

Sebelum melakukan kegiatan pembelajaran, berdiskusilah dengan sesama peserta diklat di kelompok Saudara untuk mengidentifikasi hal-hal berikut:

- a. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran ini? Sebutkan!
- b. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
- c. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!
- d. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!
- e. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
- f. Apa bukti yang harus diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di atas dengan menggunakan **LK-04**. Jika Saudara bisa menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran.

E. Rangkuman

1. Struktur di bawah menara berupa konstruksi pondasi. Rancangan pondasi lebih banyak ditentukan oleh beban-beban ekstrim daripada oleh beban lelah/*fatigue*, sehingga rancangan pondasi tidak tergantung pada kecepatan angin.
2. Untuk turbin angin besar, beberapa tipe pondasi yang banyak digunakan adalah: tipe Dermaga (*piers*), tiang pancang (*piles*), *floating* dan angkur untuk lahan berbatu (*rock anchors*).
3. Rancangan pondasi harus mampu menahan beban statik (berat seluruh turbin angin termasuk menara) dan dinamik (pada waktu turbin angin berputar).
4. Menara dipengaruhi oleh pembebanan keausan (*fatigue*) selama operasi atau oleh beban-beban ekstrim ketika turbin dimatikan. Dalam hal beban yang ekstrim terjadi, pembebanan menara akan bergantung pada kecepatan angin nominal/rencana, sedangkan dalam kasus beban kelelahan, pembebanan terutama akan diatur oleh

fluktuasi gaya dorong rotor (*trust*) yang dianggap berbanding langsung dengan kecepatan angin rancangan.

5. Secara umum dilihat dari pemanfaatannya menara dikategorikan dalam 3 tipe, yaitu: menara lattis dan tubular untuk turbin angin skala kecil, menara tubular dengan material baja untuk turbin angin skala sedang/besar, menara polygon dengan sistem beton dan tulangan baja untuk sistem besar.
6. Menara besar umumnya didirikan setelah bagian bawah menara terpasang pada pondasi dan selanjutnya memasang bagian menara bagian atas dengan flens yang tersedia dan dibantu dengan perlengkapan untuk menaikkan bersama komponen lainnya yaitu nasek, rotor, generator, dll.
7. Rancangan dan pemilihan menara, mencakup tipe (lattis dan tubular), tinggi menara, material, dimensi bagian bawah, dan berat.

F. Tes Formatif

- 1) Pekerjaan awal dalam rencana pembangunan pondasi untuk menara Pembangkit Listrik Tenaga Angin adalah...
 - a. Pengukuran luasan pondasi yang akan dibangun.
 - b. Pekerjaan galian tanah.
 - c. Pekerjaan penulangan pondasi.
 - d. Pembuatan bekisting.
- 2) Berikut ini merupakan tipe pondasi yang digunakan dalam pembangunan PLTB skala besar, kecuali...
 - a. Pondasi tipe dermaga (*piers*). Pondasi
 - b. Pondasi tiang pancang (*piles*).
 - c. Pondasi *floating* dan angkur untuk lahan berbatu (*rock anchors*).
 - d. Pondasi stall.

- 3) Uji apakah yang dipergunakan untuk mengukur kekuatan pondasi, sehingga kekuatan dari pondasi untuk perletakan menara sesuai dengan perencanaan yang diinginkan...
- a. Uji tekan beton.
 - b. *Hammer test*.
 - c. *Concrete test*.
 - d. Uji tarik.
- 4) Berikut ini merupakan beban-beban yang bekerja pada sebuah menara Pembangkit Listrik Tenaga Angin, kecuali...
- a. Intensitas sinar matahari.
 - b. Beban menara itu sendiri.
 - c. Beban turbin angin.
 - d. Beban angin pada struktur menara.
- 5) Yang bukan merupakan kelengkapan dari menara untuk PLTB skala besar adalah...
- a. Tangga naik di bagian dalam atau/dan di bagian luar.
 - b. Penangkal petir.
 - c. *Platform*.
 - d. Tali pegangan.

G. Kunci Jawaban

1. a

2. d

3. b

4.a

5. d

LEMBAR KERJA KB-5

LK - 05

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran konversi energi dan konservasi energi? Sebutkan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

6. Apa bukti yang harus diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

1. Jelaskan mengenai struktur di bawah menara?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Sebutkan tipe-tipe fondasi yang umum digunakan?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Jelaskan perlengkapan membuat fondasi?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. Jelaskan pengertian tentang menara PLTB?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. Jelaskan tentang tipe menara tunggal?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

6. Jelaskan tentang tipe menara pipa?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

1. Gambarkan contoh penulangan fondasi.

2. Gambarkan struktur menara kerangka.

3. Gambarkan tentang menara pipa.

4. Gambarkan tentang menara dengan tali penopang.

5. Gambarkan tampang melintang menara pipa.

6. Gambarkan bagan alir perencanaan menara.

Kegiatan Pembelajaran 6 : Analisis Konstruksi Menara PLTB

A. Tujuan

Setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta diklat mengerti dan memahami konstruksi menara PLTB.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Peserta diklat mampu menganalisis konstruksi bangunan Menara untuk PLTB.

C. Uraian Materi

1. Parameter Utama Rancangan Menara

a. Tipe menara

Tipe menara menyangkut material yang digunakan disesuaikan dengan ketersediaan dan kemudahan pengangkutan ke lokasi. Material umum yang digunakan dapat dari rangka baja, maupun beton bertulang. Untuk sistem PLTB yang besar pada daerah yang jalannya relatif sempit dan berkelok lebih mudah dipilih kerangka baja, karena pemilihan ukuran kendaraan untuk mengangkut materialnya bisa disesuaikan, sedangkan jika dipilih beton pracetak dengan ukuran yang sangat besar akan relatif susah, karena harus menyiapkan jalannya terlebih dahulu sehingga ada biaya ekstra, kecuali jika beton dicetak di lokasi.

b. Diameter

Diameter tiap segmen, baik menggunakan baja maupun menggunakan beton bertulang disesuaikan dengan perhitungan yang dilakukan. Jika menggunakan kerangka baja maka pemilihan profil didasarkan atas analisa struktur yang sudah dilakukan, demikian juga jika dipilih beton bertulang maka dimensi tiap segmen termasuk ketebalan juga berdasar analisa struktur.

c. Tinggi

Tinggi sebuah menara sesuai dengan tinggi perencanaan yang berkaitan dengan daya rencana turbin angin sesuai dengan data angin dari survei angin yang sudah dilakukan.

d. Berat

Berat dari konstruksi menara akan sangat berpengaruh dalam mempertahankan gaya-gaya yang bekerja pada PLTB. Namun demikian semakin berat sebuah menara membutuhkan material yang semakin banyak sehingga memunculkan biaya yang semakin besar. Oleh karena itu harus dipertimbangkan faktor kuat, efektif, dan ekonomis.

Sebuah konstruksi menara harus mampu mempertahankan kelembamannya agar tidak terguling, serta mempunyai elastisitas dalam menyalurkan gaya-gaya yang bekerja agar tidak retak bahkan patah pada strukturnya.

Gambar 5. 1

Retak pada menara



Sumber: www.wlbtd.eu

Fasilitas yang ada pada menara dibuat seefisien mungkin agar tidak menambah ruang yang pada akhirnya menambah dimensi.

Bagaimanapun sebuah pembangkit baik dengan tujuan profit maupun non profit agar bisa terus bertahan membutuhkan biaya-biaya selama beroperasi, oleh karena itu dalam pembangunan menara, setelah faktor kekuatan, faktor keekonomisan harus diperhatikan. Untuk pembangkit yang berorientasi profit harus diperhatikan waktu pencapaian *break even point* agar terus bisa melakukan perencanaan anggaran. Untuk pembangkit yang non profit keekonomisan dalam pembangunan menara dapat menambah jumlah pembangkit yang akan dibuat, serta bisa dicadangkan dana pemeliharaan yang bisa lebih baik.

2. Analisis Struktur

a. Pembebanan

Beban-beban yang terdiri dari beban statis dan beban dinamis harus mampu ditopang oleh menara. Beban statis yang bekerja antara lain beban konstruksi menara itu sendiri dan berat dari turbin angin. Beban dinamis dapat berasal dari angin, gempa, getaran turbin saat beroperasi, dorongan turbin pada saat beroperasi, dan terutama getaran turbin saat berhenti mendadak pada kasus tertentu serta pada saat ada angin ribut jika sistem kontrol menjadi tidak berfungsi dengan maksimal.

Gambar 5. 2

Menara patah karena pengereman mendadak



Sumber: www.windcows.com

Keseluruhan beban pada menara harus mampu juga ditopang oleh pondasi, sehingga perencanaan menara selalu berkait dengan perencanaan pondasi.

Gambar 5. 3

Menara roboh oleh dorongan gaya luar yang tidak terkendali



Sumber: whatsupwiththat.com

b. Analisa Dimensi

Untuk analisa sederhana, sebuah konstruksi menara harus mampu menopang seluruh beban statis dan beban dinamis dari daya dorong turbin angin saat beroperasi.

Contoh perancangan struktur menara:

- 1) Tipe menara misalnya kerangka/lattis.
- 2) Tinggi menara misalnya 5 m berdasarkan perencanaan daya.
- 3) Berat dan diameter

a) Beban statis

- Berat menara
- Berat total konstruksi turbin

b) Beban dinamik angin pada sebuah objek

- Menentukan massa angin

Misal:

Jumlah sudu (n) = 3 batang

Lebar sudu (w) = 0,2 m

Panjang sudu (l) = 1,5 m

Kerapatan angin (ρ) = 0,25 kg/m³

Maka:

$$m = \rho \times n \times w \times l \times D$$

$$D = 2 \times l$$

$$= 2 \times 1,5$$

$$= 3 \text{ m}$$

$$m = \rho \times n \times w \times l \times D$$

$$= 0,25 \times 3 \times 0,2 \times 1,5 \times 3$$

$$= 0,675 \text{ kg}$$

- Misalnya angin yang bertiup dari lautan menuju daratan mempunyai massa 0,675 kg dengan kecepatan 9 m/s. Maka besarnya energi kinetik dari aliran angin tersebut adalah:

Jawab: Diketahui $m = 2,7 \text{ kg}$, $u_0 = 9 \text{ m/s}$

$$Ek = \frac{1}{2} m \cdot u_0^2$$

$$Ek = \frac{1}{2} (0,675) \cdot (9)^2$$

$$= 27 \text{ kg m}^2/\text{s}^2 \text{ (J)}$$

▪ **Beban angin pada penampang struktur menara**

Beban angin yang bekerja terdiri dari beban pada struktur menara dan beban pada bagian turbin angin. Tekanan angin pada struktur dihitung dengan mengasumsikan tekanan angin yang bekerja pada titik simpul dalam setiap *section/segmen*. Adapun pengolahan data angin yang akan dijadikan sebagai input dalam analisa adalah kecepatan angin maksimum. Rumus yang digunakan mengacu pada peraturan EIA/TIA-222-F.

Beban angin yang bekerja pada turbin angin dan struktur menara berbanding lurus dengan ukurannya, semakin besar beban angin jika memiliki dimensi yang lebih besar, dan sebaliknya semakin kecil jika memiliki dimensi yang lebih kecil.

✓ **Beban angin pada struktur menara**

Perhitungan beban angin pada struktur menara adalah sebagai berikut:

$$F = q_z \cdot GH \cdot CF \cdot AE, \text{ dan tidak boleh melebihi: } 2q_z \cdot GH \cdot AG$$

Dimana:

F = gaya angin horizontal (tegak lurus bidang gambar) (N)

q_z = tekanan kecepatan, $\text{Pa} = 0.613 K_z \cdot V^2$

$GH = 0.65 + 0.60 / (h/10)^{1/7}$ (gust response factor) (m)

$CF = 3.4 e^2 - 4.7 e + 3.4$ (penampang segitiga-konfigurasi kaki menara)

AE = luas proyeksi efektif dari komponen struktural pada satu muka (luas bagian yang terkena angin) (m^2)

$A_e = D_f \cdot A_f$

A_g = luas kotor dari satu sisi menara (luas total profil), (m^2)

A_f = luasan terproyeksi dari komponen struktur datar pada satu muka dari penampang, (m^2)

A_r = luas terproyeksi dari komponen struktural pada satu muka dari penampang, (m^2)

v = kecepatan dasar angin, (m/s)

Z = ketinggian di atas tanah sampai titik tengah dari penampang yang ditinjau, (m)

h = tinggi total struktur, (m)

K_z = koefisien keterbukaan struktur $(z/10)^{2/7}$

e = rasio kepadatan $(A_f + A_r) / A_g$

RR = faktor reduksi untuk komponen structural bundar $(0.51 e^2 + 0.57)$

DR = faktor arah angin untuk komponen datar

= 1.00 (untuk penampang segitiga dan arah angin normal)

= 0.8 (penampang segitiga dan arah angin 60°)

Beban angin yang menerpa struktur memiliki besaran yang berbeda pada setiap ketinggian. Semakin tinggi titik tinjauan, maka semakin besar beban angin yang menerpa struktur .

✓ Misal:

Diketahui: Tinggi menara = 5 meter

Kecepatan angin = 9 m/s

Bahan menara kaki empat

Dasar perhitungan EIA-222

Jawab:

$h = 5 \text{ m}$

$v = 9 \text{ m/s}$

A_f = Luas bersih untuk permukaan satu sisi tower yang ditinjau
(panjang x lebar x jumlah), untuk tower kaki 4 dengan tinggi tower 5 meter adalah $2,86593 \text{ m}^2$

A_g = Luas bruto untuk permukaan satu sisi tower yang ditinjau
($1/2 \times$ lebar bawah x lebar atas x tinggi), untuk tower dengan spesifikasi di atas adalah $28,775 \text{ m}^2$

A_r = untuk profil ini $0,00006 \text{ m}^2$

$$\begin{aligned} K_z &= (h/10)^{2/7} \\ &= (5/10)^{2/7} \\ &= 0,82034 \text{ Pa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_z &= 0,613 \times K_z \times v^2 \\ &= 40,4249 \text{ Pa} \\ &= 4,04249 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} GH &= (0,65 + 0,60) / (h/10)^{1/7} \\ &= (0,65 + 0,60) / (5/10)^{1/7} \\ &= 1,31245 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e &= (A_f + A_r) / A_g \\ &\quad (A_r \text{ ditinjau untuk } 1 \text{ m}^2) \\ &= (2,86593 + 0,00006) / 28,775 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,0996 \\
C_f &= (4 \times e^2) - ((5 \times 9e) + 4), \text{ untuk menara kaki empat} \\
&= 3,45 \\
D_f &= 1 \text{ (untuk } 0^\circ) \\
&= 1,07 \text{ (untuk } 45^\circ) \\
A_e &= D_f \times A_f \\
&= 1 \times 2,86593 \\
&= 2,86593 \\
A_A &= 0,3 \text{ sesuai profil} \\
C_A &= 2 \text{ (aspek ratio } > 25) \\
F &= Q_z \times G_H \times ((C_f \times A_e) + (C_A \times A_A)) \\
&= 55,67330479 \text{ Kg} \\
F_{\text{ijin}} &= 2 \times Q_z \times G_H \times A_g \\
&= 305,3364807 \text{ Kg} \\
F &< F_{\text{ijin}}, \text{ syarat terpenuhi.}
\end{aligned}$$

D. Aktifitas Pembelajaran

1. Peserta diklat menyimak penjelasan instruktur tentang analisis konstruksi menara PLTB yang membahas mengenai parameter utama rancangan menara dan analisis struktur konstruksi menara.
2. Peserta diklat berdiskusi berkelompok kemudian menganalisis dan merancang menara PLTB.
3. Latihan
 - a. Uraikan Parameter rancangan utama menara dengan tinjauan tipe menara...
 - b. Uraikan Parameter rancangan utama menara dengan tinjauan ketinggian menara...
 - c. Uraikan Parameter rancangan utama menara dengan tinjauan dimensi/diameter menara...
 - d. Uraikan Parameter rancangan utama menara dengan tinjauan berat menara...
 - e. Jelaskan keterkaitan antara pemilihan ketinggian turbin angin dengan perencanaan daya turbin angin...

4. Mengidentifikasi Isi Materi Pembelajaran

Sebelum melakukan kegiatan pembelajaran, berdiskusilah dengan sesama peserta diklat di kelompok Saudara untuk mengidentifikasi hal-hal berikut:

- a. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran ini? Sebutkan!
- b. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
- c. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!
- d. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!
- e. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
- f. Apa bukti yang harus diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di atas dengan menggunakan **LK-05**. Jika Saudara bisa menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran.

E. Rangkuman

1. Tipe menara menyangkut material yang digunakan disesuaikan dengan ketersediaan dan kemudahan pengangkutan ke lokasi. Material umum yang digunakan dapat dari rangka baja, maupun beton bertulang.
2. Tinggi sebuah menara sesuai dengan tinggi perencanaan yang berkaitan dengan daya rencana turbin angin sesuai dengan data angin dari survei angin yang sudah dilakukan.
3. Secara umum ada dua jenis anemometer, yaitu anemometer yang mengukur kecepatan angin (*velocity anemometer*) dan anemometer yang mengukur tekanan angin (anemometer tekanan). Dari kedua tipe anemometer ini *velocity anemometer* lebih banyak digunakan. Salah satu jenis dari *velocity anemometer* adalah *thermal anemometer* atau yang lebih dikenal dengan *hot wire anemometer* yaitu anemometer yang mengkonversi perubahan suhu menjadi kecepatan angin.

4. Ekstrapolasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran standar (10 meter) untuk menaksir kecepatan angin pada suatu ketinggian di atas ketinggian standar, misalnya pada 15 meter, 25 meter, 30 meter, dan seterusnya.
5. Beban statis yang bekerja pada menara PLTB antara lain: beban konstruksi menara itu sendiri dan berat dari turbin angin.
6. Beban dinamis menara PLTB dapat berasal dari angin, gempa, getaran turbin saat beroperasi, dorongan turbin pada saat beroperasi, dan terutama getaran turbin saat berhenti mendadak.
7. Beban angin yang bekerja terdiri dari beban pada struktur menara dan beban pada bagian turbin angin. Tekanan angin pada struktur dihitung dengan mengasumsikan tekanan angin yang bekerja pada titik simpul dalam setiap *section/segmen*.

F. Tes Formatif

- 1) Berikut ini merupakan material yang sering dipakai untuk menara PLTB, kecuali...
 - a. Baja profil.
 - b. Beton bertulang.
 - c. Beton komposit.
 - d. Kayu.
- 2) Menara PLTB memikul beban-beban yang relatif kompleks. Beban terbesar yang dipikul menara pada sistem PLTB adalah...
 - a. Beban angin pada struktur menara.
 - b. Beban angin pada turbin.
 - c. Dorongan turbin saat beroperasi.
 - d. Beban generator.
- 3) Berikut ini merupakan beban statis yang dipikul oleh konstruksi menara PLTB, kecuali...
 - a. Beban menara itu sendiri.
 - b. Beban Turbin PLTB.
 - c. Beban oleh es.
 - d. Beban distribusi jaringan.

- 4) Beban dinamis yang dipikul oleh menara PLTB tercantum di bawah ini, yang bukan merupakan beban dinamis adalah...
- a. Beban angin pada struktur menara.
 - b. Beban angin pada turbin.
 - c. Dorongan turbin saat beroperasi.
 - d. Beban generator.
- 5) angin yang bertiup dari lautan menuju daratan mempunyai massa 0,30 kg dengan kecepatan 5 m/s. tentukan besarnya energi kinetik dari aliran angin tersebut...
- a. 3,5 J
 - b. 4,5 J
 - c. 5,5 J
 - d. 6,5 J

G. Kunci Jawaban

- 1. d
- 2. c
- 3. c
- 4. d
- 5. a

LEMBAR KERJA KB-6

LK - 06

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran konversi energi dan konservasi energi? Sebutkan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....
.....

4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

6. Apa bukti yang harus diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

.....
.....
.....
.....
.....

.....

.....

1. Jelaskan tentang diameter menara?

This image shows a full page of white paper with horizontal blue ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are approximately 20 lines visible. The paper has a slight shadow on the right side, suggesting it's part of a bound notebook or folder.

2. Jelaskan tentang tinggi menara?

This image shows a full page of white paper with horizontal dashed lines, typical of primary-ruled notebook paper. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

3. Jelaskan tentang berat menara?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. Sebutkan penyebab mengenai keretakan menara?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. Jelaskan tentang pembebanan pada menara?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

6. Jelaskan tentang penyebab menara patah?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

7. Sebutkan berbagai faktor yang harus dipertimbangkan dalam pembangunan menara?

[illegible]

1. Gambarkan keretakan pada menara tubular.

2. Gambarkan pembesian pada fondasi menara tubular.

3. Gambarkan bagan alir pekerjaan fondasi menara.

4. Gambarkan bagan alir pekerjaan perencanaan menara.

5. Gambarkan tampang melintang menara tubular.

6. Gambarkan posisi tangga pada menara tubular ukuran besar.

Kegiatan Pembelajaran 7 : Potensi Energi Surya

A. Tujuan

Setelah pembelajaran peserta dapat :

1. Menganalisis potensi energi surya.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Setelah mengikuti pembelajaran, peserta diklat mampu menyelidiki Potensi energi matahari.

C. Uraian Materi

Radiasi Surya

Kinerja suatu sistem konversi energi terbarukan sangat dipengaruhi oleh karakteristik masukan energi (seperti: surya, air, angin, dan biomassa) yang merupakan suatu fungsi waktu, tergantung pada lokasi (*site specific*) dan mempunyai fenomena statistik. Oleh karena itu, pembuatan model perilaku sistem membutuhkan informasi yang tepat dari variabel-variabel yang terkait.

Dalam sistem energi surya, penyinaran matahari harus diketahui terlebih dahulu baik melalui pengukuran atau dari metode estimasi. Karena parameter-parameter meteorologi merupakan subyek yang selalu berubah-ubah, masa depan kinerja sistem energi surya tidak dapat secara tepat dikalkulasi tapi hanya dapat diestimasi dalam perilaku yang paling mendekati kondisi realistis.

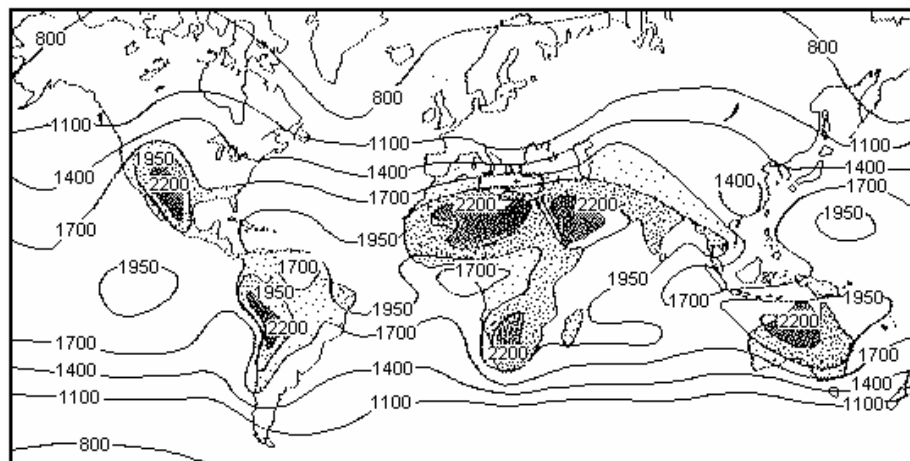
Distribusi Radiasi Surya

Radiasi surya mencapai permukaan bumi terjadi secara langsung dari matahari (radiasi sinar langsung – *direct beam radiation*) dan tidak langsung setelah tersebar dan/atau

terpantul oleh aerosol, molekul-molekul atmosfer dan awan (*diffuse radiation*). Jumlah penyinaran kedua komponen radiasi yang jatuh pada permukaan horizontal dikenal sebagai radiasi global (*global radiation*). Distribusi radiasi global dari energi surya dapat dilihat pada gambar 6.1.

Pada dasarnya, baik untuk daerah tropis dan subtropis, radiasi surya diluar atmosfer bumi (*extraterrestrial radiation*) harian tidak terlalu beragam selama setahun. Namun demikian, dikarenakan fenomena cuaca musiman (kemarau, hujan, badai pasir dll) dapat terjadi perubahan musim yang ekstrim dalam radiasi global, khususnya pada daerah utara dan selatan daerah tropis. Perubahan irradiansi pada daerah-daerah ini umumnya merupakan fungsi dari panjangnya hari dan sudut datang radiasi surya.

Gambar 6. 1 Distribusi radiasi solar global dalam (kWh/m².tahun)



Tabel 6. 1

Penyinaran matahari di 18 lokasi di Indonesia

Kawasan	Lokasi	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	Rata2
KBI	Banda													
	Aceh	3.7	4.1	4.4	4.5	4.3	5.0	4.3	4.6	4.4	3.7	3.0	3.2	4.1
	Medan	3.7	4.3	4.4	4.5	4.5	4.6	4.7	4.6	4.5	4.0	4.1	3.8	4.3
	Sipirok	2.7	2.9	3.8	3.8	4.3	4.6	4.4	4.9	4.5	4.1	3.1	2.1	3.8
	G Tua	4.3	4.9	5.0	5.7	4.9	5.2	5.2	5.1	5.1	4.7	4.8	4.4	4.9
	Jakarta	3.9	4.0	4.5	4.6	4.4	4.2	4.4	4.8	5.1	4.9	4.4	4.2	4.5
	Bandung	4.2	4.9	4.7	4.0	3.7	3.5	3.9	4.2	4.5	4.8	3.9	3.6	4.2
	Lembang	5.1	4.6	4.6	4.9	4.4	5.2	5.2	5.7	6.9	5.2	5.1	5.0	5.2
	G Brengos	4.0	3.7	4.2	4.9	4.4	4.7	4.9	5.1	5.9	5.0	4.7	4.6	4.7
	Surabaya	5.4	3.7	3.9	5.0	5.9	5.3	5.7	5.8	6.5	6.9	6.4	4.6	5.4
KTI	Denpasar	4.6	5.1	5.0	5.1	4.5	4.1	4.0	5.2	5.2	5.6	5.4	4.8	4.9
	Jambek	4.9	5.2	5.3	5.4	5.2	4.6	4.8	5.0	5.6	6.2	5.6	5.3	5.3
	Mangkung	5.0	5.2	5.0	5.6	5.1	4.8	4.9	5.3	6.1	6.4	5.9	5.4	5.4
	D Baru	5.7	5.0	4.8	5.8	5.6	5.1	5.3	5.6	6.8	6.8	6.3	5.3	5.7
	L Lombok	4.7	5.1	4.5	5.6	5.4	5.0	5.2	5.5	5.9	5.6	6.1	4.9	5.3
	Kawo	4.4	5.3	5.3	5.6	5.0	5.3	4.7	5.3	5.6	5.8	5.9	5.6	5.3
	Pemuda	4.8	5.5	5.5	5.9	5.4	5.1	5.0	5.3	6.4	6.5	6.0	5.4	5.6
	G Watu	4.1	4.1	4.0	3.9	4.3	4.1	3.6	4.2	5.1	5.2	5.5	4.8	4.4
	Kupang	3.6	3.9	4.6	4.7	5.1	4.2	4.4	4.3	5.4	5.4	4.6	3.9	4.5

Berdasarkan gambar 1, maka penyinaran matahari global di Indonesia berkisar antara 1700 - 1950 kWh/m².tahun = 4.66 - 5.34 kWh/m².hari. Berdasarkan data pengukuran yang dihimpun dari 18 lokasi, distribusi penyinaran matahari di Indonesia dapat dilihat pada tabel 6.1.

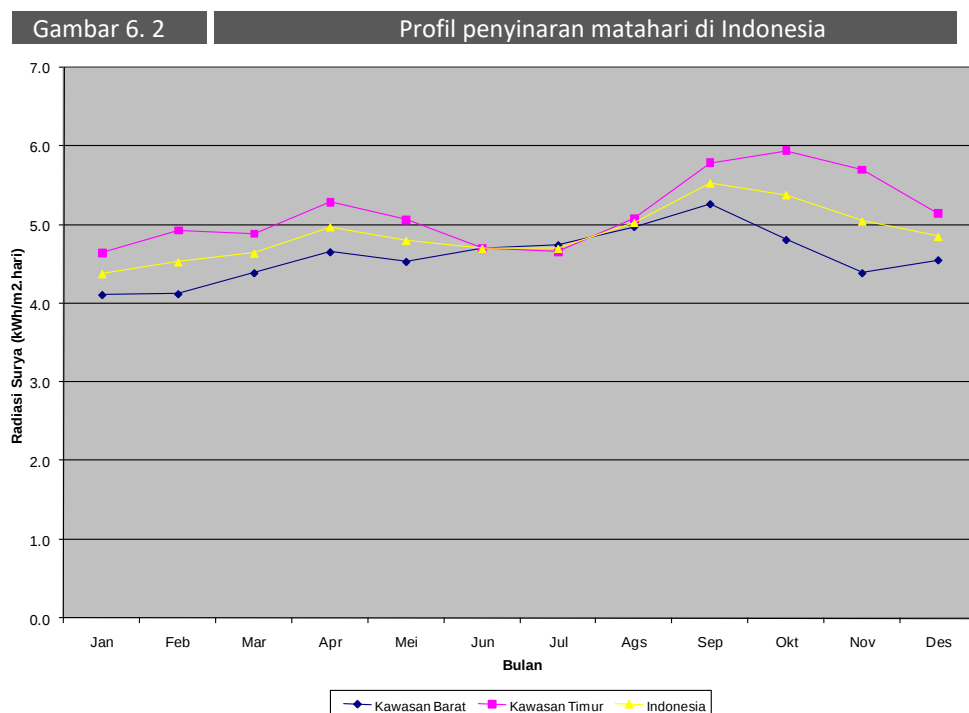
Apabila data-data tersebut pada tabel 1 dirata-ratakan serta dikelompokkan berdasarkan kawasan barat (KBI) dan kawasan timur Indonesia (KTI), maka dapat diperoleh gambaran sebagai berikut:

Penyinaran matahari rata-rata Indonesia = 4,85 kWh/m².hari

Penyinaran matahari rata-rata KBI = 4,55 kWh/m².hari

Penyinaran matahari rata-rata KTI = 5,14 kWh/m².hari

Secara grafis distribusi penyinaran matahari di Indonesia disajikan pada Gambar 6.2.



Disini terlihat bahwa penyinaran matahari di Indonesia terdistribusi hampir merata sepanjang tahun dan tersebar diberbagai wilayah di Indonesia.

Estimasi Data Radiasi Untuk *System Modelling*

Untuk merancang suatu sistem energi surya, maka kondisi penyinaran, letak geografis (garis lintang dan bujur), ketinggian (*altitude*), waktu (pada umumnya disampaikan rata-rata bulanan), keadaan atmosfer dan orientasi panel surya (azimut dan kemiringan) harus diketahui. Seringkali menjadi masalah bahwa data-data yang diperlukan seringkali tidak tersedia, khususnya yang terkait dengan penyinaran matahari di lokasi yang bersangkutan.

Karenanya di dalam analisa sering dilakukan dengan berbagai pendekatan, misal dengan menggunakan data dari lokasi dengan kondisi lintang yang berdekatan atau dengan menggunakan suatu model estimasi.

1. Estimasi Resolusi Waktu

Satu tugas utama dalam hal rancangan sistem energi *solar* adalah pemodelan data radiasi. Untuk keperluan ini maka profil penyinaran harian atau rata-rata bulanan sangat diperlukan. Simbol dan pengertian yang akan digunakan didalam analisis disampaikan pada tabel 6.2.

Nilai penyinaran ekstraterrestrial (ditulis 'o') dapat dikalkulasi untuk tiap lokasi dan waktu sebagaimana akan diuraikan dibagian berikut tulisan ini.

Pola harian harus dibuat model hanya jika data insolasi tersedia. Pendekatan yang paling sederhana untuk menyimpulkan satu pola waktu harian dari jumlah-jumlah harian adalah model rata-rata radiasi (lihat gambar 6.3). Jumlah radiasi harian H hanya dibagi dalam 24 untuk memberikan radiasi rata-rata perjam, intensitas $I = G = H/24 \text{ h}$.

Dengan pendekatan ini, suatu sistem pengukuran kasar sudah dapat dilakukan. Dengan nilai yang diketahui untuk kebutuhan energi harian E_{harian} dan efisiensi sistem η , luasan panel fotovoltaik yang dibutuhkan dapat dihitung dengan:

$$A_{PV} = \frac{E_{\text{harian}}}{\eta H}$$

Jika perhitungan ini dilakukan pada hari yang secara relatif ‘buruk’, akan muncul PV area yang cukup realistik. Kesalahan-kesalahan dalam model ini merupakan konsekuensi dari:

- Ketergantungan nilai η pada intensitas penyinaran matahari
- Kemungkinan adanya ambang batas penggunaan - *utilizability thresholds* (yaitu: sistem membutuhkan tenaga minimum yang spesifik untuk bekerja).

Model ini tidak cocok mengitung sistem *layout* komponen-komponen penyimpanan.

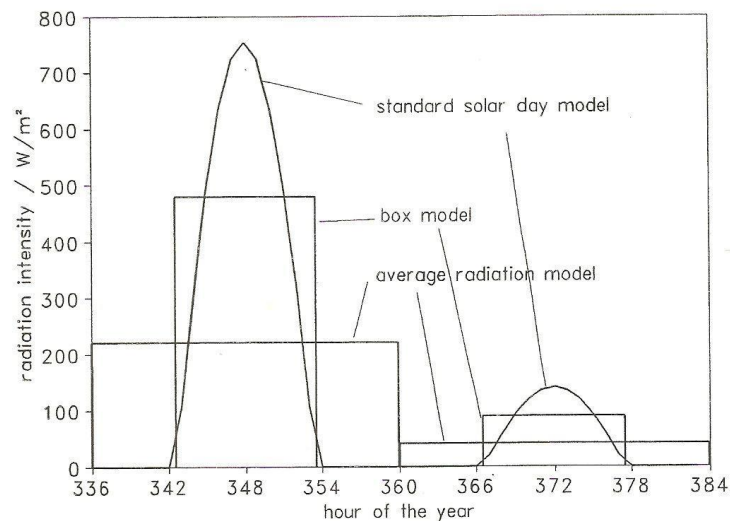
Tabel 6. 2 Berbagai simbol untuk besaran penyinaran matahari¹

Karakter Penyinaran	Sesaat (W/m ²)	Rata2 per-jam (W/m ²)	Energi harian (Wh/m ²)	Energi harian menurut rata2 bulanan (Wh/m ²)
Radiasi ekstraterrestrial pada permukaan horizontal	G_o	I_o	H_o	$\overline{H}_0$
Radiasi global pada permukaan bumi (horizontal)	G	I	H	$\overline{H}$
Radiasi sinar langsung pada permukaan harizontal	G_b	I_b	H_b	$\overline{H}_b$
Radiasi baur pada permukaan horizontal	G_d	I_d	H_d	$\overline{H}_d$

¹Photovoltaic Stand-Alone System, University Oldenburg, Germany, 1993

Gambar 6. 3

Pola waktu radiasi untuk 3 model radiasi sederhana



Pendekatan yang diperbaharui adalah model kotak (*box model*)- (Gambar 6.3) dimana radiasi konstan diasumsikan untuk rentang waktu yang terbatas yaitu dikisaran jam 12 siang. Intensitas radiasi konstan dihitung dengan $G = H/t_{box}$, yang mana tentu saja lebih luas dibandingkan dengan intensitas model yang sebelumnya. Jika t_{box} ditentukan 11 h atau 11 jam, intensitas radiasi yang realistis akan tercapai. Ini adalah intensitas saat sistem akan bekerja pada efisiensi yang maksimum.

Model ini memberikan nilai tenaga yang realistis dan memungkinkan pengukuran komponen yang langsung disuplai oleh PV panel (misalkan pompa air). Pada akhirnya, model ini dapat digunakan untuk sebuah pengukuran (*sizing*) kasar komponen penyimpanan. Namun demikian, karena seluruh energi *solar* yang masuk dirumuskan dalam model adalah pada sebuah level intensitas tinggi, ambang penggunaan tidak dapat dilihat dan kinerja sistem menjadi *overestimated*.

Sebuah pendekatan yang lebih layak adalah model “*Standard Solar Day*” saat intensitas radiasi mengikuti sebuah pola sinusoidal:

$$G_{(t)} = G_{\max} \frac{\sin 180 \frac{t}{t_{SSD}}}{1}$$

dimana $G_{\max}$ tersedia oleh $\frac{\pi H}{2t_{SSD}}$ sehingga waktu integral mencapai $G_{(t)}$ setara H:

$$H = \int_{day} G_{(t)} dt = G_{\max} \int_0^{t_{SSD}} \frac{\sin 180 \frac{t}{t_{SSD}}}{1} dt = \frac{2t_{SSD}}{\pi} \cdot G_{\max}$$

Untuk perkiraan yang baik, rata-rata per jam dapat dibuat dengan:

$$I_{(t)} = G_{\max} \cdot \sin \frac{180t}{t_{SSD}},$$

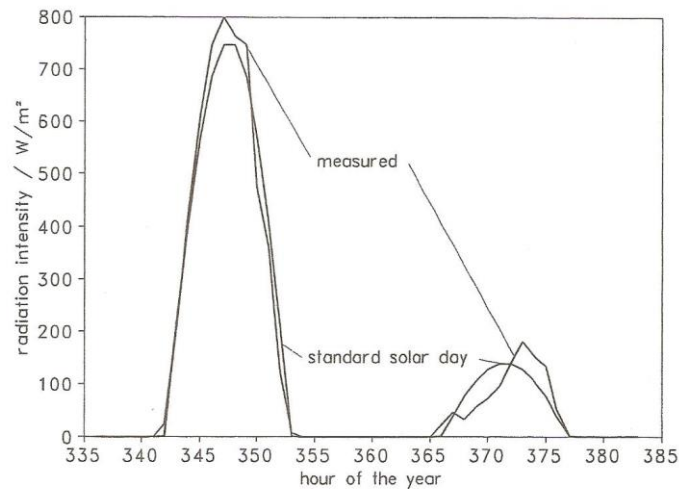
per jam

t dalam jam

Untuk kebanyakan aplikasi dalam daerah tropis, $t_{SSD} = 11$ h adalah pilihan yang bagus. Contohnya, pengukuran dan data model ditampilkan dalam gambar 6.4.

Gambar 6. 4

Contoh perbandingan model ‘*Standard Solar Day*’



Model ini sedikit memiliki kesalahan dibandingkan dengan metode lain yang disampaikan dimuka. Hanya fluktuasi statistik dari radiasi *solar* yang tidak dipertimbangkan. Namun demikian, model ini membutuhkan penggunaan komputer untuk sebuah rancangan sistem yang akurat.

Dalam rangka menyimpulkan rangkaian waktu insolasi yang lebih realistis dibandingkan pola "*standard day*" ini (yaitu variasi harian, fluktuasi karena adanya awan dalam pola harian) informasi statistik yang lebih banyak untuk lokasi yang harus diketahui.

Untuk perhitungan di atas, suatu jumlah irradiansi harus diketahui tiap hari untuk disimulasikan.

2. Estimasi dari Komponen Radiasi

Perbedaan antara radiasi langsung dengan radiasi tersebar akan sangat mendasar pada saat berurusan dengan suatu aplikasi yang hanya menggunakan komponen langsung, seperti: penggunaan konsentrator. Untuk permukaan miring, juga penting untuk mengetahui *fraction* sebaran dari radiasi global seperti yang akan terlihat di bahasan berikut.

Hanya jika radiasi global pada suatu lokasi spesifik diketahui, kita harus menggunakan sebuah model dalam tujuan mengestimasi seberapa besar radiasi langsung dan seberapa besar yang tersebar. Suatu kuantitas penting untuk melakukan analisis ini adalah indeks kejernihan (*clearness index*) - k_T , yang di definisikan sebagai:

$$k_T = \frac{G}{G_0} = \frac{G}{G_{on} \cos \theta_z}$$

dimana kuantitas $G_{on} \cos \theta_z$ dapat dihitung secara tepat untuk tiap lokasi dan waktu. Hal ini tergantung pada sudut zenith matahari θ_z , berawan atau tidaknya langit dan *altitude* dari lokasi.

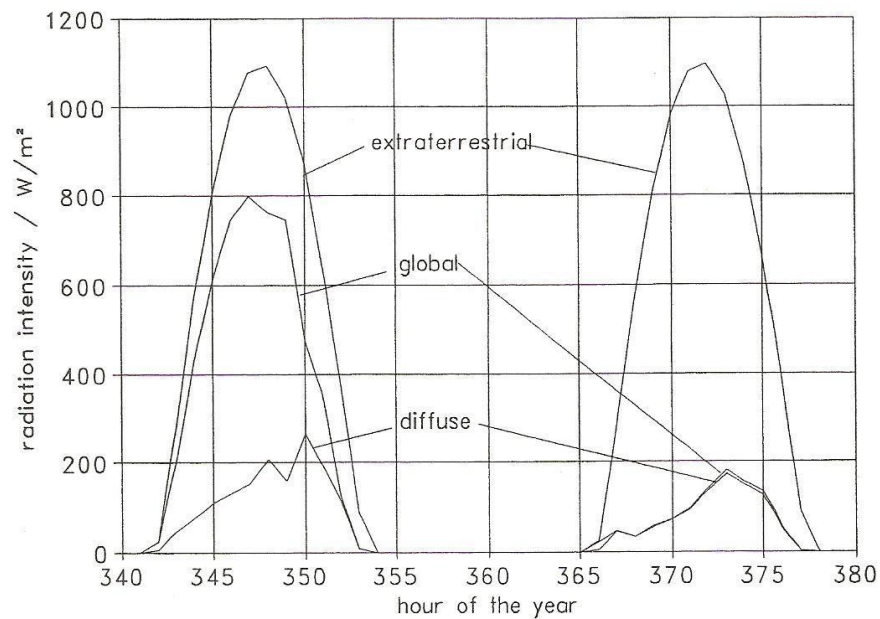
Untuk fraksi sebaran dari radiasi global hubungan empirik dengan k_T telah ditemukan oleh Orgill dan Hollands:

$$\frac{G_d}{G} = \begin{cases} 1.0 - 0.249k_T & \text{untuk } 0 \leq k_T \leq 0.35 \\ 1.557 - 1.84k_T & \text{untuk } 0.35 < k_T \leq 0.75 \\ 0.177 & \text{untuk } k_T > 0.75 \end{cases}$$

Bahkan pada kondisi langit tak berawan/cerah ($k_T = 0.7$) radiasi tersebar mengumpulkan/melengkapi 20% radiasi global. Suatu kelengkapan model-model (*a wealth of models*) telah dirumuskan untuk tipe-tipe berbeda dari nilai-nilai rata-rata tengah tapi keseluruhannya serupa dengan yang telah ada (cf. Duffie/Beckman). Dalam gambar 6.5, G_0 , G dan G_d , seperti yang dikalkulasi setelah perhitungan Orgill dan Hollands, ditampilkan selama 2 hari di bulan Januari di Timbuktu, Mali.

Gambar 6. 5

Radiasi Ekstraterrestrial (terkalkulasi), global (terukur) dan sebaran/difusi

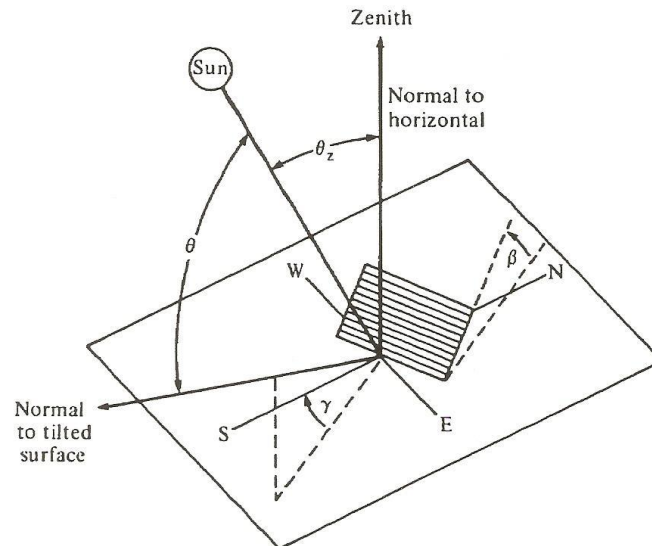


3. Estimasi Radiasi pada Permukaan Miring

Umumnya, piranti pengubah energi matahari (seperti modul PV dan kolektor termal) dipasang dengan orientasi azimuth dan sudut kemiringan tertentu, yang dioptimasi untuk suatu pertimbangan tertentu.

Namun demikian, kebanyakan data radiasi yang ada diberikan untuk permukaan horizontal saja sehingga untuk suatu keperluan harus dianalisa dan diestimasi besaran energinya untuk permukaan dengan orientasi dan sudut kemiringan berbeda.

Model estimasi untuk kalkulasi radiasi global pada bidang miring (*inclined planes*) pada dasarnya diolah dari data penyinaran yang datang pada bidang horizontal. Hal yang umum pada semua model adalah dilakukan pemisahan radiasi global menjadi komponen-komponen radiasi langsung, radiasi tersebar/*diffuse* dan radiasi terpantul oleh permukaan tanah di depan bidang miring.



$G_t = G_{bt} + G_{dt} + G_{rt}$, Rumus 1: kalkulasi radiasi global pada bidang miring

Dimana t mewakili radiasi pada bidang miring.

Komponen-komponen individual harus diubah dari nilai horizontal secara terpisah. Besar radiasi langsung pada bidang miring:

$$G_{bt} = G_b \cdot \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z}$$

dimana θ (sudut datang) dan θ_z (sudut zenit) berturut-turut adalah sudut antara arah matahari terhadap normal bidang miring dan horizontal.

Perbedaan dalam rumusan model muncul dari konversi untuk radiasi tersebar. Berdasarkan radians yang seragam dari tiap porsi angkasa (isotropi), sebuah

model sederhana untuk radiasi tersebar pada sebuah *inclined plane*, sering dihubungkan dengan model Liu dan Jordan, dapat dirumuskan :

$$G_{dt} = \frac{1}{2} G_d (1 + \cos \beta),$$

Dengan β adalah sudut kemiringan bidang penerima radiasi matahari.

The ground-reflected irradiance dimodel utamanya berasumsi bahwa sebuah pantulan isotropik dari irradians di atas tanah :

$$G_{rt} = \frac{1}{2} G \rho (1 - \cos \beta)$$

Dengan pantulan tanah ρ (albedo). Jika tidak diketahui, sebuah nilai rata-rata 0.2 dijadikan asumsi.

Dikarenakan ketergantungan Rumus di atas pada waktu hari Rumus-Rumus tersebut harus diaplikasikan dengan kalkulasi jangka pendek (di atas rata-rata waktu satu jam).

Dengan demikian, dengan asumsi distribusi isotropi dari radiasi tersebar, global *irradiance* pada permukaan menurun dapat diekspresikan dengan :

$$G_t = G_b \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} + \frac{1}{2} G_d (1 + \cos \beta) + \frac{1}{2} G \rho (1 - \cos \beta).$$

Penggunaan model-model yang dijelaskan di atas membutuhkan pengetahuan tentang *diffuse*/sebaran atau komponen langsung dari irradians horizontal.

D. Aktivitas Pembelajaran

1. Mengamati

Peserta mengamati tayangan *slide power point*, gambar animasi atau gambar tentang sistem PLTS yang ditampilkan oleh guru secara bertahap

2. Menanya

Peserta menyusun sejumlah pertanyaan yang akan didiskusikan melalui diskusi kelompok atau diajukan kepada guru.

3. Mengumpulkan informasi/ eksperimen

- a. Peserta memperkaya informasi dari berbagai sumber termasuk internet untuk pertanyaan yang belum bisa dijawab melalui diskusi kelompok.
- b. Peserta melakukan pengukuran intensitas cahaya matahari dengan menggunakan peralatan sederhana yang tersedia di lab untuk memperkuat pemahaman tentang PLTS.

4. Mengasosiasikan/ mengolah informasi

- a. Peserta mencata hasil pengukuran.
- b. Peserta mengolah data hasil pengukuran.

5. Mengkomunikasikan

- a. Peserta mempresentasikan hasil pengukuran di depan kelas.
- b. Peserta mendeskripsikan hasil pengukuran intensitas cahaya matahari yang sebenarnya.

6. Mengidentifikasi Isi Materi Pembelajaran

Sebelum melakukan kegiatan pembelajaran, berdiskusilah dengan sesama peserta diklat di kelompok Saudara untuk mengidentifikasi hal-hal berikut:

- a. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran ini? Sebutkan!
- b. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
- c. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!
- d. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!
- e. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

- f. Apa bukti yang harus diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di atas dengan menggunakan **LK-06**. Jika Saudara bisa menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran.

E. Rangkuman

Kinerja suatu sistem konversi energi terbarukan sangat dipengaruhi oleh karakteristik masukan energi (seperti: surya, air, angin, dan biomassa) yang merupakan suatu fungsi waktu, tergantung pada lokasi (*site specific*) dan mempunyai fenomena statistik. Oleh karena itu, pembuatan model perilaku sistem membutuhkan informasi yang tepat dari variabel-variabel yang terkait.

Pada dasarnya, baik untuk daerah tropis dan subtropis, radiasi surya diluar atmosfer bumi (*extraterrestrial radiation*) harian tidak terlalu beragam selama setahun. Namun demikian, dikarenakan fenomena cuaca musiman (kemarau, hujan, badai pasir dll) dapat terjadi perubahan musim yang ekstrim dalam radiasi global, khususnya pada daerah utara dan selatan daerah tropis. Perubahan irradiansi pada daerah-daerah ini umumnya merupakan fungsi dari panjangnya hari dan sudut datang radiasi surya.

Perbedaan antara radiasi langsung dengan radiasi tersebar akan sangat mendasar pada saat berurusan dengan suatu aplikasi yang hanya menggunakan komponen langsung, seperti: penggunaan konsentrator. Untuk permukaan miring, juga penting untuk mengetahui fraction sebaran dari radiasi global seperti yang akan terlihat di bahasan berikut.

F. Tes Formatif

1. Untuk PLTS terpusat dengan kapasitas 5 kWp, dibutuhkan area pembangkitan sebesar kurang lebih :
 - a. Minimum 500 m²
 - b. Minimum 5000 m²
 - c. Berapa saja tidak masalah
 - d. Salah semua

2. Perawatan PLTS yang utama adalah :
 - a. Membersihkan area permukaan PV module dari kotoran dan bayangan penghalang
 - b. Menjaga sambungan semua kabel koneksi yang ada
 - c. Untuk menjaga baterai tipe OPzV harus selalu dijaga level isi cairanya.
 - d. a dan c benar

G. Kunci Jawaban

1. a

2. c

LEMBAR KERJA KB-7

LK - 07

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran konversi energi dan konservasi energi? Sebutkan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

6. Apa bukti yang harus diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

1. Jelaskan tentang radiasi surya?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Jelaskan tentang distribusi radiasi surya?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Jelaskan tentang estimasi radiasi permukaan miring?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. Jelaskan tentang estimasi komponen radiasi?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. Jelaskan tentang estimasi resolusi waktu?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

6. Jelaskan tentang estimasi data radiasi untuk sistem pemodelan?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

7. Jelaskan tentang alat pengukur cahaya matahari?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

1. Gambarkan distribusi radiasi solar global.
2. Gambarkan diagram profil penyinaran matahari di Indonesia.
3. Gambarkan diagram pola waktu radiasi 3 model.

4. Gambarkan diagram distribusi standar *solar day*.

5. Gambarkan diagram radiasi ekstraterestial.

6. Gambarkan diagram alir pengambilan data radiasi dengan alat pengukur radiasi matahari.

Kegiatan Pembelajaran 8 : Komponen PLTS

A. Tujuan

Setelah pembelajaran peserta dapat :

1. Mengidentifikasi modul fotovoltaik dan cara kerja PLTS.
2. Menganalisis konsep dan mengidentifikasi jenis baterai.
3. Mengaplikasikan baterai pada PLTS.
4. Mengaplikasikan perawatan baterai.
5. Menganalisis kelistrikan dan sistem kontrol.
6. Menganalisis prinsip kerja *power* elektronik.
7. Mengaplikasikan pengoperasian *power* elektronik.
8. Mengaplikasikan *power* elektronik.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Setelah pembelajaran peserta memahami:

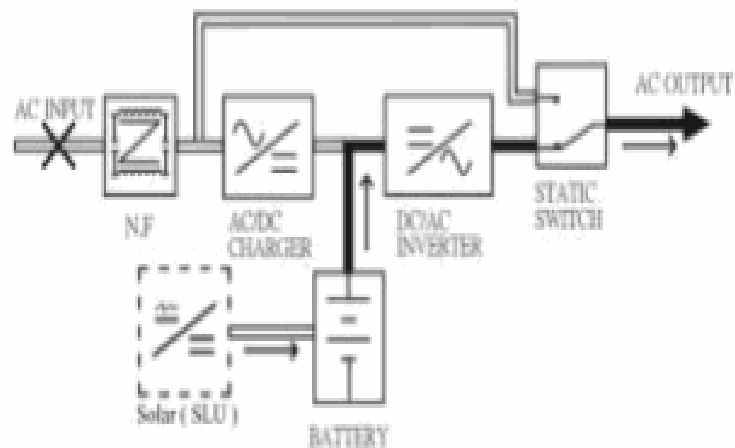
1. Konsep dan jenis baterai.
2. Kelistrikan dan sistem kontrol.
3. Konsep kerja *power* elektronik.

C. Uraian Materi

Pembangkit Listrik Tenaga Surya, berfungsi untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik DC, dan kemudian energi tersebut dapat langsung digunakan maupun disimpan di baterai melalui unit kontrol yang sering disebut *solar charge controller* (SCC) atau *Battery Charge Unit* (BCU) atau *Battery Charge Regulator* (BCR). *Photovoltaic* disusun dari 2 kata yaitu *photo* yang berarti cahaya dan *voltaic* yang berarti listrik sehingga *photovoltaic* berarti suatu alat yang merubah cahaya (matahari) menjadi listrik. Suatu modul *photovoltaic* terdiri dari sel-sel yang terhubung dan dimasukkan pada suatu paket atau bingkai di mana modul ini biasanya disebut *solar panel*.

Sel surya yang terbuat dari bahan khusus yang disebut dengan semikonduktor seperti silikon, yang saat ini digunakan. Pada dasarnya, ketika cahaya masuk kedalam sel, suatu bagian tertentu dari itu diserap dalam bahan semikonduktor. Ini berarti bahwa energi cahaya diserap ditransfer ke semikonduktor. Energi yang membentur elektron, yang memungkinkan mereka untuk mengalir bebas.

Gambar 7. 1 Prinsip Umum Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya



Aliran elektron adalah arus, dengan menempatkan kontak logam pada bagian atas dan bawah dari sel surya, kita dapat menarik arus yang *off* untuk penggunaan eksternal, misalnya untuk daya kalkulator. Skematik sistem PLTS diperlihatkan pada Gambar 7.1 Pada Gambar 7.2. diperlihatkan contoh pemasangan PLTS terpusat yang terdiri dari beberapa modul surya yang dirangkai secara seri dan parallel (*array*).

Gambar 7. 2 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya

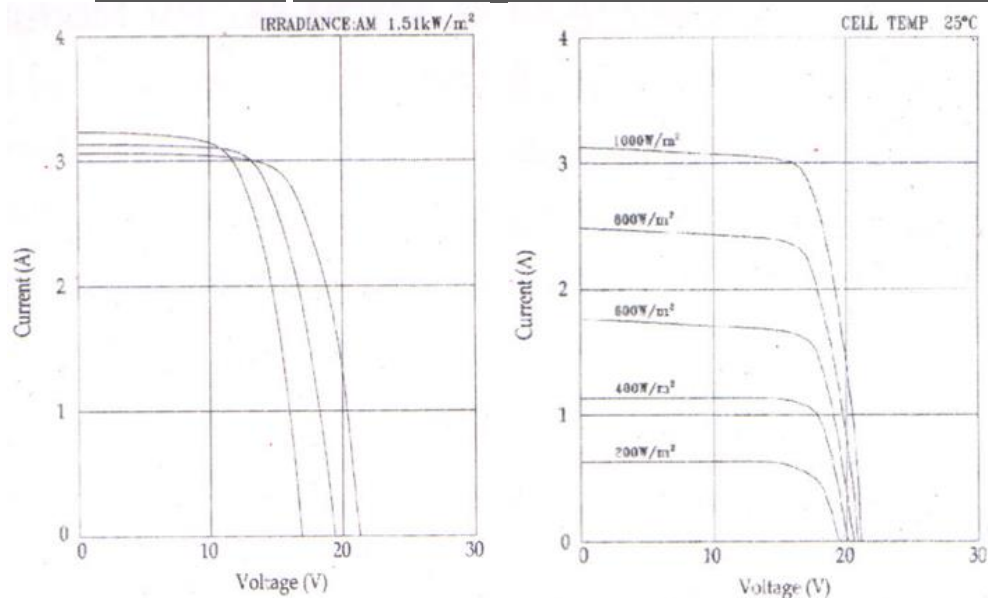


Secara umum komponen PLTS adalah sebagai berikut:

Modul *Photovoltaic*

Berbagai macam tipe/ jenis dari modul *photovoltaic* (PV) yang telah banyak beredar di pasaran, diantaranya yang paling banyak digunakan adalah jenis *poly-crystalin*, ada juga yang *mono crystallin*, *thin-film* dan sebagainya.

Gambar 7.3 Karakteristik Tegangan dan Arus (i-v) Modul PV tipikal



Untuk menentukan jenis modul *photovoltaic* yang akan digunakan maka dilakukan penelitian terhadap karakteristik daya dan arus dari modul seperti diperlihatkan pada Gambar 7.3.

Jumlah dan skala (*size*) *photovoltaic* yang dipasang di suatu lokasi dihitung berdasarkan kemampuan menghasilkan energi tahunan di lokasi sesuai dengan kontribusi energi yang diinginkan. Beberapa konfigurasi dapat dilakukan agar dapat diperoleh sistem yang paling optimum. Menjadi pertimbangan utama dalam menentukan jumlah modul PV (kWp), adalah besarnya energi listrik yang harus disuplai oleh PV (kWh/hari) dan besarnya iradiasi (kWh/m²/hari) yang setara dengan PSH (h) di lokasi tersebut. Tegangan kerja PV (*tipe crystalline*)

dapat dipilih 12 volt atau 24 Volt per modul, sehingga tegangan sistem yang akan dibangun adalah merupakan kelipatan 12 atau 24 volt.

Bahan untuk pembuatan *photovoltaic* saat ini ada 3 macam yang populer diantaranya adalah *mono-crystalline*, *poly-crystalline* dan *thin film*. Berikut penjelasan 3 macam bahan tersebut.

Mono-crystalline

Dibuat dari *silicon* kristal tunggal yang didapat dari peleburan silikon dalam bentuk bujur. *Mono-crystalline* dapat dibuat setebal 200 mikron, efisiensi modul 17%.

Poly-crystalline/multi-crystalline

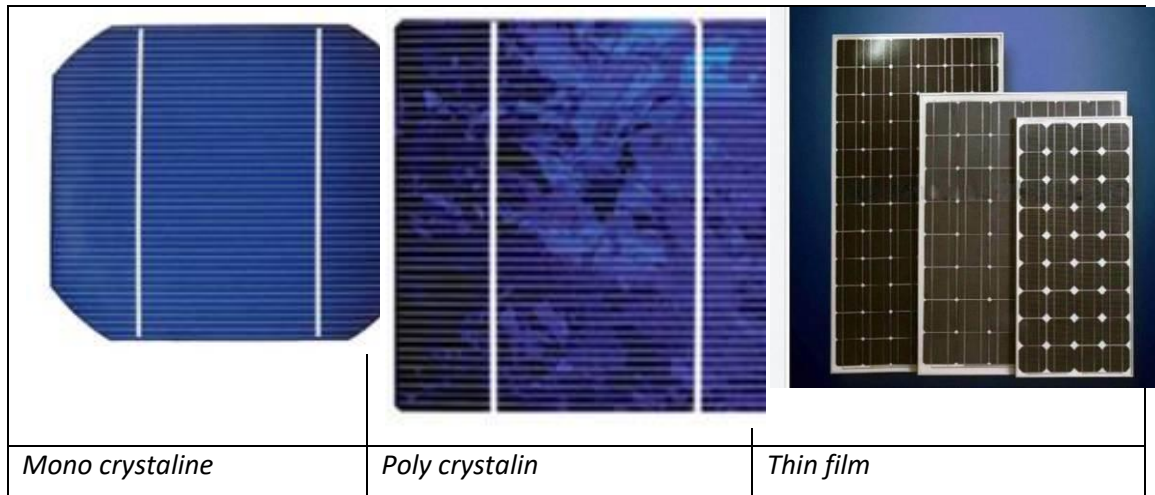
Dibuat dari peleburan silikon dalam tungku keramik, kemudian pendinginan perlahan untuk mendapatkan bahan campuran silikon yang akan timbul di atas lapisan silikon. Sel ini kurang efektif dibandingkan dengan sel *Poly-crystalline* (efektifitas 14%), tetapi biaya lebih murah.

Sel Surya Silikon Terpadu *Thin Film*

Merupakan *Amorphous* Silikon sebagai pengganti kaca berwarna yang semi transparan.

- a. *Thin Film Silikon* dibuat dari *thin-crystalline* atau *poly-crystalline* pada bahan metal yang cukup murah (*cladding* sistem).
- b. *Cadmium Telluride* terbentuk dari bahan materi *thin film polycrystalline* secara deposit, semprot, dan evaporasi tingkat tinggi. Nilai efisiensi 16%.
- c. *Copper Indium Diselenide* merupakan bahan dari film tipis *polycrystalline*. Nilai efisiensi 17.7%.
- d. *Chalcopyrite*.
- e. *Electrochemical Cells*.

Gambar 7. 4

Bahan *photovoltaic* mono- *poly crystalline* dan *thin film*

Tabel 7. 1

Karakteristik *photovoltaic* berdasarkan bahannya

	<i>Mono-crystalline</i>	<i>Multi & poly crystalline</i>	<i>Amorphous</i>
Ketebalan	350 um	350 um	Beberapa um
Efisiensi	15-24%	10-17%	5-9% (<i>single junction</i>): 8-15% (<i>multi junction</i>)
Tahanan Radiasi	baik	baik	Sedang-cukup baik
Temperatur operasional	Tinggi,<200C	Tinggi,<200C	Tinggi,<150C
Proses pembuatan	rumit	Tidak serumit <i>mono-crystalline</i>	Rumit
Kehandalan	sangat tinggi	Tinggi sedang	cukup tinggi

Sebuah sel surya dalam menghasilkan energi listrik (energi sinar matahari menjadi *photon*) tergantung pada besaran luas bidang silikon, dan secara konstan

akan menghasilkan energi berkisar ± 0.5 volt – max 600 Mv pada 2 amp, dengan kekuatan radiasi sinar matahari $1000 \text{ W/m}^2 = '1 \text{ sun}'$ akan menghasilkan arus listrik (I) sekitar 30 Ma/cm^2 per sel surya. Pada Gambar 7.4. diperlihatkan contoh modul *thin film*. Besaran Watt yang dihasilkan berbanding dengan luasan sel PV tersebut disebut dengan efisiensi *cell* PV. Karakteristik sel surya dapat dilihat Tabel 7.1 di atas.

Luas modul suatu *photovoltaic* dipengaruhi salah satunya oleh bahan pembuatnya, berikut ini adalah luas modul yang dibandingkan dengan kapasitas *photovoltaic* seperti diperlihatkan pada Tabel 7.2. berikut.

Tabel 7. 2 Menentukan kapasitas panel surya vs luas modul

Bahan Sel	Luas Yang Dibutuhkan Untuk Menghasilkan 1 kWp
<i>Mono-crystalline</i>	7-9 m ²
<i>Poly-crystalline</i>	8-11 m ²
<i>Thin-film:</i>	
<i>Copper indium diselenide (CIS)</i>	11-13 m ²
<i>Cadmium telluride (CdTe)</i>	14-18 m ²
<i>Amorphous silicon (ASi)</i>	16-20 m ²

Satu sel surya *photovoltaic* (PV) memberikan suatu tegangan sekitar 0,5V. Modul PV terdiri dari sejumlah sel *photovoltaic*, yang dihubungkan secara seri dan parallel untuk memperoleh kapasitas tertentu. Konfigurasi standar sel PV dengan ukuran dimensi 125x125 mm dan 156x156 mm, biasanya secara penuh dengan jumlah 36 atau 40 buah sel *photovoltaic* atau dengan kelipatannya. Tegangan yang dipilih menentukan rangkaian sel PV tersebut, 5,5Vdc, 18 Vdc, dan kelipatannya yang cukup untuk mengisi sebuah sistem Baterai 3,5 Vdc sampai dengan 37 Vdc nominal.

Sistem panel surya modul PV dapat dipasang dengan berbagai cara baik yang individual maupun rangkaian untuk posisi menghadap ke arah posisi matahari, secara tetap maupun yang bergerak (*tracking*), yang tradisional serta yang unik dan inovatif, menggunakan support, dengan sistem penyangga (*mounting*) beberapa model di setiap paket rangkaiannya.

Tipikal, panel surya modul PV dipasang di berbagai dan beberapa lokasi, sesuai keberadaan ruang dan letak posisi penempatan dari modul panel surya, sampai kedekatan titik perolehan energi dan ketersediaan sumber energi daya surya.

Gambar 7. 5

Penyangga sistem PLTS



Tujuan utama adalah untuk memastikan bahwa mereka tetap aman, kuat dan berfungsi lama untuk tahun-tahun. Dalam panel datar aplikasi modul PV dengan pelacak (*tracking position*) digunakan untuk meminimalkan sudut arah sinar cahaya yang masuk dan panel modul PV agar jumlah energi yang dihasilkan tetap maksimal untuk suatu pembangkit terpasang. Dalam aplikasi modul PV standar diperkirakan pelacak (*tracking*) yang digunakan setidaknya 85% serapan sinar matahari, khususnya dari instalasi yang lebih besar dari 1MW. Dan di daerah yang bukan di sini katulistiwa.

Karakteristik Modul Surya

Sifat-sifat listrik dari modul surya biasanya diwakili oleh karakteristik arus tegangannya, yang mana disebut juga kurva I-V (lihat gambar 7.6).

Jika sebuah modul surya dihubungkan singkat ($V_{\text{modul}} = 0$), maka arus hubung singkat (I_{sc}) mengalir. Pada keadaan rangkaian terbuka ($I_{\text{modul}} = 0$), maka tegangan modul disebut tegangan terbuka (V_{oc}). Daya yang dihasilkan modul surya, adalah sama dengan hasil kali arus dan tegangan yang dihasilkan oleh modul surya.

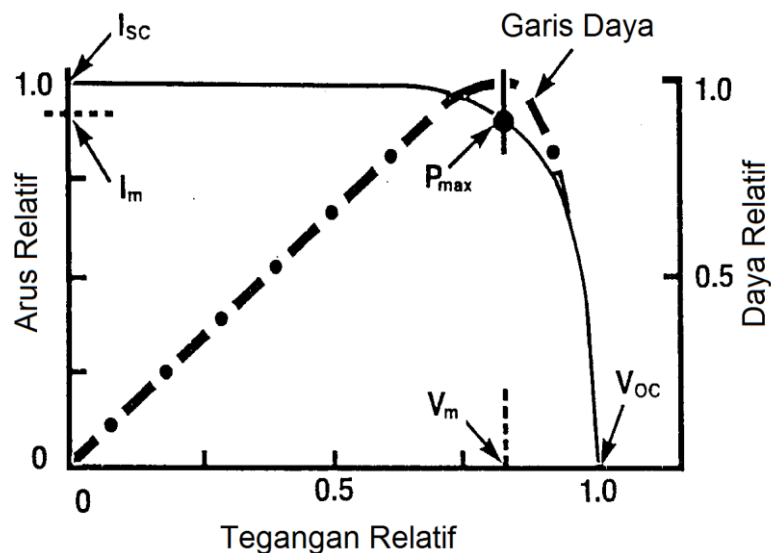
$$P = V \times I$$

Dengan :

P = Daya keluaran modul (Watt)

V = Tegangan kerja modul (Volt)

I = Arus kerja modul (Ampere)



Gambar 7. 6 Kurva Arus-Tegangan dari sebuah modul surya

Apabila tegangan kerja dari modul digerakkan dari 0 sampai dengan tegangan terbuka V_{oc} , maka keluaran daya modul fotovoltaik pertama kali cenderung naik.

Tetapi pada suatu tegangan kerja tertentu, daya keluaran modul menurun secara drastis.

Tegangan kerja dan arus modul fotovoltaik yang terjadi pada saat daya maksimum (P_{max}) tercapai berturut-turut dinyatakan sebagai V_m dan I_m . Apabila pengukuran dilakukan pada radiasi 1000 W/m² dan suhu 25 °C, maka daya maksimum (P_{max}) yang dihasilkan oleh modul disebut pula sebagai daya puncak (*peak power*) suatu modul fotovoltaik, dan dinyatakan sebagai P_{peak} .

$$P_{max} = I_m \times V_m$$

Dengan :

P_{max} = Daya maksimum keluaran modul (Watt)

V_m = Tegangan kerja modul pada daya maksimum (Volt)

I_m = Arus kerja modul pada daya maksimum (Ampere)

Catatan: Pada kondisi penyinaran 1000W/m² dan temperatur 25°C, maka $P_{max} = P_{peak}$

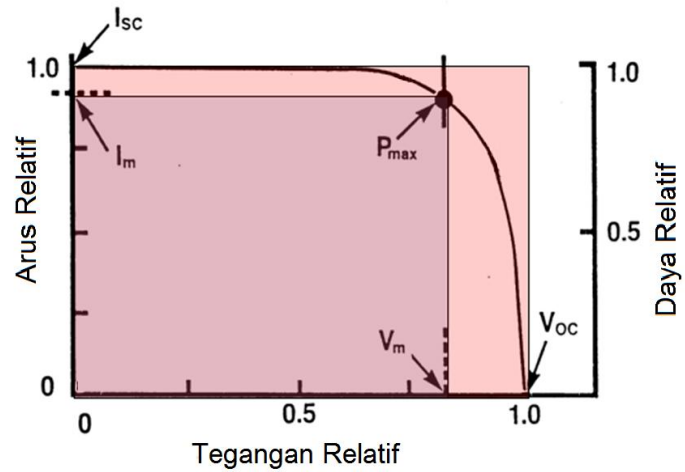
Kualitas fabrikasi modul fotovoltaik dapat dilihat dari besaran suatu faktor yang disebut sebagai *fill-factor*. Pada gambar 6, daya puncak suatu modul fotovoltaik dapat dibayangkan sebagai luasan hasil kali I_m dan V_m . Sedangkan daya maksimum ideal dari suatu modul fotovoltaik adalah luasan dari hasil kali I_{SC} dan V_{OC} .

Fill-factor dari suatu modul fotovoltaik didefinisikan menurut korelasi sebagai berikut:

$$FillFactor = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$$

Gambar 7. 7

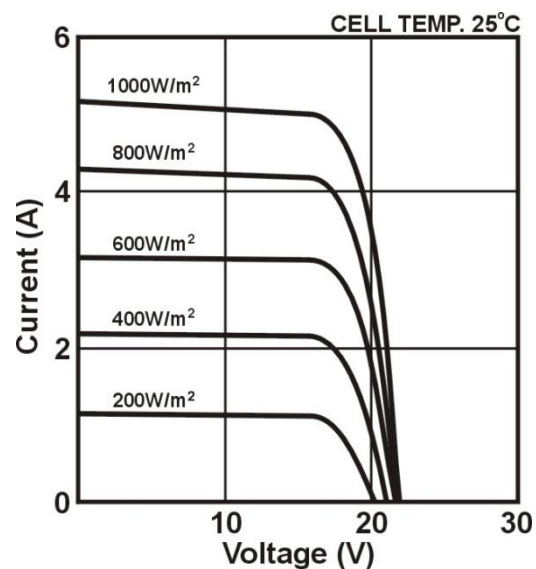
Fill-factor



Sebagaimana disebutkan di muka, arus dari modul bergantung antara lain pada tingkat radiasi dan temperatur. Gambar 7.7. menunjukkan hubungan kurva I-V dari sebuah modul fotovoltaik pada berbagai macam tingkat radiasi. Kurva-kurva I-V pada berbagai macam temperatur sel ditunjukkan dalam gambar 7.8.

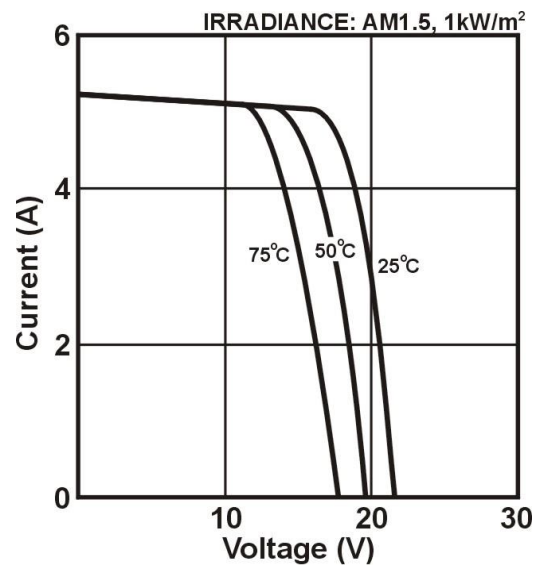
Gambar 7. 8

Kurva I-V sebagai fungsi radiasi matahari



Gambar 7. 9

Kurva I-V sebagai fungsi temperatur sel



Tegangan rangkaian terbuka bertambah dengan naiknya temperatur sel. Koefisien penurunan untuk jenis sel kristal berkisar 0,4%/°C.

Efisiensi Modul Fotovoltaik

Efisiensi modul surya berdasarkan uraian diatas jelas berubah terhadap tegangan kerjanya. Karenanya efisiensi modul surya selalu ditetapkan pada daya puncaknya (*peak power*).

Sedangkan daya input dari penyinaran matahari dapat dihitung berdasarkan pengukuran sebagai berikut:

$$P_{Input} = f \cdot G_U \cdot A$$

Dengan:

- F = faktor kalibrasi pyranometer atau solarimeter (mV.m²/Watt)
- G_U = intensitas matahari terukur (mV)
- A = luas efektif dari modul fotovoltaik (m²)

Maka efisiensi maksimum dari modul fotovoltaik dapat dihitung sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{Output}}{P_{Input}} = \frac{I_m \cdot V_m}{f \cdot G_U \cdot A}$$

Accumulator

Akumulator (*accu* /baterai) adalah sebuah alat yang dapat menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia. Akumulator sebagai baterai dan kapasitor. Pada umumnya di Indonesia, kata akumulator (sebagai baterai dan *accu*) hanya dimengerti sebagai “baterai” mobil. Sedangkan di bahasa inggris, kata akumulator dapat berarti sebagai baterai, kapasitor, kompulsator, dan lain-lain.

Akumulator sebagai baterai termasuk ke dalam jenis sel sekunder, artinya sel ini dapat dimuati ulang ketika muatannya habis. Ini karena reaksi kimia dalam sel dapat dibalikkan arahnya. Jadi sewaktu sel dimuati, energi listrik diubah menjadi energi kimia dan sewaktu sel bekerja, energi kimia diubah menjadi energi listrik.

Baterai untuk *automotiv*/mobil biasanya mempunyai tegangan sebesar 12 Volt. Digunakan sebagai energi untuk starter awal mobil dan sumber energi listrik lampu. Ini dapat dimuati kembali (*recharge*) apabila muatannya telah berkurang atau sudah habis.

Dikenal dua jenis elemen yang merupakan sumber arus searah (DC) dari proses kimiawi, yaitu elemen primer dan elemen sekunder. Elemen primer terdiri dari elemen basah dan elemen kering. Reaksi kimia pada elemen primer yang menyebabkan elektron mengalir dari elektroda negatif (katoda) ke elektroda positif (anoda) tidak dapat dibalik arahnya.

Besar tegangan listrik yang dihasilkan satu sel baterai adalah 2 Volt. Sebuah baterai outomotif/mobil terdiri dari enam buah baterai yang disusun secara seri, sehingga tegangan totalnya adalah 12 Volt. Dan arus listrik Ampere yang terdapat di dalamnya tersimpan selama jangka waktu tersentu, dinamakan dengan kapasitas baterai yang disebut Ampere-Hour/Ah (Ampere-jam). Contohnya untuk baterai dengan kapasitas arus 45 Ah, maka baterai tersebut dapat mencatu arus 45 Ampere selama 1 jam atau 1 Ampere selama 45 jam.

Konstruksi dan Jenis Unit Baterai

Baterai dibuat dan dibedakan sesuai dengan bentuk, fungsi dan jenis konstruksinya sebagai berikut:

1. Bentuk cairan kimia: elemen basah dan elemen kering atau Gel.
2. Sistem reaksi kimia: sekali reaksi habis dan berulang kali dapat diulang.
3. Bahan dasar kimia: Nicad, FeMg, *Lead Acid*.
4. Bentuk *container*: boks dan tubular ; tidak kedap dan kedap air/*water proof* ; ventilasi VRLA dan kedap /MF (*maintenance Free*).
5. Bentuk konstruksi terminal *pole*: bermacam2 tanam dan menonjol.
6. Type tegangan per unit: 2Vdc, 6Vdc, 12Vdc.
7. Jenis/type: OPzS dan OPzV ; GELL dan AGM, dan lain sebagainya.

Gambar 7. 10

Jenis-jenis baterai



Untuk mendapatkan tegangan yang diharapkan atau sesuai dengan rancangan maka baterai dapat dihubungkan secara serial, paralel atau kombinasi keduanya. Untuk membuat rangkaian baterai dilakukan dengan cara menghubungkan baterai secara seri dan paralel.

Satuan baterai dinyatakan dengan besaran;

Tegangan per unit = V ; Volt

Arus untuk waktu yang tersimpan = Ah ; *Ampere hour*

Untuk mendapatkan keluaran tegangan listrik yang lebih besar, beberapa unit baterai perlu dirangkai, pada terminal positif suatu baterai dan terminal negatif baterai yang lain nya, dihubungkan langsung dengan konduktor kabel atau tembaga; ini dinamakan seri.

Untuk mendapatkan keluaran arus listrik baterai yang lebih besar, beberapa unit baterai perlu dirangkai, pada terminal positif beberapa baterai yang ada, dihubungkan menjadi satu dengan konduktor kabel atau tembaga; demikian halnya pada terminal negatif beberapa baterai yang ada tadi menjadi satu juga, atau dapat dilakukan terminal negatif dari beberapa baterai disatukan dan juga terminal positif dari beberapa baterai disatukan juga, ini dinamakan paralel.

Sehingga:

1. Seri yaitu dengan cara menghubungkan kutub negatif suatu baterai dengan kutub positif baterai yang lain, demikian seterusnya sampai di peroleh nilai tegangan yang di maksudkan.
2. Paralel yaitu dengan cara menghubungkan kutub negatif suatu baterai dengan kutub negatif baterai yang lain, dan juga kutub positif suatu baterai dengan kutub positif baterai yang lain, demikian seterusnya sampai di peroleh nilai arus yang di maksudkan.

Contoh:

Sistem PLTHybrid yang dirancang kapasitas : 2,4 kWp, 48Vdc untuk pemakaian beban dengan rangkaian baterai sebesar 19,2 kWh, untuk itu dipilih unit PV module 100 Wp, 17 Vdc dan unit baterai yang ada tertera 200 Ah, 12 Vdc ; maka rangkaian instalasi nya , sbb :

Rangkaian Modul PV. Seri 4 buah → 68 Vdc
 Paralel 6 line
 Total daya 4 x 6 x 100 Wp → 2400 Wp

Rangkaian Baterai Seri 4 buah → 48 Vdc
 Paralel 2 line
 Total energi tersimpan 4x2x200Ahx12Vdc → 21,6kWh

Dengan demikian dipilih SCC 48 Vdc normal range 42 – 80 Vdc ; 60 Amp dan Inverter Vin 48Vdc ; Vout 230Vac ; 1 phase, 50 Hz ; menghasilkan energi yang dapat di sediakan sebesar 9,6 kWh → 9600 watt selama 1 jam ; atau 960 watt selama 10 jam. Hal serupa juga dapat dilakukan pada rangkaian Modul PV selaku pembangkit tenaga listrik dan secara umumnya untuk semua sumber energi listrik lain juga. Contoh hubungan baterai serial dan paralel diperlihatkan pada Gambar 7.11. berikut ini.

Gambar 7. 11 Contoh hubungan serial dan paralel pada baterai



Pengoperasian Baterai

Suatu baterai terdiri dari 1 atau lebih sel dengan kapasitas 2V yang terhubung secara serial. Setiap sel terdiri dari lempengan atau lembaran yang direndam dalam cairan elektrolit. Saat terjadi proses pengambilan energi (*discharge*) reaksi kimia antara lempengan dan elektrolit yang dapat menghasilkan energi listrik. Reaksi kimia yang sebaliknya terjadi pada saat pengisian energi (*charge*). Ketebalan lempengan pada baterai menentukan nilai maksimum dari besaran energi yang dapat diambil dari baterai tersebut dimana jika terjadi pengambilan energi yang diluar maksimum maka akan mengakibatkan kerusakan serius pada baterai tersebut.

Operasional baterai pada suatu sistem *off grid* pada kondisi nyata adalah tidak sama dengan kondisi di laboratorium dimana baterai tersebut disikluskan secara tidak teratur, seringkali pada kondisi *discharge* sebagian dan di-*charge* biasanya tidak komplit sesuai dengan kondisi yang seharusnya. Kondisi *charge* baterai tergantung pada kecepatan charge, suhu dan sejarah *charge*-nya.

Untuk unjuk kerja baterai yang baik, baterai tidak dapat dibiarkan terlalu lama pada kondisi *low charge* di mana hal tersebut dapat mengakibatkan siklus *charge* yang parsial sehingga akan mempengaruhi umur dan kapasitas baterai itu sendiri.

Overcharging dan pengoperasian baterai pada suhu yang tinggi dapat menyebabkan fenomena yang dikenal dengan *gassing* dimana jumlah H₂ dan O₂ yang terlalu banyak sehingga menyebabkan terjadinya gas. Hal ini dapat mengurangi umur sel dengan meningkatkan kecepatan peluruhan material aktif dan juga meningkatkan kecepatan di mana jaringan positif terkorosi (transformasi logam timbal menjadi PBOX). Konsekuensi ini hingga mencakup peningkatan resistansi internal, kehilangan air yang mengarah ke sulphation dan hubungan arus pendek, dan kapasitas dan pengurangan siklus baterai. Sekali

sebulan baterai harus di ekualisasi dimana hal ini dilakukan untuk mengontrol *overcharge* pada baterai.

Kapasitas Penyimpanan

Kapasitas penyimpanan suatu baterai umumnya dalam satuan amper jam (*Amper hours-Ah*) atau setelah dilakukan perkalian dengan tegangan nominal baterai itu sendiri sehingga satuannya menjadi kWh. Nilai kapasitas penyimpanan juga tergantung pada operasinya, umur pakai dan perlakuan terhadap baterai tersebut. Kapasitas penyimpanan meningkat saat baterai di *charge* dan *discharge* pada kecepatan yang lambat. Umumnya baterai yang digunakan untuk aplikasi pembangkit listrik energi terbarukan seperti angin atau matahari, nilai *discharge* maksimum berkisar antara 70%-80%.

Umur Pakai (*lifetime*)

Umur pakai baterai diukur berdasarkan 2 istilah yaitu energi yang diambil dari baterai dan berdasarkan *float life*. *Float life* adalah umur pakai yang diharapkan pada suatu baterai pada kondisi *charge* yang kontinyu dimana hal ini tergantung pada frekuensi *discharge* dan kedalaman *discharge*, tegangan *float* dan suhu sekitar.

Suatu baterai akan berakhir umur pakainya ketika seluruh energi yang terdapat didalam baterai tersebut diambil atau ketika kapasitas baterai rata-rata dikurangi sebesar 80% dari nilai nominalnya. Faktor-faktor utama yang mempengaruhi umur pakai suatu baterai adalah korosi pada kisi-kisi (*grid*), lempengan sel yang tertekuk, sulfatasi dan stratifikasi elektrolit.

Faktor-faktor tersebut menyebabkan kerugian pada material aktif dan hubungan pendek internal. Jika material aktif berkurang maka rasio dari komponen reaksi menjadi tidak optimal sehingga efisiensi *charge* berkurang. Hubungan pendek internal menyebabkan kedalaman *discharge* yang membahayakan sel sehingga merontokkan baterai secara keseluruhan.

Untuk beberapa baterai, khususnya jenis *lead acid*, sepanjang kondisi *charge* dijaga sesuai dengan batas yang direkomendasikan oleh produsen, aliran energi kumulatif tidak tergantung pada bagaimana baterai tersebut bersiklus.

Pemeliharaan Baterai

Jika menggunakan Baterai cair, maka selalu memeriksa level cairan baterai harus selalu di antara garis *UPPER* dan *LOWER*. Jika sudah mendekati garis *LOWER*, tambahkan air Baterai (air murni) secukupnya tidak melebihi garis *UPPER*.

Jika menggunakan baterai kering atau *Maintenance Free* (MF), tidak diperlukan pemeriksaan level cairan baterai.

Terminal baterai harus selalu bersih dan kencang agar pengisian baterai maksimal dan tidak terjadi panas yang dapat mengurangi umur baterai.

Bila terminal kotor/berbusa, cuci dengan menyiramkan air panas sambil disikat.

Jika baterai sudah lemah dan menunjukkan gejala cepat penuh dan cepat kosong, maka mungkin sudah waktunya baterai diganti baru.

Penanganan Gangguan

Gejala-gejala umur pakai baterai berkurang drastis, maka penanganannya adalah sebagai berikut:

1. Untuk baterai cair, periksa level cairan baterai.
2. Periksa status indikator LED baterai rendah/kosong.
3. Periksa pengisian modul surya.
4. Periksa apakah beban melebihi kapasitas SHS atau instalasi kurang baik (bocor/hubung singkat).
5. Baterai akan terus berkurang kapasitasnya sesuai lamanya pemakaian atau karena kurang baik pemeliharaannya.
6. Periksa apakah baterai sudah lemah (cepat penuh/cepat kosong), Jika ya ganti dengan baterai baru.
7. Sebaiknya pada siang hari beban dimatikan agar pengisian maksimal.

KELISTRIKAN DAN SISTEM KONTROL

Pada sistem kelistrikan dan kontrol pada turbin angin skala kecil biasanya terdapat komponen seperti *Power Converter, Converter, Wiring dan Connections (main contactor), Main Disconnect, Fuse Main Circuit Breaker, Relay, Cabinet Heater, Power Supply, Grounding Sistem , Main Transformer (pad mounted or nacelle mounted)* dan sebagainya.

Gambar 7. 12

Kelistrikan dan sistem kontrol turbin angin



Komponen yang terdapat dalam turbin angin skala menengah-besar umumnya terdiri dari *Power Converter, Converter* dengan *IGBT Module (rotor)*, *DC Intermediate Circuit, Power Inverter (grid), Power Factor Correction Sistem (capacitors, harmonics, filter contractor), Soft Starter, Motor Contactor, Wiring dan Connections (main contactor), Main Disconnect, Fuse Main Circuit Breaker, Relay, Cabinet Heater, Power Supply, Grounding Sistem , Main Transformer*.

Selain komponen *power electronic*, pada sistem turbin angin umumnya juga terdapat suatu sistem kontrol. Sistem kontrol pada turbin angin skala menengah-besar berfungsi untuk mengoptimasi operasi mesin dan daya keluaran turbin angin. Sensor-sensor yang terpasang pada turbin angin skala menengah-besar umumnya untuk mendeteksi kecepatan, posisi, suhu, arus dan tegangan.

Selain itu, terdapat juga didalamnya sistem untuk mengontrol *switch*, *electrical amplifier*, pompa hidrolik, katup dimana komponen-komponen tersebut terdapat didalam motor-motor, piston, magnet dan *solenoid*. Sistem kontrol tersebut dikendalikan oleh suatu sistem komputerisasi dan mikroprosesor.

Konsep Kerja Power Elektronik

Power converter berfungsi untuk merubah bentuk arus misalnya dari DC ke AC (*inverter*) atau sebaliknya dari AC ke DC (*rectifier*) termasuk merubah sistem tegangan misalnya dari 3 fasa menjadi 1 fasa. Pada turbin angin skala menengah-besar biasanya terdapat *switchgear* yang berfungsi untuk mengatur hubungan antara turbin angin dengan jaringan listrik transformer yang berfungsi untuk menyesuaikan tegangan keluaran turbin angin dengan tegangan jaringan listrik.

Suatu generator umumnya menghasilkan tegangan jenis AC sehingga perlu dirubah kedalam bentuk DC untuk membantu suatu penyearah pada *charger* baterai jika sistem pembangkit tersebut ditujukan untuk konsep *charging* baterai.

Inverter

Ketika perangkat AC digunakan maka dibutuhkan sebuah inverter yang digunakan diantara baterai dan sub sistem suplai DC. Normalnya inverter memiliki fasa tunggal untuk tingkat daya yang kecil. Inverter 3 fasa lebih mahal dari sisi harga dibandingkan dengan inverter 1 fasa. Pertimbangan dalam penggunaan inverter 3 fasa adalah untuk melayani beban yang tidak seimbang.

Dalam sistem bus DC/AC dengan menggunakan energi terbarukan dan baterai sebagai cadangan, dapat dipilih inverter yang murah dengan skala kapasitas yang kecil misalnya untuk penerangan rumah. Sedangkan untuk peralatan rumah tangga yang besar, beberapa sistem hanya menggunakan generator. Dalam kasus sumber energi terbarukan dimana persentase pada ukuran yang besar dan membutuhkan energi yang besar, dimungkinkan menggunakan generator

(genset) sebagai cadangan, inverter untuk beban yang besar termasuk saat kondisi beban puncak dibutuhkan dengan skala yang besar pula.

Gangguan harmonik dari inverter menjadi suatu masalah khusus ketika digunakan sebagai sumber energi untuk peralatan seperti komputer, mesin pendingin dan diindikasikan sebagai bentuk gelombang sinusoidal inverter yang lebar. Bentuk gelombang keluaran inverter dapat berbentuk gelombang persegi, gelombang sinus berubah dan gelombang sinus murni.

Inverter dengan bentuk gelombang persegi dan *quasi-square* mengakibatkan sebuah distorsi jika dibandingkan dengan gelombang sinus frekuensi 50 Hz tetapi dari segi harga lebih murah jika dibandingkan dengan inverter gelombang sinus murni. Inverter tersebut cocok untuk beban yang bersifat resistif seperti pemanas dan lampu pijar.

Inverter dengan bentuk gelombang keluaran sinus berubah, menghasilkan gelombang persegi tangga yang mendekati bentuk gelombang sinus. Inverter ini dapat mendukung beban berupa perangkat elektronik jenis AC dan motor-motor. Meski demikian beberapa perangkat elektronik yang sensitif membutuhkan inverter yang mempunyai gelombang sinus murni.

Inverter yang digunakan pada aplikasi *off grid* merupakan perangkat elektronik dengan frekuensi tinggi. Pada inverter dengan gelombang keluaran sinus murni, secara digital internal dihasilkan bentuk gelombang sinus murni pada 50 Hz sebagai referensi dan digunakan untuk membuat serangkaian tegangan dengan lebar pulsa temodulasi. Rangkaian ini mengontrol *switching* pada transistor sehingga sumber DC terhubung dan terputus sesuai dengan yang diharapkan. Hal ini diperkuat sepanjang trafo dan menyaring untuk mendapatkan gelombang sinus murni pada keluaran 50Hz dengan magnitude sesuai dengan trafo (biasanya sekitar 230V).

Kadang-kadang, bentuk gelombang persergi sederhana atau *stepped-square* (*quasisine*) keluaran inverter dapat digunakan sebagai indikator efisiensi yang baik dan lebih murah meski tidak selalu dapat diaplikasikan. Normalnya suatu inverter akan *off* secepatnya ketika keluarannya telah melebihi batas atasnya tapi inverter moderen telah dirancang agar dapat menangani lonjakan daya pada durasi waktu terbatas atau tertentu.

Hal ini menjadi mungkin dengan membatasi dinamika keluaran agar mengurangi panas yang meningkat pada rangkaian-rangkaian *switch* dan trafo. Biasanya inverter dengan panas terbatas dapat mensuplai lebih dari kapasitas nominalnya sebesar 30 menit. Hal ini untuk suatu kepentingan aplikasi yang khusus seperti untuk starting motor induksi dimana dibutuhkan lebih dari 6 kali dari daya keluaran normal untuk starting.

Selanjutnya penggunaan inverter kapasitas daya besar disesuaikan dengan kapasitas beban pemakaian dan kapasitas pengisian baterai juga, disini biasanya digunakan *Inverter pure sine wave* 3 fasa dan berfungsi juga untuk dapat mengisi *charge* baterai ulang secara otomatis jika tegangan baterai sudah di ambang bawahnya tercapai akan terkoneksi dan dikontrol secara otomatis juga jika tegangan baterai sudah mencapai ambang atasnya akan terlepas.

Inverter tipe ini biasanya disebut dengan type *bidirectional inverter* (Bi.Di. *Inverter*) atau juga biasa disebut sebagai Inverter 3 in 1. Berfungsi sebagai kontrol mengubah DC ke AC dari sistem *line bus* DC SCC dan baterai dan juga berfungsi sebagai kontrol mengubah AC ke DC dari sistem *line bus* AC melakukan *charge* baterai.

Dengan besaran kapasitas disesuaikan kapasitas beban pemakaian, untuk SHS 50 Wp dan 100 Wp, pada umumnya digunakan 300 Watt sd 500 Watt. Inverter 300

Watt cocok untuk digunakan pada *charge* laptop dan *handphone* secara bersamaan, untuk menyalakan lampu penerangan AC hemat energi dan perangkat-perangkat lainnya. Inverter 500 Watt cocok untuk *charge* laptop dan *handphone* secara bersamaan, menyalakan TV 14", lampu penerangan AC hemat energi.

Gambar 7. 13

Inverter Skala Besar



Rectifier

Penyearah biasanya diambil dari *charging* baterai dari suatu sumber jenis AC. Penyearah merupakan perangkat relatif sederhana dan murah. Kadang-kadang penyearah meliputi suatu *charger* baterai yang rumit yang melakukan tugas seperti *load-sensing* dan kontrol kecepatan *charge* untuk memungkinkan untuk memungkinkan agitasi asam dan mencegah stratifikasi dan plat sulfatasi pada SOC yang tinggi. Fungsi lainnya termasuk mencakup untuk meningkatkan tegangan dari waktu ke waktu dan karakteristik *soft-starter*. Beberapa inverter mengandung didalamnya *charger* baterai yang dapat dijadikan sebagai pilihan.

Maximum Power Point Tracker-MPPT

Maximum power point tracker biasanya menggunakan DC-DC konverter frekuensi tinggi untuk mendorong keluaran suatu susunan PV agar segera sampai pada tingkat keluaran daya maksimumnya di mana hal ini dapat memperbaiki tingkat efisiensinya. Perangkat ini juga dapat disandingkan dengan regulator baterai, ke pompa air DC secara langsung, atau pompa air AC melalui inverter.

Kontroler

Kontroler mengatur aliran energi melalui komponen-komponen suatu sistem ke suatu beban. Tingkat kerumitan kontroler ini tergantung pada ukuran dan kerumitan dari suatu sistem dimana harus sesuai dengan kebutuhan dan keperluan penggunaannya.

Baterai Regulator

Regulator baterai yang digunakan untuk mengendalikan operasi dari baterai yang digunakan dalam sistem *off-grid/hybrid* dan dengan demikian melindungi mereka dari kondisi yang tidak menguntungkan. Fungsi utama regulasi *top-of-charge* adalah untuk mencegah pengisian yang berlebihan dan pemutusan beban untuk mencegah pemakaian yang berlebihan. Selain itu regulator baterai dapat menunjukkan status dari sistem dan juga dapat mempercepat proses *charging* dari waktu ke waktu untuk menghindari stratifikasi baterai.

Regulator baterai mengukur tingkat tegangan sebagai pendekatan untuk keadaan *charging* tapi ini mungkin bervariasi terhadap arus *charge/discharge*, suhu dan riwayat baterai. Untuk alasan ini regulator yang lebih canggih dapat menggunakan kompensasi suhu dan penghitungan ampere jam untuk menentukan status pengisian lebih akurat. Set-titik yang dipilih untuk situasi seperti:

1. Tegangan pada saat dimana beban diputus karena baterai telah mencapai titik maksimum *discharge*.
2. Tegangan pada saat dimana beban dihubungkan kembali.
3. Tegangan pada saat dimana baterai harus berhenti untuk menghindari kondisi *gassing*.
4. Tegangan pada saat dimana proses *charging* harus kembali.

5. Tegangan pada saat dimana kecepatan *charging* harus pada titik mendekati kondisi full SOC.

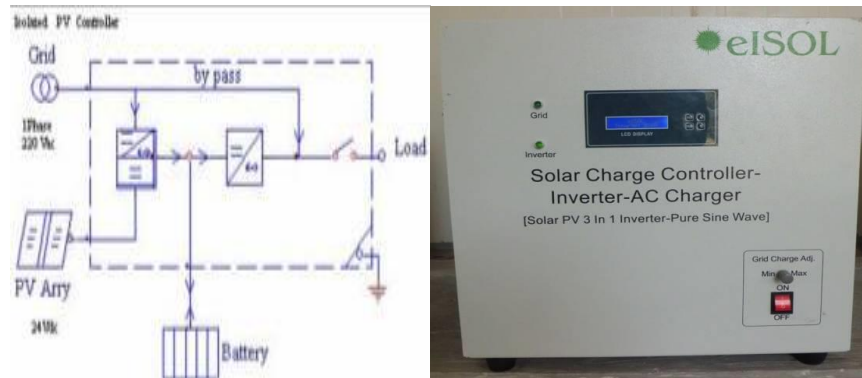
Penting untuk dicatat bahwa ini set poin akan berbeda dengan jenis baterai dan menurut sejarah baterai.

Integrasi Kontroler

Dalam banyak kasus, kontrol diintegrasikan ke dalam suatu inverter. Setiap generator energi terbarukan dapat memiliki kontroler sendiri yang ditentukan oleh pengaturan tegangan baterai *bank* yang mengatur pengisian dan pemakaian baterai *bank*, dan operasi pembangkit, menjamin bahwa generator dimulai jika tingkat daya baterai di bawah parameter tertentu. Beberapa inverter yang lebih besar, hingga 30 kW, telah dirancang dengan kontrol sistem yang terintegrasi tetapi di atas kisaran tersebut, digunakan kontrol pengawasan.

Kontrol biasanya mengkonsumsi sejumlah daya yang mana perlu diperhitungkan ketika merancang sebuah sistem. Pengendali kontroler biasanya didasarkan pada PLC (*programmable logic controller*), yang dapat dibeli secara komersial. Perangkat ini mengambil input baik dari pengendali komponen terpisah atau pusat-pusat lain dan diprogram dengan menggunakan logika dimana memutuskan mana perangkat yang harus beroperasi.

Pengawasan kontroler mengirimkan sinyal yang tepat ke perangkat lain, relai atau pengendali. Pengendali kontroler adalah yang paling kompleks dan mahal tetapi juga memungkinkan sistem manipulasi dan optimasi jauh lebih rinci daripada standar kontroler terintegrasi. Beberapa fungsi dari pengawas kontroler dapat mencakup pemantauan dan data *logging*, *switching* dan mematikan komponen agar tidak membutuhkan intervensi pengguna dan pengalihan energi untuk pembuangan.



Pengendali Jarak Jauh

Pengawasan jarak jauh mungkin misalnya melalui telepon meringankan masalah yang berhubungan dengan pemeliharaan di daerah terpencil selain pemantauan kesalahan dan indikasi, dan akuisisi data operasional yang menarik. Sistem *controller* dan peralatan transmisi akan mengkonsumsi daya juga.

Pengoperasian Inverter

Efisiensi Inverter umumnya rendah baik pada tingkat daya rendah (80% -> 90%) dan pada level daya yang tinggi tergantung pada jenis inverter. Inverter selalu mengkonsumsi daya ada atau tanpa kondisi beban sehingga harus dimatikan selama waktu itu.

Sebuah cara mengurangi masalah efisiensi rendah pada faktor kapasitas yang rendah adalah dengan mengoperasikan inverter hanya pada tingkat pilihan keluaran. Inverter khusus lainnya mencoba dan memecahkan masalah ini - misalnya, inverter telah diproduksi dengan efisiensi tinggi di daerah dengan daya

rendah dengan daerah yang lebih tinggi dimana dirancang untuk menutupi lonjakan daya.

Paralelisasi inverter kadang-kadang layak di mana beban sangat bervariasi. Dalam hal ini hanya diperlukan inverter akan beroperasi sementara yang lain akan menunggu dalam modus siaga. Hanya inverter khusus dapat berjalan secara paralel, sebanyak sinkronisasi diperlukan. Suatu inverter disebut paralel jika dapat memasok listrik ke beban bersamaan dengan generator diesel. Dengan inverter diaktifkan, baik inverter atau generator, tetapi tidak keduanya pada saat yang sama, pasokan listrik ke beban.

Tiga mode inverter memungkinkan operasi secara paralel dengan diesel/ genset konvensional dan dapat digunakan secara bersamaan sebagai pengisi baterai. Dalam sistem *grid-connected*, *inverter line-commutated* menggunakan sinyal 50Hz/60Hz dari *grid* untuk mengatur frekuensi *output*. Unit tersebut tidak untuk digunakan dalam sistem yang berdiri sendiri kecuali direncanakan untuk menjaga diesel pada terus menerus. Sebuah *inverter commutated* tidak perlu *grid* untuk regulasi frekuensinya. Pertimbangan terkait adalah seberapa ketat inverter dapat mengatur frekuensi dan tegangan dan kemampuannya untuk memasok daya reaktif.

Pengoperasian Rectifier

Karakteristik efisiensi *chargers* cenderung *drop off* sedikit karena kerugian transformator jika arus pengisian tinggi. Masalah yang lebih penting dengan *charger* adalah kemampuan faktor dayanya, yang biasanya cukup kecil seperti saat diambil hanya pada bagian kecil dari kurva tegangan AC. Penarikan daya sporadis ini tidak diinginkan dari sudut pandang pasokan sebagai generator dimana harus menghasilkan tenaga dalam lonjakan yang singkat sedangkan generator lebih memilih untuk memiliki keluaran lebih konstan. Faktor daya cenderung untuk meningkatkan seiring dengan meningkatnya keluaran meskipun efisiensi cenderung *drop off* sedikit.

Pengoperasian MPPT

Efisiensi konversi energi yang tinggi adalah pada rentang operasi sempit. Jika persyaratan tegangan output bervariasi secara signifikan maka kerugian akibat inefisiensi konversi harus diperiksa terhadap perubahan susunan daya untuk melihat efeknya saja.

Umumnya dalam sistem hibrida jika MPPT terinstal, ketidaksesuaian tegangan rendah dan kerugian akibat konversi dijaga agar tetap minimum. Namun, masuknya MPPT adalah tergantung pemasangan dan dapat meningkatkan operasi meskipun biaya meningkat melalui pembelian MPPT.

Pengoperasian Regulator Baterai

Pada sistem tegangan rendah tegangan turun karena regulator dapat memiliki efek yang signifikan pada kinerja sistem termasuk ketidakcocokan susunan baterai. Pada sistem seperti konsumsi daya, regulator dapat signifikan dan seleksi yang tepat dari relay dapat meningkatkan efisiensi daya. Keandalan regulator merupakan masalah penting karena mereka dapat gagal dalam kondisi tertentu seperti kilat, *surge* dan *over heating*. Tegangan dapat dipengaruhi oleh fluktuasi suhu dan dengan demikian kompensasi set poin suhu yang diinginkan dalam keadaan di mana suhu baterai bervariasi secara substansial.

D. Aktivitas Pembelajaran

1. Mengamati

Peserta mengamati tayangan slide power point, gambar animasi atau gambar tentang baterai yang ditampilkan oleh guru secara bertahap

2. Menanya

Peserta menyusun sejumlah pertanyaan yang akan didiskusikan melalui diskusi kelompok atau diajukan kepada guru.

3. Mengumpulkan informasi/ eksperimen

- a. Peserta memperkaya informasi dari berbagai sumber termasuk internet untuk pertanyaan yang belum bisa dijawab melalui diskusi kelompok.
 - b. Peserta membuat diagram sistem baterai dengan menggunakan peralatan sederhana yang tersedia di lab untuk memperkuat pemahaman tentang komponen baterai.
4. Mengasosiasikan/ mengolah informasi
 - a. Peserta merakit sistem baterai sederhana di lab.
 - b. Peserta menguji sistem baterai sederhana di lab.
5. Mengkomunikasikan
 - a. Peserta mempresentasikan tentang sistem baterai PLTS.
 - b. Peserta mendeskripsikan desain sistem baterai yang sebenarnya.
6. Mengidentifikasi Isi Materi Pembelajaran

Sebelum melakukan kegiatan pembelajaran, berdiskusilah dengan sesama peserta diklat di kelompok Saudara untuk mengidentifikasi hal-hal berikut:

 - a. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran ini? Sebutkan!
 - b. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
 - c. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!
 - d. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!
 - e. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
 - f. Apa bukti yang harus diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di atas dengan menggunakan **LK-07**. Jika Saudara bisa menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran.

E. Rangkuman

Kontroler mengatur aliran energi melalui komponen-komponen suatu sistem ke suatu beban. Tingkat kerumitan kontroler ini tergantung pada ukuran dan kerumitan dari suatu sistem dimana harus sesuai dengan kebutuhan dan keperluan penggunaanya.

Regulator baterai yang digunakan untuk mengendalikan operasi dari baterai yang digunakan dalam sistem *off-grid/hybrid* dan dengan demikian melindungi mereka dari kondisi yang tidak menguntungkan. Fungsi utama regulasi *top-of-charge* adalah untuk mencegah pengisian yang berlebihan dan pemutusan beban untuk mencegah pemakaian yang berlebihan. Selain itu regulator baterai dapat menunjukkan status dari sistem dan juga dapat mempercepat proses *charging* dari waktu ke waktu untuk menghindari stratifikasi baterai.

Kontrol biasanya mengkonsumsi sejumlah daya yang mana perlu diperhitungkan ketika merancang sebuah sistem. Pengendali kontroler biasanya didasarkan pada PLC (*programmable logic controller*), yang dapat dibeli secara komersial. Perangkat ini mengambil input baik dari pengendali komponen terpisah atau pusat-pusat lain dan diprogram dengan menggunakan logika dimana memutuskan mana perangkat yang harus beroperasi.

Efisiensi Inverter umumnya rendah baik pada tingkat daya rendah (80% -> 90%) dan pada level daya yang tinggi tergantung pada jenis inverter. Inverter selalu mengkonsumsi daya ada atau tanpa kondisi beban sehingga harus dimatikan selama waktu itu.

F. Tes Formatif

1. Untuk pemakaian peralatan PLTS sistem SHS 50 wp, 12 Vdc dengan beban Direct Current DC tidak diperlukan alat :
 - a. modul photovoltaic
 - b. Batere Charger Unit
 - c. baterai kering
 - d. inverter power

2. Inverter kapasitas besar selayaknya harus dengan bentuk listrik sinusoid :
 - a. murni pure sine
 - b. kotak square sine
 - c. listrik searah
 - d. listrik bolak balik
3. Kapasitas power control / inverter ini ditentukan dengan :
 - a. besar tegangan in/out saja
 - b. besar watt saja
 - c. besar arus saja
 - d. semuanya benar
4. Kapasitas power control / inverter ini ditentukan dengan :
 - a. besar tegangan in/out saja
 - b. besar watt saja
 - c. besar arus saja
 - d. semuanya benar
5. Pernyataan manakah dibawah ini yang benar :
 - a. Inverter adalah alat pengatur dan pengubah daya listrik
 - b. Solar Charge Controller adalah bukan Batere Control Unit
 - c. Daya listrik sama dengan energi listrik
 - d. Semuanya salah

G. Kunci Jawaban

1. b

2. b

3. c

4. c

5. a

LEMBAR KERJA KB-8

LK - 08

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran konversi energi dan konservasi energi? Sebutkan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

6. Apa bukti yang harus diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

1. Jelaskan tentang modul PV?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Jelaskan tentang modul PV mono kristal?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Jelaskan tentang modul PV poli kristal?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. Jelaskan tentang modul PV *thin film*?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. Jelaskan tentang BCU?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

6. Jelaskan tentang *accumulator*?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

1. Gambarkan diagram karakteristik tegangan dan arus pada modul PV.

2. Gambarkan pola modul PV mono kristal.

3. Gambarkan pola modul PV poli kristal.

4. Gambarkan pola modul PV *thin film*.

5. Gambarkan diagram *fill factor*.

6. Gambarkan rangkaian umum PLTS

Kegiatan Pembelajaran 9 : Konstruksi PLTS

A. Tujuan

Setelah mengikuti kegiatan pembelajaran ini, peserta diklat mampu mengerti dan memahami konstruksi PLTS.

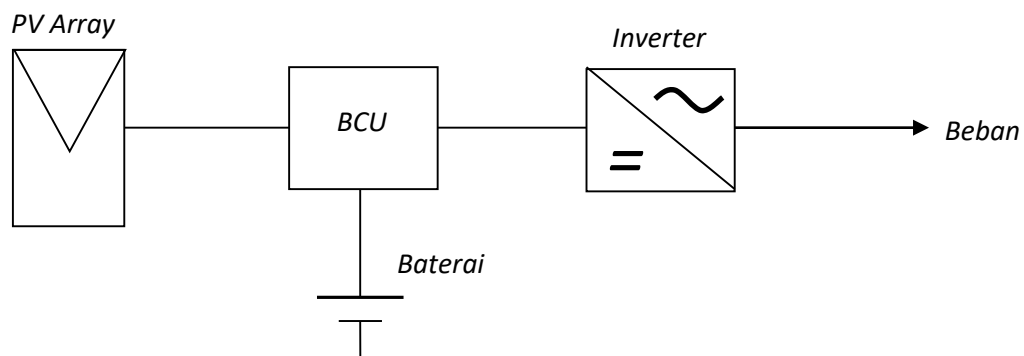
B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Setelah mengikuti kegiatan pembelajaran ini, peserta diklat mampu menganalisis konstruksi PLTS secara komprehensif.

C. Uraian Materi

Konstruksi PLTS antara lain:

1. PLTS Terpusat



Gambar 8. 1 Blok diagram Sistem SESF terpusat

Komponen-komponennya adalah:

a. Panel surya

Modul fotovoltaik sebagai komponen utama dari SESF terpusat, pada umumnya menggunakan tipe monokristal dan/atau polikristal berbasis silikon.

Untuk keperluan pemasangan, modul fotovoltaik dilengkapi dengan *box* koneksi (*over charged junction box*) termasuk *blocking-diode*, bingkai modul, dan kerangka penyangga modul.

b. Pengendali Baterai (BCU)

Fungsi pengendali baterai (*battery control unit* - BCU) adalah untuk melindungi baterai dari pengisian berlebihan dan pengosongan habis-habisan (*over discharged*), karena hal tersebut dapat mempercepat kerusakan baterai. Baterai dikatakan rusak apabila baterai tidak dapat lagi menyimpan listrik dalam batas waktu yang diharapkan.

Pada dasarnya terdapat dua tipe pengendali BCU yang tersedia, yaitu : tipe seri dan paralel. Pada tipe seri, apabila kapasitas baterai telah maksimum atau penuh maka hubungan modul fotovoltaik ke baterai akan diputus dengan cara mengaktifkan suatu relai (baik secara mekanik maupun elektronik). Sedangkan pada BCU tipe paralel, keluaran modul fotovoltaik akan dihubung-singkatkan apabila baterai telah penuh.

Kelengkapan BCU antara lain terminal-terminal untuk modul fotovoltaik, baterai dan beban. Selain itu, BCU pada umumnya dilengkapi dengan berbagai indikator, seperti : lampu indikator LED, atau berupa layar (dan panel) yang dapat mengindikasikan bahwa baterai dalam keadaan normal, pengisian atau kosong. Apabila indikator baterai kosong menyala (tegangan baterai turun sampai tegangan lepas - *disconnect voltage*), maka semua hubungan beban akan diputus

dan akan tersambung kembali apabila baterai telah penuh atau normal kembali (pada tegangan baterai mencapai tegangan terhubung – *reconnect voltage*).

c. Baterai

Fungsi baterai adalah didalam SESF pada umumnya untuk keperluan menyimpan listrik yang dibangkitkan oleh modul fotovoltaik pada siang hari dan digunakan untuk memasok listrik ke beban pada malam hari.

Dewasa ini terdapat banyak jenis baterai yang pada dasarnya disesuaikan untuk keperluan tertentu. Jenis baterai yang sudah terbukti handal untuk keperluan SESF adalah baterai stasioner dari jenis *lead acid*.

Pada percobaan ini digunakan baterai *lead-acid* tipe baterai *starter* yang sering digunakan pada kendaraan mobil.

Baterai *stasioner* pada umumnya dirancang untuk pemakaian arus relatif kecil tetapi dalam jangka waktu yang lama. Karenanya permukaan sel aktif yang luas tidak diperlukan sehingga jumlah rugi-rugi baterai (*self discharge*) dapat ditekan dan baterai dapat bekerja lebih efisien.

Disamping itu konstruksi baterai *stasioner* pada umumnya dirancang sedemikian rupa sehingga erosi material aktif pada saat gasing dapat ditekan minimum dan ruang pengendapan untuk sel-sel yang telah dibuat cukup (menghindari kemungkinan hubung singkat internal) sehingga baterai dapat berumur lebih lama. Umur baterai ditentukan oleh mekanisme degradasi (berkurangnya sel-sel aktif), korosi, dan kejadian hubung singkat.

Penyebab proses penuaan baterai yang terutama karena :

- 1) baterai sering mengalami kekosongan (*over discharged*).
- 2) pengisian yang berlebihan (*over charged*).

3) pemeliharaan yang tidak memadai.

Dua alasan pertama dapat dihindarkan dengan cara penghitungan kapasitas baterai (*battery sizing*) yang optimal dan dilengkapi dengan BCU yang tepat.

d. Inverter

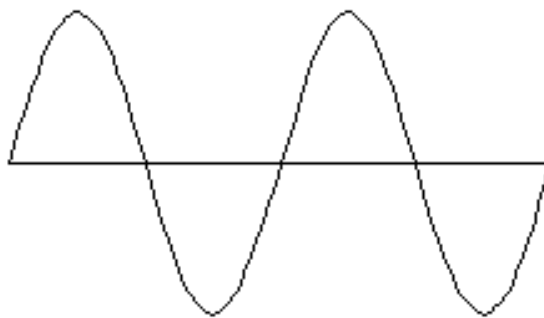
Inverter mengubah listrik DC dari panel surya menjadi listrik AC, yang sesuai dengan kebutuhan beban. Tegangan keluaran biasanya 230VAC, 50Hz.

Tegangan input DC inverter menunjukkan jumlah modul yang harus disambungkan secara seri, sedangkan tegangan output AC menjelaskan tegangan AC beban yang digunakan.

Jenis gelombang AC yang dihasilkan sebaiknya *Pure Sine Wave* atau gelombang AC murni. Gelombang AC murni sesuai dengan kebutuhan rata-rata peralatan rumah tangga, karena tidak menimbulkan gangguan listrik berupa *noise*.

Gambar 8. 2

Bentuk gelombang *Pure Sine Wave*

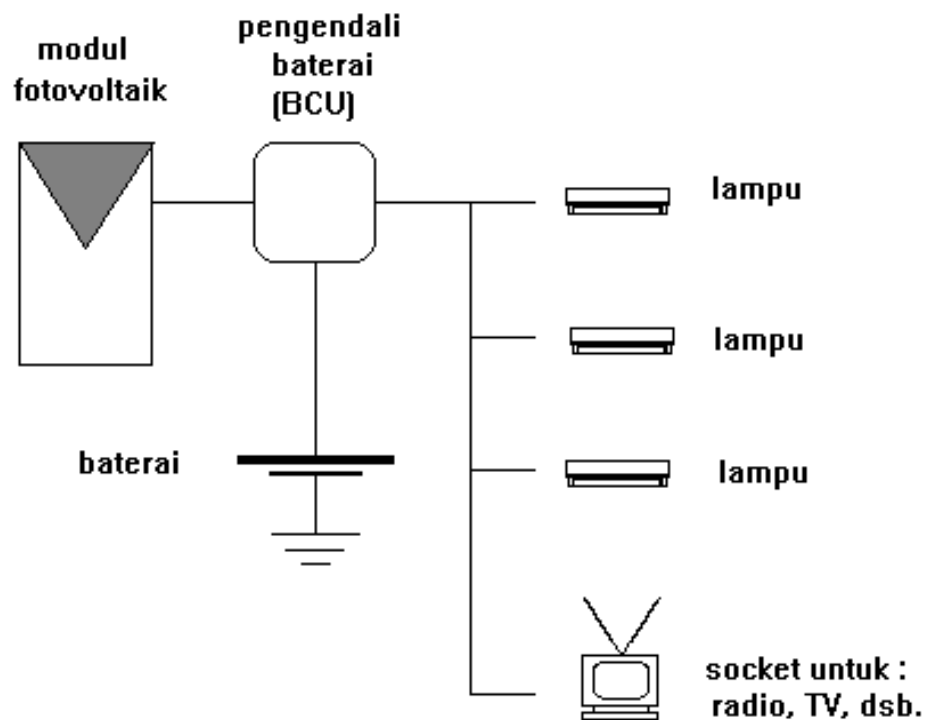


2. *Solar home system*

SESF Individual (yang umum disebut *Solar Home System*) di Indonesia pada umumnya mempunyai tegangan kerja 12 Volt DC, dengan kapasitas modul surya berkisar antara 50 Wp sampai dengan 300 Wp. Paket yang paling banyak tersedia dipasar adalah paket sistem dengan kapasitas modul surya 50 Wp.

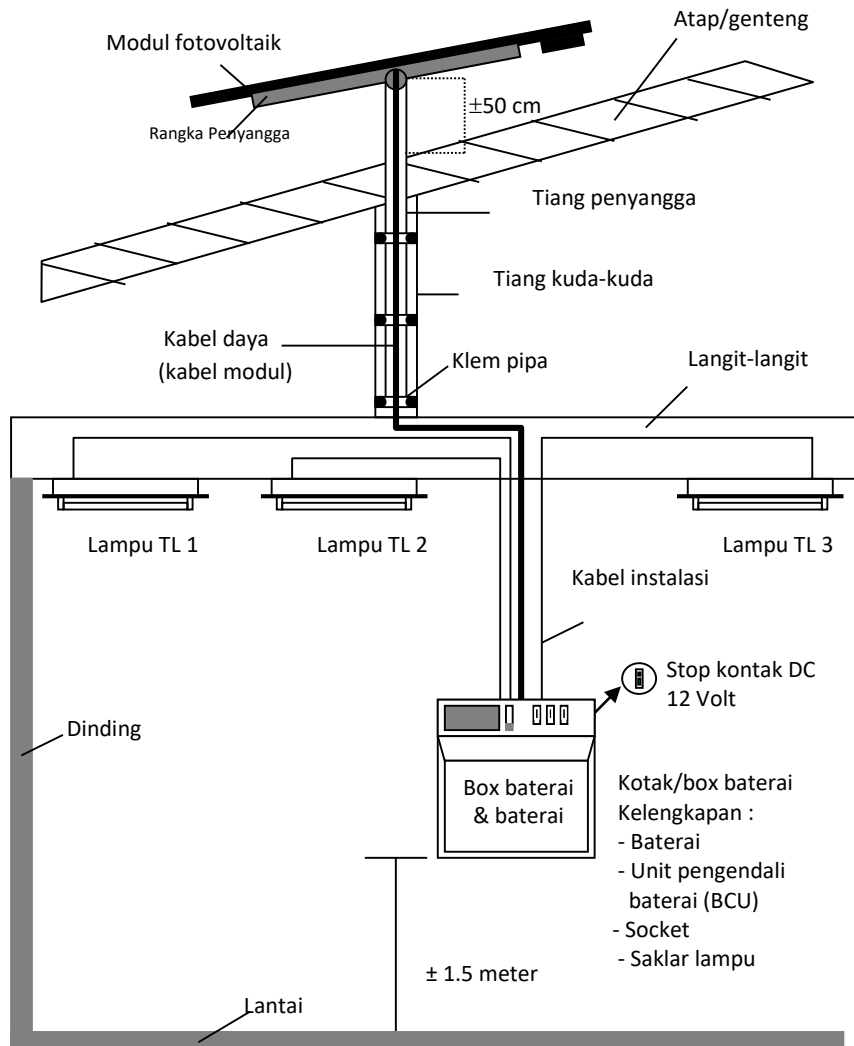
Sistem SHS ini umumnya dipasang pada rumah-rumah di daerah terpencil dengan pola penyebaran rumah yang terpencar. SHS selain terdiri dari modul surya juga terdiri dari komponen-komponen lain seperti baterai dengan kapasitas 70 Ah, sistem pengontrol kondisi baterai (BCR), Lampu DC 12 volt, dan stop kontak, seperti pada gambar berikut ini:

Gambar 8. 3 Sistem penerangan individual atau *Solar Home System (SHS)*



Gambar 8. 4

Skema pemasangan SHS (3 lampu)

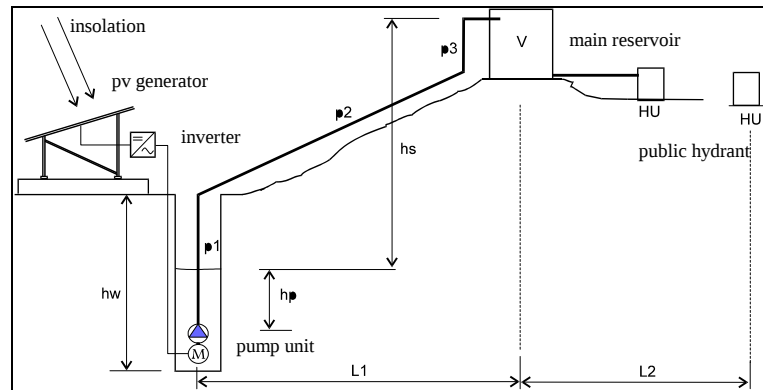


3. Instalasi pompa air tenaga surya

Deskripsi umum instalasi pompa air tenaga surya yang ada di lapangan, dapat diilustrasikan seperti gambar 8.6. berikut:

Gambar 8. 5

Skema umum instalasi pompa air tenaga surya



Peralatan utama sistem pompa air tenaga surya terdiri dari: modul surya, inverter dan unit pompa air.

a. Panel surya

Panel surya terdiri dari beberapa modul surya yang menghasilkan energi listrik dari insolasi matahari. Panel surya tersebut dirangkai sedemikian rupa sehingga menghasilkan daya yang dibutuhkan pompa air dan sesuai dengan output listrik inverter.

b. Inverter

Inverter mengubah listrik DC dari panel surya menjadi listrik AC, yang sesuai dengan kebutuhan daya AC pompa air.

Tegangan input DC inverter menunjukkan jumlah modul yang harus disambungkan secara seri, sedangkan tegangan output AC menjelaskan tipe motor pompa air yang bisa digunakan.

c. Pompa air

Pompa air yang ada digunakan di lapangan umumnya adalah pompa air *submersible*. Jenis pompa ini sudah terbukti kehandalan dan ketahanannya untuk kegunaan sistem penampungan air.

d. *Storage tank* dan pipa air

Pompa air berfungsi menyedot air dari sumbernya untuk ditampung di *storage tank* yang kemudian mengalirkannya secara alami melalui gaya gravitasi ke pipa-pipa pengguna.

Volume *storage tank* tersebut harus dirancang untuk kebutuhan pada saat musim kemarau ataupun saat mendung yang menyebabkan berkurangnya penyinaran matahari.

Selain hambatan penyinaran matahari dan ketersediaan air pada masa-masa tertentu, rugi-rugi akibat gesekan air di pipa juga perlu diperhitungkan pada saat merancang sistem pompa air.

D. Aktivitas Pembelajaran

Mengidentifikasi Isi Materi Pembelajaran

Sebelum melakukan kegiatan pembelajaran, berdiskusilah dengan sesama peserta diklat di kelompok Saudara untuk mengidentifikasi hal-hal berikut:

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran ini? Sebutkan!
2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!
4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!
5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
6. Apa bukti yang harus diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di atas dengan menggunakan **LK-08**. Jika Saudara bisa menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran berikut ini.

E. Rangkuman

Modul fotovoltaik sebagai komponen utama dari SESF terpusat, pada umumnya menggunakan tipe monokristal dan/atau polikristal berbasis silikon.

Fungsi pengendali baterai (*battery control unit* - BCU) adalah untuk melindungi baterai dari pengisian berlebihan (*over charged*) dan pengosongan habis-habisan (*over discharged*), karena hal tersebut dapat mempercepat kerusakan baterai. Baterai dikatakan rusak apabila baterai tidak dapat lagi menyimpan listrik dalam batas waktu yang diharapkan.

Fungsi baterai adalah didalam SESF pada umumnya untuk keperluan menyimpan listrik yang dibangkitkan oleh modul fotovoltaik pada siang hari dan digunakan untuk memasok listrik ke beban pada malam hari.

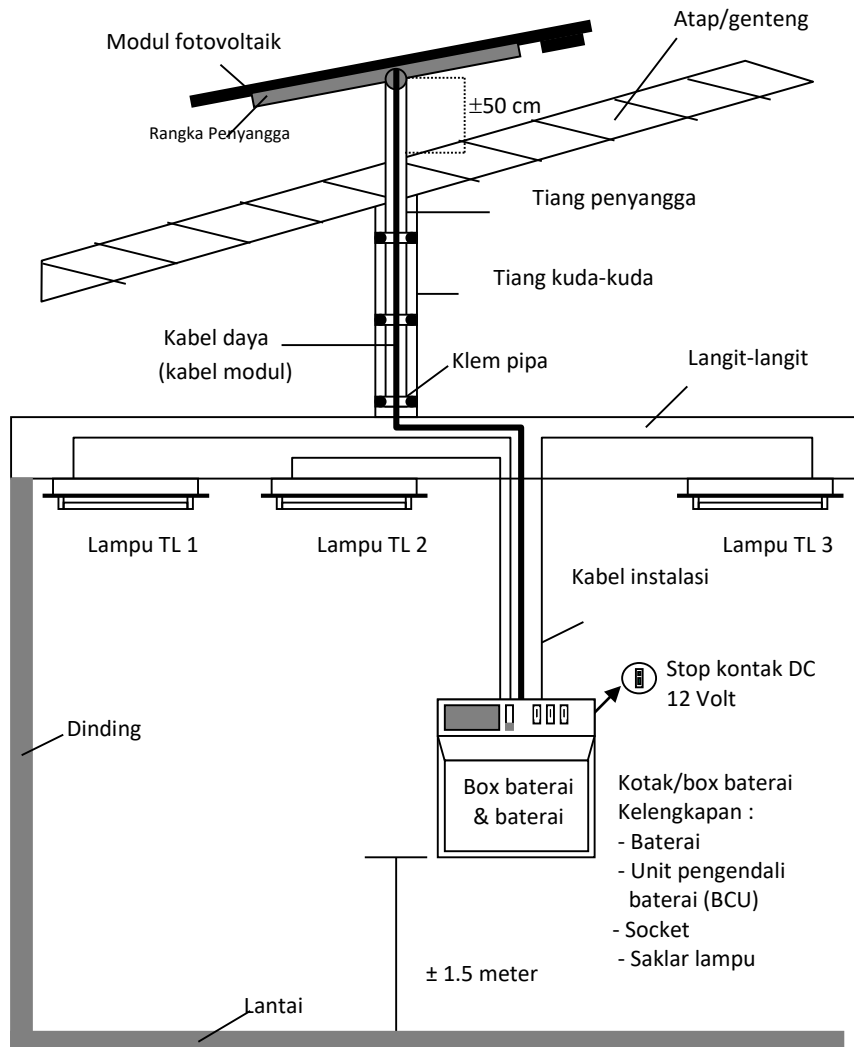
Inverter mengubah listrik DC dari panel surya menjadi listrik AC, yang sesuai dengan kebutuhan beban. Tegangan keluaran biasanya 230VAC, 50Hz

F. Tes Formatif

1. Gambarkan desain SHS 3 lampu

G. Kunci Jawaban

Jawaban 1:



LEMBAR KERJA KB-9

LK - 09

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran konversi energi dan konservasi energi? Sebutkan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....
.....

4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

.....
.....
.....
.....
.....
.....

6. Apa bukti yang harus diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

.....
.....
.....
.....
.....

1. Jelaskan tentang kelengkapan BCU?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Jelaskan tentang penyebab proses penuaan pada *accumulator*?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Jelaskan tentang fungsi inverter?

4. Sebutkan fungsi *accumulator* pada SHS?

240

.....

.....

5. Sebutkan komponen-komponen pada SHS?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

6. Sebutkan komponen-komponen pada pompa tenaga surya?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

LK – 09b

1. Gambarkan blok diagram sistem SESF terpusat.

2. Gambarkan diagram bentuk gelombang pure sine wave.

3. Gambarkan sistem SHS satu lampu.

4. Gambarkan skema umum instalasi pompa tenaga surya.

BAB III

PENUTUP

Pembangunan di Indonesia yang sangat pesat menyebabkan permintaan kebutuhan energi meningkat tajam. Permintaan ini meliputi energi listrik dan energi termal. Untuk daerah di pulau Jawa dan Bali penyediaan energi ini sudah cukup baik, akan tetapi di luar wilayah ini masih kurang. Hal ini terjadi karena belum meratanya sarana dan prasarana yang ada serta masih terbatasnya produksi energi di Indonesia, meskipun sebagian sumber energi termal berasal dari luar wilayah Jawa dan Bali. Oleh karena itu kegiatan produksi energi harus terus dilakukan.

Dengan dukungan pemerintah yang sangat besar dalam pengembangan teknologi energi terbarukan maka perlu disiapkan sumber daya manusia yang akan menangani pembangunan instalasi pembangkit energi listrik.

Buku teknik batu beton dan pemipaan dasar diharapkan mampu memberi kontribusi dalam penyiapan-penyiapan SDM dalam bidang teknik bangunan. Buku ini merupakan salah satu bagian dari buku-buku lain dalam mata pelajaran teknik energi terbarukan.

Teknik batu beton dan pemipaan dasar membahas secara umum mengenai: dasar-dasar gambar teknik, bahan bangunan, penggunaan peralatan tangan dan mekanik/listrik, pekerjaan beton, pekerjaan pasangan batu, dan pemipaan. Untuk hal yang spesifik akan dibahas dalam mata pelajaran yang khusus sesuai yang sudah direncanakan.

Dengan memahami dan menguasai materi dalam buku ini, berarti telah siap untuk melakukan pelaksanaan pekerjaan terutama pekerjaan sipil dalam pembangunan instalasi pembangkit energi.

Uji Kompetensi

Soal isian

1. Jelaskan proses terjadinya angin darat....
2. Jelaskan proses terjadinya angin laut....
3. Jelaskan secara singkat tentang pengaruh rotasi bumi terhadap sirkulasi angin....
4. Jelaskan tentang pemanfaatan energi surya dalam kehidupan sehari-hari....
5. Jelaskan pemanfaatan energi surya untuk PLTS....

Soal Praktek

1. Rangkailah sebuah SESF untuk Penerangan....
2. Rangkailah SESF untuk pompa air....
3. Praktekan pemeliharaan SESF untuk PJU....
4. Rangkailah sebuah PLTB skala 1000 Watt....

Isilah Tabel Pengamatan survei potensi matahari...

[illegible]

Isilah tabel pengamatan berikut...

[illegible]

DAFTAR PUSTAKA

Hau, E., 2005, *“Wind Turbines”*, Springer, Berlin.

<http://energisurya.files.wordpress.com/2008/07>

<http://harisistanto.files.wordpress.com/2010/07>

<http://i.bp.blogspot.com/-2CefJiQorNAI>

<http://texbuk.blogspot.com/2012/02>

Instruksi Presiden Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2011 Tentang Penghematan Energi dan Air

Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 43 Tahun 1991 Tentang Konservasi Energi Nasional.

Menet, J.L., Bourabaa, N., *“Increase In The Savonius Rotor Efficiency Via Parameter Investigation” France.*

Nelson, V., 2009, *“Wind Energy”*, CRC, USA

Peraturan Menteri Energi Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2012 Tentang Manajemen Energi

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 70 Tahun 2009 Tentang Konservasi Energi

Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006 Tentang Kebijakan Energi Nasional

Sathyajith, W., 2006, *“Wind Energy”*, Springer, Brunei Darusalam.

Twidell, J., Weir, T., *“Renewable Energy Resources”*, London and Newyork.

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2007 Tentang Energi

GLOSARIUM

Anemometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin dan mengirimkan data kecepatan angin ke pengontrol.

Angin adalah udara yang bergerak di atas permukaan bumi, yang bertiup dari daerah yang bertekanan tinggi menuju daerah yang bertekanan rendah.

Beton bertulang adalah struktur beton yang dibuat dari *mix* dan pembesian.

Beton komposit adalah struktur beton yang dibuat dari baja profil dan *mix*.

Direct drive adalah transmisi daya langsung dengan menggunakan poros dan pasangan kopling.

Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja yang dapat berupa panas cahaya, mekanika, kimia, dan elektromagnetika.

Inverter adalah alat (rangkain elektronik daya) yang digunakan untuk merubah arus/tegangan listrik DC menjadi AC.

Konservasi Energi adalah upaya sistematis, terencana, dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya.

Konservasi lingkungan yaitu upaya perlindungan dan pengelolaan yang hati-hati terhadap lingkungan, memperbaiki lingkungan yang karena faktor alam atau manusia kondisinya menjadi rusak, dan menanamkan kesadaran akan pentingnya kelestarian lingkungan.

Nasel adalah bagian turbin angin yang berfungsi untuk penempatan beberapa komponen turbin angin seperti: unit transmisi, generator, kopling mekanik, rem mekanik, dan komponen lainnya agar terlindung dari pengaruh lingkungan yang membahayakan atau merugikan.

Orografi adalah suatu bentuk dataran yang menghasilkan pengaruh tambahan terhadap angin, yang dapat mempercepat atau memperlambat. misalnya bukit, lembah, bubungan, dan *cliff*.

Rotor turbin angin adalah bagian turbin angin yang berputar yang terdiri atas naf (hub) dan sudu, yang berfungsi untuk mengubah energi angin menjadi putaran rotor.

Speed increasing yaitu putaran keluarannya lebih besar dari putaran masukan, namun momen gaya pada transmisi keluarannya lebih rendah.

Speed reducing adalah sistem transmisi dengan penurunan putaran, dimana putaran masuk lebih rendah dari putaran keluarannya.

Sudu turbin Angin adalah bilah yang dipergunakan untuk menangkap energi angin menjadi energi mekanik yang akan menggerakkan generator dan menjadikan tenaga listrik.

Sumber energi adalah sesuatu yang dapat menghasilkan energi, baik secara langsung maupun melalui proses konversi atau transformasi.

Sumber daya energi adalah sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan, baik sebagai sumber energi maupun sebagai energi.

