

MODUL PENGEMBANGAN KEPROFESIAN BERKELANJUTAN

# KONVERSI ENERGI SURYA DAN ANGIN

PAKET KEAHLIAN : TEKNIK ENERGI SURYA & ANGIN

Program Keahlian : Teknik Energi Terbarukan

KELOMPOK  
KOMPETENSI

2



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN  
2015

# **KONVERSI ENERGI SURYA DAN ANGIN**

**PAKET KEAHLIAN : TEKNIK ENERGI SURYA**

**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 jabaran 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.....	v
DAFTAR TABEL .....	x
PENDAHULUAN .....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Tujuan.....	2
C. Peta Kompetensi.....	2
D. Ruang Lingkup .....	3
E. Saran Cara Penggunaan Modul .....	3
KEGIATAN PEMBELAJARAN .....	4
KEGIATAN PEMBELAJARAN 1 : PENDEKATAN SAINTIFIK .....	4
A. Tujuan.....	4
B. Indikator Pencapaian Kompetensi .....	4
C. Uraian Materi.....	4
D. Aktivitas Pembelajaran.....	60
E. Rangkuman.....	69
F. Tes Formatif .....	72
G. Kunci Jawaban.....	73
KEGIATAN PEMBELAJARAN 2 : KONVERSI ENERGI SURYA KE LISTRIK DAN PANAS .....	75
A. Tujuan.....	75
B. Indikator Pencapaian Kompetensi .....	75
C. Uraian Materi.....	75
D. Aktivitas Pembelajaran.....	99
E. Rangkuman.....	102
F. Tes Formatif .....	103

G. Kunci Jawaban.....	105
KEGIATAN PEMBELAJARAN 3 : RADIASI PANAS DAN MATAHARI .....	106
A. Tujuan.....	106
B. Indikator Pencapaian Kompetensi .....	106
C. Uraian Materi.....	106
D. Aktivitas Pembelajaran .....	172
E. Rangkuman .....	187
F. Tes Formatif .....	188
G. Kunci Jawaban.....	190
KEGIATAN PEMBELAJARAN 4 : KONVERSI ENERGI ANGIN .....	191
A. Tujuan.....	191
B. Indikator Pencapaian Kompetensi .....	191
C. Uraian Materi.....	191
D. Aktifitas Pembelajaran .....	213
E. Rangkuman .....	214
F. Tes Formatif .....	215
G. Kunci Jawaban.....	218
LEMBAR KERJA KB-4 .....	219
KEGIATAN PEMBELAJARAN 5 : KECEPATAN ANGIN DAN DAYA TURBIN .....	221
A. Tujuan.....	221
B. Indikator Pencapaian Kompetensi .....	221
C. Uraian Materi.....	221
D. Aktifitas Pembelajaran .....	255
E. Rangkuman .....	256
F. Tes Formatif .....	257
G. Kunci Jawaban.....	260
LEMBAR KERJA KB-5 .....	261
KEGIATAN PEMBELAJARAN 6 : AUDIT ENERGI DISEKOLAH .....	263
A. Tujuan.....	263

B. Indikator Pencapaian Kompetensi .....	263
C. Uraian Materi.....	263
D. Aktifitas Pembelajaran .....	297
E. Rangkuman .....	298
F. Tes Formatif .....	299
G. Kunci Jawaban.....	302
PENUTUP .....	303
Uji Kompetensi.....	304
DAFTAR PUSTAKA.....	309
GLOSARIUM .....	310

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Perpindahan panas konveksi, radiasi dan konduksi .....	89
Gambar 2. 2	Perpindahan panas secara konduksi.....	90
Gambar 2. 3	Perpindahan panas secara radiasi .....	90
Gambar 2. 4	Perpindahan panas secara konveksi pada air yang dipanaskan .....	91
Gambar 2. 5	Rumah pengering menggunakan energi sinar matahari .....	95
Gambar 2. 6	Proses konversi cahaya matahari menjadi energi listrik .....	97
Gambar 2. 7	Fotovoltaik atap rumah.....	98
Gambar 2. 8	<i>Adjustable</i> Panel Surya .....	100
Gambar 2. 9	Mini Generator Set .....	100
Gambar 3. 1	Energi sinar matahari.....	106
Gambar 3. 2	<i>Solar power meter</i> .....	110
Gambar 3. 3	<i>Solar power</i> .....	111
Gambar 3. 4	Jenis-jenis radiasi .....	113
Gambar 3. 5	Piranometer (kiri) dan Piranograp (kanan).....	113
Gambar 3. 6	Bola Surya .....	114
Gambar 3. 7	Deklinasi matahari, posisi pada musim panas .....	116
Gambar 3. 8	Pemanas air tenaga matahari .....	118
Gambar 3. 9	Konversi cahaya matahari menjadi listrik.....	121
Gambar 3. 10	Metoda Penumbuhan Kristal Mono Czochralski dan Produk Ingot.....	122
Gambar 3. 11	(a) Sel surya Single Kristal; (b) modul surya single Kristal.....	122
Gambar 3. 12	Metoda <i>Casting</i> Pembuatan Bahan Polikristal .....	123
Gambar 3. 13	(a) Sel Surya Polikristal; (b) Modul Surya Polikristal .....	123
Gambar 3. 14	Proses Pembuatan EFG <i>the Edge Defined Film Growth Ribbon</i> .....	124
Gambar 3. 15	(a) Modul dan (b) Sel Surya Jenis Polikristal dengan Metoda EFG .....	124
Gambar 3. 16	Amorphous Silicon dengan <i>Heterojunction</i> dengan <i>Stack</i> atau Tandem Sel.....	125
Gambar 3. 17	Konstruksi lapisan modul.....	126
Gambar 3. 18	Konfigurasi sebuah modul fotovoltaik.....	127

Gambar 3. 19	Kurva Arus-Tegangan dari sebuah modul surya .....	128
Gambar 3. 20	Daya sebagai fungsi dari tegangan modul fotovoltaik dilukiskan.....	129
Gambar 3. 21	Kurva I-V dari sebuah modul fotovoltaik, pada berbagai radiasi.....	130
Gambar 3. 22	Kurva I-V dari sebuah modul fotovoltaik, pada berbagai.....	131
Gambar 3. 23	Tiga buah modul surya duhubungkan secara paralel .....	133
Gambar 3. 24	Tiga buah modul surya dihubungkan secara seri.....	134
Gambar 3. 25	<i>Array</i> atau Rangkaian Modul Surya .....	135
Gambar 3. 26	Karakteristik Arus-Tegangan akibat <i>shading effect</i> .....	136
Gambar 3. 27	Grafik tegangan baterai terhadap pemakaian beban dan.....	142
Gambar 3. 28	Rangkaian BCR tipe <i>Direct Connection</i> .....	145
Gambar 3. 29	Rangkaian BCR tipe <i>On-Off Regulator</i> .....	146
Gambar 3. 30	Rangkaian BCR tipe <i>shunt</i> .....	147
Gambar 3. 31	Tegangan baterai saat kondisi <i>Charge-Discharge</i> BCR tipe <i>Two-</i> .....	149
Gambar 3. 32	Rangkaian PWM pada BCR.....	150
Gambar 3. 33	Bentuk arus pengisian PV dengan PWM saat start.....	151
Gambar 3. 34	Bentuk arus pengisian PV dengan PWM 50% <i>duty cycle</i> .....	151
Gambar 3. 36	Rangkaian BCR dengan sistem kerja <i>On-Off regulator</i> jenis seri .....	152
Gambar 3. 37	Rangkaian BCR dengan sistem kerja <i>On-Off regulator</i> jenis <i>shunt</i> .....	153
Gambar 3. 38	Rangkaian BCR dengan sistem kerja <i>On-Off</i> pada sisi beban .....	154
Gambar 3. 39	Kurva tegangan batas atas untuk baterai 12 volt .....	158
Gambar 3. 40	Proses <i>discharging</i> .....	160
Gambar 3. 41	Proses <i>charging</i> .....	160
Gambar 3. 42	Baterai <i>Starting</i> .....	162
Gambar 3. 43	Baterai <i>Deep-Cycle</i> .....	162
Gambar 3. 44	Konstruksi baterai <i>flooded cell</i> .....	163
Gambar 3. 45	<i>Sealed Cell</i> atau <i>Valve Regulated Lead Acid</i> .....	164
Gambar 3. 46	Hubungan baterai secara (a) seri; (b) paralel; (c) seri-paralel .....	166
Gambar 3. 47	Karakteristik baterai dalam kurva tegangan baterai vs laju <i>discharge</i> .....	167
Gambar 3. 48	Siklus ( <i>cycle life</i> ) vs DOD baterai .....	168
Gambar 3. 49	Degradasi baterai akibat efek <i>Softening</i> .....	169

Gambar 3. 50	Degradasi baterai akibat efek korosi .....	170
Gambar 3. 51	Degradasi baterai akibat efek sulfas .....	171
Gambar 3. 52	Degradasi baterai akibat efek stratifikasi elektrolit .....	172
Gambar 4. 1	<i>Windmills</i> kuno di Inggris .....	192
Gambar 4. 2	<i>Thatched dutch windmills</i> .....	193
Gambar 4. 3	Sirkulasi atmosfer di bumi .....	194
Gambar 4. 4	Sirkulasi atmosfer pada belahan bumi bagian utara .....	194
Gambar 4. 5	Angin laut saat siang dan angin darat pada malam hari .....	195
Gambar 4. 6	Aliran angin melalui silinder dengan luas $A$ .....	196
Gambar 4. 7	<i>Wind shear</i> .....	197
Gambar 4. 8	Perubahan kecepatan angin terhadap ketinggian .....	198
Gambar 4. 9	Pemodelan <i>betz</i> untuk aliran angin .....	200
Gambar 4. 10	Koefisien daya $C_p$ sebagai fungsi faktor $a$ .....	202
Gambar 4. 11	Variasi <i>tip speed ratio</i> dan koefisien daya $C_p$ .....	203
Gambar 4. 12	Mesin <i>drag</i> dengan <i>hinged flap</i> pada sabuk berputar .....	204
Gambar 4. 13	Gaya aerodinamis rotor turbin angin saat dilalui udara .....	206
Gambar 4. 14	Komponen utama turbin angin sumbu horizontal .....	206
Gambar 4. 15	Jenis turbin angin berdasarkan jumlah sudu .....	207
Gambar 4. 16	Turbin angin jenis <i>upwind</i> .....	207
Gambar 4. 17	Turbin angin jenis <i>downwind</i> .....	208
Gambar 4. 18	Turbin angin <i>darrieus</i> .....	210
Gambar 4. 19	Turbin angin <i>darrieus</i> tipe-H .....	211
Gambar 4. 19	Turbin angin <i>darrieus</i> tipe-H .....	212
Gambar 4. 21	Sudu pengarah dengan rotor turbin angin <i>savonius</i> .....	213
Gambar 5. 1	Pembangkit listrik tenaga angin .....	221
Gambar 5. 2	Kincir angin untuk pompa .....	222
Gambar 5. 3	Anemometer dengan tiga mangkuk .....	226
Gambar 5. 4	Anemometer digital .....	227
Gambar 5. 5	Pembentukan angin oleh fenomena termal sinar matahari .....	231

Gambar 5. 6	Distribusi kecepatan angin terhadap bidang vertical .....	232
Gambar 5. 7	Distribusi <i>rayleigh</i> .....	235
Gambar 5. 8	Contoh pendekatan distribusi <i>weibull</i> .....	236
Gambar 5. 9	Perbandingan data dan pendekatan fungsi <i>weibull</i> .....	236
Gambar 5. 10	Kecepatan angin pada suatu rotor.....	237
Gambar 5. 11	Koefisien daya menurut <i>betz</i> .....	238
Gambar 5. 12	<i>Cup anemometer</i> .....	240
Gambar 5. 13	Koefisien daya sebagai fungsi $\lambda$ .....	241
Gambar 5. 14	Gaya angkat .....	241
Gambar 5. 15	Koefisien data fungsi rasio kecepatan .....	242
Gambar 5. 16	Profil tekanan dan kecepatan aliran angin .....	243
Gambar 5. 17	Kincir poros horizontal.....	244
Gambar 5. 18	Kincir poros vertikal .....	245
Gambar 5. 19	Skema kincir angin konvensional.....	245
Gambar 5. 20	Tipe kincir angin poros horizontal .....	246
Gambar 5. 21	Bagian-bagian turbin angin.....	247
Gambar 5. 22	Tampak lintang dari generator sinkron .....	252
Gambar 5. 23	Sistem kelistrikan lepas jaringan.....	253
Gambar 5. 24	Sistem kelistrikan terhubung dengan baterai.....	254
Gambar 5. 25	Sistem kelistrikan terhubung tanpa baterai .....	254
Gambar 5. 26	Sistem kelistrikan langsung tanpa baterai .....	255
Gambar 6. 1	Pemanfaatan ventilasi .....	264
Gambar 6. 2	Layar <i>LEAP</i> .....	281
Gambar 6. 3	Tutorial dan <i>help</i> .....	283
Gambar 6. 4	<i>View bar</i> .....	284
Gambar 6. 5	<i>Tree</i> dan <i>branch</i> .....	286
Gambar 6. 6	Pilihan ekspresi .....	287
Gambar 6. 7	<i>Time series wizard step 1</i> .....	288
Gambar 6. 8	<i>Time series wizard step 2</i> .....	289
Gambar 6. 9	<i>Time series wizard step 3</i> .....	289

Gambar 6. 10	<i>Expression builder</i> .....	290
Gambar 6. 11	<i>View result</i> .....	291
Gambar 6. 12	<i>View diagram</i> .....	292
Gambar 6. 13	<i>View Energy balance</i> .....	293
Gambar 6. 14	<i>View summaries</i> .....	294
Gambar 6. 15	<i>View overviews</i> .....	294
Gambar 6. 16	<i>Database teknologi dan lingkungan</i> .....	295
Gambar 6. 17	Dokumentasi model.....	296
Gambar 6. 18	Registrasi <i>LEAP</i> .....	297

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Satuan lain untuk Konstanta Surya .....	115
Tabel 3. 2 Radiasi Penyinaran Matahari di Indonesia Pebruari 2008.....	117
Tabel 3. 3 Tegangan batas atas BCR.....	156
Tabel 3. 4 Battery State of Charge (kondisi tegangan sesuai kapasitas baterai).....	159
Tabel 4. 1 Perkiraan daya angin persatuan luas .....	196
Tabel 5. 1 Nilai <i>roughness-length</i> untuk beberapa kelas dataran .....	232
Tabel 5. 2 Tabel nilai koefisien hambatan.....	239
Tabel 6. 1 IKE bangunan gedung tidak ber-AC .....	265
Tabel 6. 2 Kriteria IKE bangunan gedung ber-AC.....	266
Tabel 6. 3 Format karakteristik pemakaian energi .....	267
Tabel 6. 4 Format perhitungan IKE untuk ruang ber-AC.....	268
Tabel 6. 5 Format perhitungan IKE untuk ruang non-AC.....	268

# **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, pengusaha energi, pemanfaatan energi, dan konservasi sumber daya energi. Dengan demikian pengetahuan yang komprehensif mengenai konservasi energi dan lingkungan dapat dicapai.

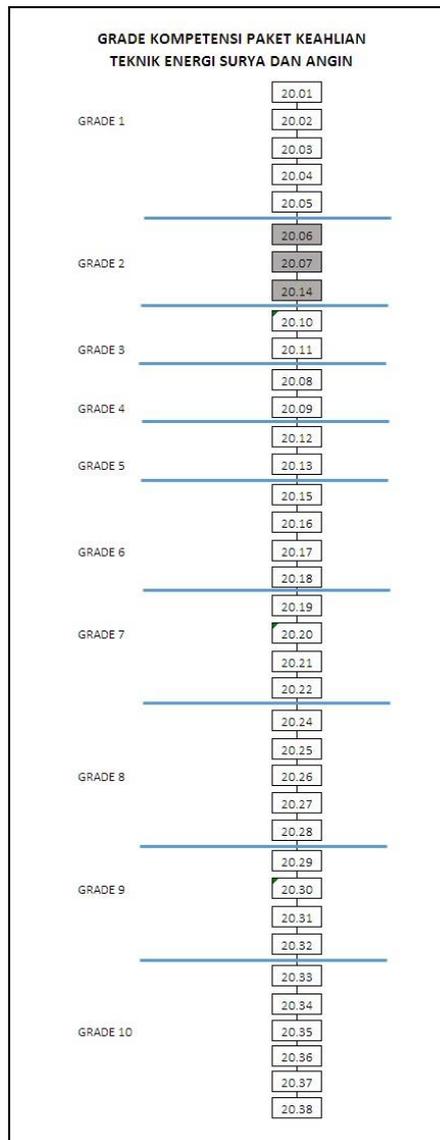
Modul ini dirancang agar guru mampu memahami teknik konversi energi yang bersumber pada sumber daya alam yang dapat diperbaharui yang ramah lingkungan, serta mampu mengenali langkah-langkah penghematan energi pada berbagai peralatan dan fasilitas.

Uraian dalam modul ini selain menekankan pada aspek produksi energi juga mempelajari konservasi energi dan lingkungan. Perlunya konservasi energi dan lingkungan berkaitan dengan: teknik penghematan energi, 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 mempelajari buku ini, guru diharapkan dapat mengerti, memahami dan menguasai teknik konversi energi surya dan angin melalui pemanfaatan energi alternatif dan mampu melakukan teknik penghematan energi.

## C. Peta Kompetensi



#### **D. Ruang Lingkup**

Modul ini berisi pengetahuan tentang: konversi energi angin ke listrik dan mekanik, cara mengetahui kecepatan angin dan daya turbin, konversi dan efisiensi energi, dan audit energi di sekolah.

#### **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 : PENDEKATAN SAINTIFIK**

##### **A. Tujuan**

Guru mampu menerapkan berbagai pendekatan, strategi, metode dan teknik pembelajaran yang mendidik secara kreatif dalam mata pelajaran yang diampu.

##### **B. Indikator Pencapaian Kompetensi**

1. Pendekatan pembelajaran *teacher center* dan *student center* dianalisis dengan tepat.
2. Pendekatan pembelajaran saintifik diterapkan sesuai dengan karakteristik materi yang akan diajarkan.
3. Berbagai strategi/model pembelajaran (*Problem Based Learning, Project Based Learning, Discovery Learning* dan *Inquiry Learning*) diterapkan sesuai dengan karakteristik materi pelajaran.
4. Berbagai metoda dan teknik pembelajaran diterapkan sesuai dengan tujuan pembelajaran.

##### **C. Uraian Materi**

###### **Bahan Bacaan 1 :**

Pendekatan saintifik adalah sebuah pendekatan pembelajaran yang didasarkan atas pengalaman-pengalaman belajar yang diperoleh siswa secara sistematis dengan tahapan-tahapan tertentu berdasarkan teori ilmu pendidikan yang terbukti mampu menghasilkan siswa yang inovatif dan kreatif. Dengan demikian dapat diketahui bahwa basis dari pendekatan ilmiah ini adalah teori-teori belajar maupun teori

pendidikan yang berdasarkan ilmu perilaku pendidikan. Oleh karena itu perlu dipahami lebih dahulu teori belajar dan kependidikan yang mendasari pendekatan saintifik tersebut.

#### **a. Belajar dan Perilaku Belajar**

Belajar merupakan aktifitas psikologis maupun fisik, untuk menguasai suatu kemampuan tertentu. Aktivitas belajar merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi dan berperan penting dalam pembentukan pribadi dan perilaku individu. Nana Syaodih Sukmadinata (2005) menyebutkan bahwa sebagian terbesar perkembangan individu berlangsung melalui kegiatan belajar. Di bawah ini disajikan beberapa pengertian “belajar”:

- Gage & Berliner : “belajar adalah suatu proses perubahan perilaku yang muncul karena pengalaman”.
- Witherington (1952) : “belajar merupakan perubahan dalam kepribadian yang dimanifestasikan sebagai pola-pola respons yang baru berbentuk keterampilan, sikap, kebiasaan, pengetahuan dan kecakapan”.
- Crow & Crow dan (1958) : “ belajar adalah diperolehnya kebiasaan-kebiasaan, pengetahuan dan sikap baru”.
- Hilgard (1962) : “belajar adalah proses dimana suatu perilaku muncul perilaku muncul atau berubah karena adanya respons terhadap sesuatu situasi”
- Di Vesta dan Thompson (1970) : “ belajar adalah perubahan perilaku yang relatif menetap sebagai hasil dari pengalaman”.
- Moh. Surya (1997) : “belajar dapat diartikan sebagai suatu proses yang dilakukan oleh individu untuk memperoleh perubahan perilaku baru secara keseluruhan, sebagai hasil dari pengalaman individu itu sendiri dalam berinteraksi dengan lingkungannya”.

Berdasarkan beberapa pengertian belajar di atas, dapat dilihat bahwa pada dasarnya belajar adalah perubahan perilaku. Dalam hal ini, Moh Surya (1997) mengemukakan ciri-ciri dari perubahan perilaku, yaitu :

**b. Perubahan yang disadari dan disengaja (intensional).**

Perubahan perilaku yang terjadi merupakan usaha sadar dan disengaja dari individu yang bersangkutan. Begitu juga dengan hasil-hasilnya, individu yang bersangkutan menyadari bahwa dalam dirinya telah terjadi perubahan, misalnya pengetahuannya semakin bertambah atau keterampilannya semakin meningkat, dibandingkan sebelum dia mengikuti suatu proses belajar. Misalnya, seorang mahasiswa sedang belajar tentang psikologi pendidikan. Dia menyadari bahwa dia sedang berusaha mempelajari tentang Psikologi Pendidikan. Begitu juga, setelah belajar Psikologi Pendidikan dia menyadari bahwa dalam dirinya telah terjadi perubahan perilaku, dengan memperoleh sejumlah pengetahuan, sikap dan keterampilan yang berhubungan dengan Psikologi Pendidikan.

**c. Perubahan yang berkesinambungan (kontinyu).**

Bertambahnya pengetahuan atau keterampilan yang dimiliki pada dasarnya merupakan kelanjutan dari pengetahuan dan keterampilan yang telah diperoleh sebelumnya. Begitu juga, pengetahuan, sikap dan keterampilan yang telah diperoleh itu, akan menjadi dasar bagi pengembangan pengetahuan, sikap dan keterampilan berikutnya. Misalnya, seorang mahasiswa telah belajar Psikologi Pendidikan tentang “Hakekat Belajar”. Ketika dia mengikuti pendidikan dan pelatihan “Strategi Belajar Mengajar”, maka pengetahuan, sikap dan keterampilannya tentang “Hakekat Belajar” akan dilanjutkan dan dapat dimanfaatkan dalam mengikuti pendidikan dan pelatihan “Strategi Belajar Mengajar”.

**d. Perubahan yang fungsional.**

Setiap perubahan perilaku yang terjadi dapat dimanfaatkan untuk kepentingan hidup individu yang bersangkutan, baik untuk kepentingan masa sekarang maupun masa mendatang. Contoh : seorang mahasiswa belajar tentang psikologi pendidikan, maka pengetahuan dan keterampilannya dalam psikologi pendidikan dapat dimanfaatkan untuk mempelajari dan mengembangkan perilaku dirinya sendiri maupun mempelajari dan mengembangkan perilaku para peserta didiknya kelak ketika dia menjadi guru.

**e. Perubahan yang bersifat positif.**

Perubahan perilaku yang terjadi bersifat normatif dan menunjukkan ke arah kemajuan. Misalnya, seorang mahasiswa sebelum belajar tentang Psikologi Pendidikan menganggap bahwa dalam dalam Prose Belajar Mengajar tidak perlu mempertimbangkan perbedaan-perbedaan individual atau perkembangan perilaku dan pribadi peserta didiknya, namun setelah mengikuti pembelajaran Psikologi Pendidikan, dia memahami dan berkeinginan untuk menerapkan prinsip – prinsip perbedaan individual maupun prinsip-prinsip perkembangan individu jika dia kelak menjadi guru.

**f. Perubahan yang bersifat aktif.**

Untuk memperoleh perilaku baru, individu yang bersangkutan aktif berupaya melakukan perubahan. Misalnya, mahasiswa ingin memperoleh pengetahuan baru tentang psikologi pendidikan, maka mahasiswa tersebut aktif melakukan kegiatan membaca dan mengkaji buku-buku psikologi pendidikan, berdiskusi dengan teman tentang psikologi pendidikan dan sebagainya.

**g. Perubahan yang bersifat permanen.**

Perubahan perilaku yang diperoleh dari proses belajar cenderung menetap dan menjadi bagian yang melekat dalam dirinya. Misalnya, mahasiswa belajar mengoperasikan komputer, maka penguasaan keterampilan mengoperasikan komputer tersebut akan menetap dan melekat dalam diri mahasiswa tersebut.

**h. Perubahan yang bertujuan dan terarah.**

Individu melakukan kegiatan belajar pasti ada tujuan yang ingin dicapai, baik tujuan jangka pendek, jangka menengah maupun jangka panjang. Misalnya, seorang mahasiswa belajar psikologi pendidikan, tujuan yang ingin dicapai dalam panjang pendek mungkin dia ingin memperoleh pengetahuan, sikap dan keterampilan tentang psikologi pendidikan yang diwujudkan dalam bentuk kelulusan dengan memperoleh nilai A. Sedangkan tujuan jangka panjangnya dia ingin menjadi guru yang efektif dengan memiliki kompetensi yang memadai

tentang Psikologi Pendidikan. Berbagai aktivitas dilakukan dan diarahkan untuk mencapai tujuan-tujuan tersebut.

#### **i. Perubahan perilaku secara keseluruhan.**

Perubahan perilaku belajar bukan hanya sekedar memperoleh pengetahuan semata, tetapi termasuk memperoleh pula perubahan dalam sikap dan keterampilannya. Misalnya, mahasiswa belajar tentang “Teori-Teori Belajar”, disamping memperoleh informasi atau pengetahuan tentang “Teori-Teori Belajar”, dia juga memperoleh sikap tentang pentingnya seorang guru menguasai “Teori-Teori Belajar”. Begitu juga, dia memperoleh keterampilan dalam menerapkan “Teori-Teori Belajar”.

Menurut Gagne (Abin Syamsuddin Makmun, 2003), perubahan perilaku yang merupakan hasil belajar dapat berbentuk :

- a. Informasi verbal; yaitu penguasaan informasi dalam bentuk verbal, baik secara tertulis maupun tulisan, misalnya pemberian nama-nama terhadap suatu benda, definisi, dan sebagainya.
- b. Kecakapan intelektual; yaitu keterampilan individu dalam melakukan interaksi dengan lingkungannya dengan menggunakan simbol-simbol, misalnya: penggunaan simbol matematika. Termasuk dalam keterampilan intelektual adalah kecakapan dalam membedakan (discrimination), memahami konsep konkrit, konsep abstrak, aturan dan hukum. Keterampilan ini sangat dibutuhkan dalam menghadapi pemecahan masalah.
- c. Strategi kognitif; kecakapan individu untuk melakukan pengendalian dan pengelolaan keseluruhan aktivitasnya. Dalam konteks proses pembelajaran, strategi kognitif yaitu kemampuan mengendalikan ingatan dan cara – cara berfikir agar terjadi aktivitas yang efektif. Kecakapan intelektual menitikberatkan pada hasil pembelajaran, sedangkan strategi kognitif lebih menekankan pada proses pemikiran.
- d. Sikap; yaitu hasil pembelajaran yang berupa kecakapan individu untuk memilih macam tindakan yang akan dilakukan. Dengan kata lain. Sikap

adalah keadaan dalam diri individu yang akan memberikan kecenderungan bertindak dalam menghadapi suatu obyek atau peristiwa, didalamnya terdapat unsur pemikiran, perasaan yang menyertai pemikiran dan kesiapan untuk bertindak.

- e. Kecakapan motorik; ialah hasil belajar yang berupa kecakapan pergerakan yang dikontrol oleh otot dan fisik.

Sementara itu, Moh. Surya (1997) mengemukakan bahwa hasil belajar akan tampak dalam :

- a. Kebiasaan; seperti : peserta didik belajar bahasa berkali-kali menghindari kecenderungan penggunaan kata atau struktur yang keliru, sehingga akhirnya ia terbiasa dengan penggunaan bahasa secara baik dan benar.
- b. Keterampilan; seperti : menulis dan berolah raga yang meskipun sifatnya motorik, keterampilan-keterampilan itu memerlukan koordinasi gerak yang teliti dan kesadaran yang tinggi.
- c. Pengamatan; yakni proses menerima, menafsirkan, dan memberi arti rangsangan yang masuk melalui indera-indera secara obyektif sehingga peserta didik mampu mencapai pengertian yang benar.
- d. Berfikir asosiatif; yakni berfikir dengan cara mengasosiasikan sesuatu dengan lainnya dengan menggunakan daya ingat.
- e. Berfikir rasional dan kritis yakni menggunakan prinsip-prinsip dan dasar-dasar pengertian dalam menjawab pertanyaan kritis seperti “bagaimana” (*how*) dan “mengapa” (*why*).
- f. Sikap yakni kecenderungan yang relatif menetap untuk bereaksi dengan cara baik atau buruk terhadap orang atau barang tertentu sesuai dengan pengetahuan dan keyakinan.
- g. Inhibisi (menghindari hal yang mubazir).
- h. Apresiasi (menghargai karya-karya bermutu).

Perilaku afektif yakni perilaku yang bersangkutan dengan perasaan takut, marah, sedih, gembira, kecewa, senang, benci, was-was dan sebagainya.

Sedangkan menurut Bloom, perubahan perilaku yang terjadi sebagai hasil belajar meliputi perubahan dalam kawasan (domain) kognitif, afektif dan psikomotor, beserta tingkatan aspek-aspeknya.

#### **j. Taksonomi Perilaku Individu-Bloom**

Kalau perilaku individu mencakup segala pernyataan hidup, betapa banyak kata yang harus dipergunakan untuk mendeskripsikannya. Untuk keperluan studi tentang perilaku kiranya perlu ada sistematika pengelompokan berdasarkan kerangka berfikir tertentu (taksonomi). Dalam konteks pendidikan, Bloom mengungkapkan tiga kawasan (*domain*) perilaku individu beserta sub kawasan dari masing-masing kawasan, yakni : (1) kawasan kognitif; (2) kawasan afektif; dan (3) kawasan psikomotor. Taksonomi perilaku di atas menjadi rujukan penting dalam proses pendidikan, terutama kaitannya dengan usaha dan hasil pendidikan. Segenap usaha pendidikan seyogyanya diarahkan untuk terjadinya perubahan perilaku peserta didik secara menyeluruh, dengan mencakup semua kawasan perilaku. Dengan merujuk pada tulisan Gulo (2005), di bawah ini akan diuraikan ketiga kawasan tersebut beserta sub-kawasannya.

##### **a. Kawasan Kognitif**

Kawasan kognitif yaitu kawasan yang berkaitan aspek-aspek intelektual atau berfikir/nalar terdiri dari :

##### **1) Pengetahuan (*knowledge*)**

Pengetahuan merupakan aspek kognitif yang paling rendah tetapi paling mendasar. Dengan pengetahuan individu dapat mengenal dan mengingat kembali suatu objek, ide prosedur, konsep, definisi, nama, peristiwa, tahun, daftar, rumus, teori, atau kesimpulan.

Dilihat dari objek yang diketahui (isi) pengetahuan dapat digolongkan sebagai berikut :

- a) Mengetahui sesuatu secara khusus :
- Mengetahui terminologi yaitu berhubungan dengan mengenal atau mengingat kembali istilah atau konsep tertentu yang dinyatakan dalam bentuk simbol, baik berbentuk verbal maupun non verbal.
  - Mengetahui fakta tertentu yaitu mengenal atau mengingat kembali tanggal, peristiwa, orang tempat, sumber informasi, kejadian masa lalu, kebudayaan masyarakat tertentu, dan ciri-ciri yang tampak dari keadaan alam tertentu.
- b) Mengetahui tentang cara untuk memproses atau melakukan sesuatu :
- Mengetahui kebiasaan atau cara menyetengahkan ide atau pengalaman
  - Mengetahui urutan dan kecenderungan yaitu proses, arah dan gerakan suatu gejala atau fenomena pada waktu yang berkaitan.
  - Mengetahui penggolongan atau pengkategorisasian. Mengetahui kelas, kelompok, perangkat atau susunan yang digunakan di dalam bidang tertentu, atau memproses sesuatu.
  - Mengetahui kriteria yang digunakan untuk mengidentifikasi fakta, prinsip, pendapat atau perlakuan.
  - Mengetahui metodologi, yaitu perangkat cara yang digunakan untuk mencari, menemukan atau menyelesaikan masalah.
  - Mengetahui hal-hal yang universal dan abstrak dalam bidang tertentu, yaitu ide, bagan dan pola yang digunakan untuk mengorganisasi suatu fenomena atau pikiran.
  - Mengetahui prinsip dan generalisasi
  - Mengetahui teori dan struktur.

## 2) Pemahaman (*comprehension*)

Pemahaman atau dapat juga disebut dengan istilah mengerti merupakan kegiatan mental intelektual yang mengorganisasikan materi yang telah

diketahui. Temuan-temuan yang didapat dari mengetahui seperti definisi, informasi, peristiwa, fakta disusun kembali dalam struktur kognitif yang ada. Temuan-temuan ini diakomodasikan dan kemudian berasimilasi dengan struktur kognitif yang ada, sehingga membentuk struktur kognitif baru. Tingkatan dalam pemahaman ini meliputi :

- *translasi* yaitu mengubah simbol tertentu menjadi simbol lain tanpa perubahan makna. Misalkan simbol dalam bentuk kata-kata diubah menjadi gambar, bagan atau grafik;
- *interpretasi* yaitu menjelaskan makna yang terdapat dalam simbol, baik dalam bentuk simbol verbal maupun non verbal. Seseorang dapat dikatakan telah dapat menginterpretasikan tentang suatu konsep atau prinsip tertentu jika dia telah mampu membedakan, memperbandingkan atau mempertentangkannya dengan sesuatu yang lain. Contoh seseorang dapat dikatakan telah mengerti konsep tentang “motivasi kerja” dan dia telah dapat membedakannya dengan konsep tentang “motivasi belajar”; dan
- *Ekstrapolasi*; yaitu melihat kecenderungan, arah atau kelanjutan dari suatu temuan. Misalnya, kepada siswa dihadapkan rangkaian bilangan 2, 3, 5, 7, 11, dengan kemampuan ekstrapolasinya tentu dia akan mengatakan bilangan ke-6 adalah 13 dan ke-7 adalah 19. Untuk bisa seperti itu, terlebih dahulu dicari prinsip apa yang bekerja diantara kelima bilangan itu. Jika ditemukan bahwa kelima bilangan tersebut adalah urutan bilangan prima, maka kelanjutannya dapat dinyatakan berdasarkan prinsip tersebut.

### **3) Penerapan (application)**

Menggunakan pengetahuan untuk memecahkan masalah atau menerapkan pengetahuan dalam kehidupan sehari-hari. Seseorang dikatakan menguasai kemampuan ini jika ia dapat memberi contoh, menggunakan, mengklasifikasikan, memanfaatkan, menyelesaikan dan mengidentifikasi hal-hal yang sama. Contoh, dulu ketika pertama kali diperkenalkan kereta api

kepada petani di Amerika, mereka berusaha untuk memberi nama yang cocok bagi alat angkutan tersebut. Satu-satunya alat transportasi yang sudah dikenal pada waktu itu adalah kuda. Bagi mereka, ingat kuda ingat transportasi. Dengan pemahaman demikian, maka mereka memberi nama pada kereta api tersebut dengan iron horse (kuda besi). Hal ini menunjukkan bagaimana mereka menerapkan konsep terhadap sebuah temuan baru.

#### 4) Penguraian (*analysis*)

Menentukan bagian-bagian dari suatu masalah dan menunjukkan hubungan antar-bagian tersebut, melihat penyebab-penyebab dari suatu peristiwa atau memberi argumen-argumen yang menyokong suatu pernyataan.

Secara rinci Bloom mengemukakan tiga jenis kemampuan analisis, yaitu :

##### a) Menganalisis unsur :

- Kemampuan melihat asumsi-asumsi yang tidak dinyatakan secara eksplisit pada suatu pernyataan
- Kemampuan untuk membedakan fakta dengan hipotesa.
- Kemampuan untuk membedakan pernyataan faktual dengan pernyataan normatif.
- Kemampuan untuk mengidentifikasi motif-motif dan membedakan mekanisme perilaku antara individu dan kelompok.
- Kemampuan untuk memisahkan kesimpulan dari pernyataan-pernyataan yang mendukungnya.

##### b) Menganalisis hubungan

- Kemampuan untuk melihat secara komprehensif interrelasi antar ide dengan ide.
- Kemampuan untuk mengenal unsur-unsur khusus yang membenarkan suatu pernyataan.
- Kemampuan untuk mengenal fakta atau asumsi yang esensial yang mendasari suatu pendapat atau tesis atau argumen-argumen yang mendukungnya.

- Kemampuan untuk memastikan konsistensinya hipotesis dengan informasi atau asumsi yang ada.
  - Kemampuan untuk menganalisis hubungan di antara pernyataan dan argumen guna membedakan mana pernyataan yang relevan mana yang tidak.
  - Kemampuan untuk mendeteksi hal-hal yang tidak logis di dalam suatu argumen.
  - Kemampuan untuk mengenal hubungan kausal dan unsur-unsur yang penting dan yang tidak penting di dalam perhitungan historis.
- c) Menganalisis prinsip-prinsip organisasi
- Kemampuan untuk menguraikan antara bahan dan alat
  - Kemampuan untuk mengenal bentuk dan pola karya seni dalam rangka memahami maknanya.
  - Kemampuan untuk mengetahui maksud dari pengarang suatu karya tulis, sudut pandang atau ciri berfikirnya dan perasaan yang dapat diperoleh dalam karyanya.
  - Kemampuan untuk melihat teknik yang digunakan dalam menyusun suatu materi yang bersifat persuasif seperti advertensi dan propaganda.

#### 5) Memadukan (*synthesis*)

Menggabungkan, meramu, atau merangkai berbagai informasi menjadi satu kesimpulan atau menjadi suatu hal yang baru. Kemampuan berfikir induktif dan konvergen merupakan ciri kemampuan ini. Contoh: memilih nada dan irama dan kemudian menggabungkannya sehingga menjadi gubahan musik yang baru, memberi nama yang sesuai bagi suatu temuan baru, menciptakan logo organisasi.

#### 6) Penilaian (*evaluation*)

Mempertimbangkan, menilai dan mengambil keputusan benar-salah, baik-buruk, atau bermanfaat – tak bermanfaat berdasarkan kriteria-kriteria

tertentu baik kualitatif maupun kuantitatif. Terdapat dua kriteria pembenaran yang digunakan, yaitu :

- Pembenaran berdasarkan kriteria internal; yang dilakukan dengan memperhatikan konsistensi atau kecermatan susunan secara logis unsur-unsur yang ada di dalam objek yang diamati.
- Pembenaran berdasarkan kriteria eksternal; yang dilakukan berdasarkan kriteria-kriteria yang bersumber di luar objek yang diamati., misalnya kesesuaiannya dengan aspirasi umum atau kecocokannya dengan kebutuhan pemakai.

**b. Kawasan Afektif**

Kawasan afektif yaitu kawasan yang berkaitan aspek-aspek emosional, seperti perasaan, minat, sikap, kepatuhan terhadap moral dan sebagainya, terdiri dari :

**1) Penerimaan (*receiving/attending*)**

Kawasan penerimaan diperinci ke dalam tiga tahap, yaitu :

- Kesiapan untuk menerima (*awareness*), yaitu adanya kesiapan untuk berinteraksi dengan stimulus (fenomena atau objek yang akan dipelajari), yang ditandai dengan kehadiran dan usaha untuk memberi perhatian pada stimulus yang bersangkutan.
- Kemauan untuk menerima (*willingness to receive*), yaitu usaha untuk mengalokasikan perhatian pada stimulus yang bersangkutan.
- Mengkhususkan perhatian (*controlled or selected attention*). Mungkin perhatian itu hanya tertuju pada warna, suara atau kata-kata tertentu saja.

**2) Sambutan (*responding*)**

Mengadakan aksi terhadap stimulus, yang meliputi proses sebagai berikut :

- Kesiapan menanggapi (*acquiescence of responding*). Contoh : mengajukan pertanyaan, menempelkan gambar dari tokoh yang disenangi pada tembok kamar yang bersangkutan, atau mentaati peraturan lalu lintas.

- Kemauan menanggapi (*willingness to respond*), yaitu usaha untuk melihat hal-hal khusus di dalam bagian yang diperhatikan. Misalnya pada desain atau warna saja.
- Kepuasan menanggapi (*satisfaction in response*), yaitu adanya aksi atau kegiatan yang berhubungan dengan usaha untuk memuaskan keinginan mengetahui. Contoh kegiatan yang tampak dari kepuasan menanggapi ini adalah bertanya, membuat coretan atau gambar, memotret dari objek yang menjadi pusat perhatiannya, dan sebagainya.

### 3) Penilaian (*valuimg*)

Pada tahap ini sudah mulai timbul proses internalisasi untuk memiliki dan menghayati nilai dari stimulus yang dihadapi. Penilaian terbagi atas empat tahap sebagai berikut :

- Menerima nilai (*acceptance of value*), yaitu kelanjutan dari usaha memuaskan diri untuk menanggapi secara lebih intensif.
- Menyeleksi nilai yang lebih disenangi (*preference for a value*) yang dinyatakan dalam usaha untuk mencari contoh yang dapat memuaskan perilaku menikmati, misalnya lukisan yang memiliki yang memuaskan.
- Komitmen yaitu kesetujuan terhadap suatu nilai dengan alasan-alasan tertentu yang muncul dari rangkaian pengalaman.
- Komitmen ini dinyatakan dengan rasa senang, kagum, terpesona. Kagum atas keberanian seseorang, menunjukkan komitmen terhadap nilai keberanian yang diharganya.

### 4) Pengorganisasian (*organization*)

Pada tahap ini yang bersangkutan tidak hanya menginternalisasi satu nilai tertentu seperti pada tahap komitmen, tetapi mulai melihat beberapa nilai yang relevan untuk disusun menjadi satu sistem nilai. Proses ini terjadi dalam dua tahapan, yakni :

- Konseptualisasi nilai, yaitu keinginan untuk menilai hasil karya orang lain, atau menemukan asumsi-asumsi yang mendasari suatu moral atau kebiasaan.

- Pengorganisasian sistem nilai, yaitu menyusun perangkat nilai dalam suatu sistem berdasarkan tingkat preferensinya. Dalam sistem nilai ini yang bersangkutan menempatkan nilai yang paling disukai pada tingkat yang amat penting, menyusul kemudian nilai yang dirasakan agak penting, dan seterusnya menurut urutan kepentingan. atau kesenangan dari diri yang bersangkutan.

#### 5) Karakterisasi (*characterization*)

Karakterisasi yaitu kemampuan untuk menghayati atau mempribadikan sistem nilai Kalau pada tahap pengorganisasian di atas sistem nilai sudah dapat disusun, maka susunan itu belum konsisten di dalam diri yang bersangkutan. Artinya mudah berubah-ubah sesuai situasi yang dihadapi. Pada tahap karakterisasi, sistem itu selalu konsisten. Proses ini terdiri atas dua tahap, yaitu :

- Generalisasi, yaitu kemampuan untuk melihat suatu masalah dari suatu sudut pandang tertentu.
- Karakterisasi, yaitu mengembangkan pandangan hidup tertentu yang memberi corak tersendiri pada kepribadian diri yang bersangkutan.

#### c. Kawasan Psikomotor

Kawasan psikomotor yaitu kawasan yang berkaitan dengan aspek-aspek keterampilan yang melibatkan fungsi sistem syaraf dan otot (*neuronmuscular system*) dan fungsi psikis. Kawasan ini terdiri dari : (a) kesiapan (*set*); (b) peniruan (*imitation*); (c) membiasakan (*habitual*); (d) menyesuaikan (*adaptation*) dan (e) menciptakan (*origination*).

- Kesiapan yaitu berhubungan dengan kesiediaan untuk melatih diri tentang keterampilan tertentu yang dinyatakan dengan usaha untuk melaporkan kehadirannya, mempersiapkan alat, menyesuaikan diri dengan situasi, menjawab pertanyaan.
- Meniru adalah kemampuan untuk melakukan sesuai dengan contoh yang diamatinya walaupun belum mengerti hakikat atau makna dari keterampilan

itu. Seperti anak yang baru belajar bahasa meniru kata-kata orang tanpa mengerti artinya.

- Membiasakan yaitu seseorang dapat melakukan suatu keterampilan tanpa harus melihat contoh, sekalipun ia belum dapat mengubah polanya.
- Adaptasi yaitu seseorang sudah mampu melakukan modifikasi untuk disesuaikan dengan kebutuhan atau situasi tempat keterampilan itu dilaksanakan.
- Menciptakan (*origination*) di mana seseorang sudah mampu menciptakan sendiri suatu karya.

Sementara itu, Abin Syamsuddin Makmun (2003) memerinci sub kawasan ini dengan tahapan yang berbeda, yaitu :

- Gerakan refleks (*reflex movements*). Basis semua perilaku bergerak atau respons terhadap stimulus tanpa sadar, misalnya : melompat, menunduk, berjalan, dan sebagainya.
- Gerakan dasar biasa (*Basic fundamental movements*) yaitu gerakan yang muncul tanpa latihan tapi dapat diperhalus melalui praktik, yang terpola dan dapat ditebak.
- Gerakan Persepsi (*Perceptual abilities*) yaitu gerakan sudah lebih meningkat karena dibantu kemampuan perseptual.
- Gerakan fisik (*Physical Abilities*) yaitu gerakan yang menunjukkan daya tahan (*endurance*), kekuatan (*strength*), kelenturan (*flexibility*) dan kegesitan.
- Gerakan terampil (*skilled movements*) yaitu dapat mengontrol berbagai tingkatan gerak secara terampil, tangkas, dan cekatan dalam melakukan gerakan yang sulit dan rumit (kompleks).
- Gerakan indah dan kreatif (*Non-discursive communication*) yaitu mengkomunikasikan perasan melalui gerakan, baik dalam bentuk gerak estetik: gerakan-gerakan terampil yang efisien dan indah maupun gerak kreatif: gerakan-gerakan pada tingkat tertinggi untuk mengkomunikasikan peran.

## k. Teori Konstruktivisme

Pendekatan saintifik penekanannya pada aktifitas siswa untuk membentuk konstruk berpikir, konstruk sikap maupun konstruk perbuatan. Untuk itu perlu dipahami tentang teori konstruktivisme.

Teori konstruktivisme didasari oleh ide-ide Piaget, Bruner, Vygotsky dan lain-lain. Piaget berpendapat bahwa pada dasarnya setiap individu sejak kecil sudah memiliki kemampuan untuk mengkonstruksi pengetahuannya sendiri. Pengetahuan yang dikonstruksi oleh anak sebagai subjek, maka akan menjadi pengetahuan yang bermakna; sedangkan pengetahuan yang hanya diperoleh melalui proses pemberitahuan tidak akan menjadi pengetahuan yang bermakna, pengetahuan tersebut hanya untuk diingat sementara setelah itu dilupakan. Dalam kelas konstruktivis seorang guru tidak mengajarkan kepada anak bagaimana menyelesaikan persoalan, namun mempresentasikan masalah dan mendorong siswa untuk menemukan cara mereka sendiri dalam menyelesaikan permasalahan. Hal ini berarti siswa mengkonstruksi pengetahuannya melalui interaksi dengan objek, fenomena, pengalaman dan lingkungan mereka.

Hal yang sama juga diungkapkan Wood dan Coob, para ahli konstruktivisme mengatakan bahwa ketika siswa mencoba menyelesaikan tugas-tugas di kelas, maka pengetahuan matematika dikonstruksi secara aktif, dan mereka setuju bahwa belajar matematika melibatkan manipulasi aktif dari pemaknaan bukan hanya bilangan dan rumus-rumus saja. Mereka menolak paham bahwa matematika dipelajari dalam satu koleksi yang berpola linear. Setiap tahap dari pembelajaran melibatkan suatu proses penelitian terhadap makna dan penyampaian keterampilan hafalan dengan cara yang tidak ada jaminan bahwa siswa akan menggunakan keterampilan inteligennya dalam *setting* matematika.

Beberapa prinsip pembelajaran dengan konstruktivisme diantaranya dikemukakan oleh Steffe dan Kieren yaitu observasi dan mendengar aktifitas dan pembicaraan matematika siswa adalah sumber yang kuat dan petunjuk untuk mengajar. Lebih jauh dikatakan bahwa dalam konstruktivisme aktivitas matematika mungkin diwujudkan

melalui tantangan masalah, kerja dalam kelompok kecil dan diskusi kelas. Disebutkan pula bahwa dalam konstruktivisme proses pembelajaran senantiasa “*problem centered approach*”, dimana guru dan siswa terikat dalam pembicaraan yang memiliki makna matematika.

Dari prinsip di atas terlihat bahwa ide pokok dari teori konstruktivisme adalah siswa aktif membangun pengetahuannya sendiri. Dalam hal ini guru berfungsi sebagai fasilitator. Belajar menurut paham konstruktivisme adalah mengkonstruksi pengetahuan yang dilakukan baik secara individu maupun secara sosial. Sedangkan mengajar bukanlah memindahkan pengetahuan guru kepada siswa, melainkan suatu kegiatan yang memungkinkan siswa membangun sendiri pengetahuan, dengan menginkuiri suatu permasalahan dan kemudian memecahkan permasalahan.

Pembelajaran dengan pendekatan inkuiri merupakan salah satu pendekatan konstruktivisme dapat diterapkan antara lain dalam pembelajaran kooperatif, dimana siswa diberi kesempatan untuk berinteraksi secara sosial dan berkomunikasi dengan sesamanya untuk mencapai tujuan pembelajaran dan guru bertindak sebagai fasilitator dan motivator.

#### I. Pendekatan Pembelajaran Teacher Centered Dan Student Centered

Pendekatan saintifik mengacu pada pembelajaran berpusat pada siswa. Namun bukan berarti *teacher centered* itu hal yang kurang baik, tapi hanya porsi yang dikurangi sehingga yang aktif adalah siswa.

Perbedaan mendasar antara *student centered learning* dengan *teacher centered* terlihat jelas pada orientasinya. Orientasi strategi *student centered learning* lebih menekankan pada terjadinya kegiatan belajar oleh siswa, atau berorientasi pada pembelajaran (*learning oriented*), sedangkan strategi *teacher centered* lebih berorientasi pada konten (*content oriented*). Dengan kata lain, pada *student centered learning*, mengajar tidak lagi difahami sebagai proses untuk mentransfer informasi, akan tetapi sebagai wahana untuk memfasilitasi terjadinya pembelajaran. Paradigma pembelajaran (SCL), guru hanya sebagai fasilitator dan motivator dengan menyediakan beberapa strategi belajar yang memungkinkan siswa (bersama guru)

memilih, menemukan dan menyusun pengetahuan serta cara mengembangkan ketrampilannya (*method of inquiry and discovery*). Pada SCL, ilmu pengetahuan tidak lagi dianggap statik tetapi dinamis dimana peserta didik secara aktif mengembangkan ketrampilan dan pengetahuannya artinya siswa secara aktif menerima pengetahuan tidak lagi pasif. Dengan demikian sangat mungkin nantinya siswa didik menjadi lebih pintar dari gurunya (tidak seperti film silat jaman dahulu dimana murid selalu kalah dari gurunya) apabila sang guru tidak aktif mengembangkan pengetahuannya. SCL tidak melupakan peran guru, dalam SCL guru masih memiliki peran seperti berikut :

1. Bertindak sebagai fasilitator dan motivator dalam proses pembelajaran.
2. Mengkaji kompetensi mata pelajaran yang perlu dikuasai siswa di akhir pembelajaran
3. Merancang strategi dan lingkungan pembelajaran dengan menyediakan berbagai pengalaman belajar yang diperlukan siswa dalam rangka mencapai kompetensi yang dibebankan pada mata pelajaran yang diampu.
4. Membantu siswa mengakses informasi, menata dan memprosesnya untuk dimanfaatkan dalam memecahkan permasalahan nyata.
5. Mengidentifikasi dan menentukan pola penilaian hasil belajar siswa yang relevan dengan kompetensinya.

Sementara itu, peran yang harus dilakukan siswa dalam pembelajaran SCL adalah: 1) Mengkaji kompetensi mata pelajaran yang dipaparkan guru 2) Mengkaji strategi pembelajaran yang ditawarkan guru 3) Membuat rencana pembelajaran untuk mata pelajaran yang diikutinya 4) Belajar secara aktif (dengan cara mendengar, membaca, menulis, diskusi, dan terlibat dalam pemecahan masalah serta lebih penting lagi terlibat dalam kegiatan berfikir. 5) tingkat tinggi seperti analisis, sintesis dan evaluasi), baik secara individu maupun berkelompok. 6) Mengoptimalkan kemampuan dirinya.

Sedangkan Pada TCL, peran siswa untuk aktif dalam pembelajaran menjadi terbatas. Perbaikan dari metode ini biasa ya berupa diskusi tanya jawab tetapi dengan tetap mengedepankan peran guru dalam pendidikan dan pelatihan. Dalam bahasa lain, ilmu pengetahuan dianggap sudah jadi dan guru disini dikatakan melakukan *transfer of knowledge*.

### m. Teacher Centered Learning (TCL)

Menurut Smith dalam Sanjaya yang dikutip ulang oleh Parwati bahwa *Teacher Centered Teaching (TCL)* adalah suatu pendekatan belajar yang berdasar pada pandangan bahwa mengajar adalah menanamkan pengetahuan dan keterampilan. Selanjutnya Parwati menegaskan Cara pandang ini memiliki beberapa ciri sebagai berikut:

- a. Memakai pendekatan berpusat pada guru, yakni gurulah yang harus menjadi pusat dalam pembelajaran.
- b. Siswa ditempatkan sebagai objek belajar. Siswa dianggap sebagai organisme yang pasif, sebagai penerima informasi yang diberikan guru.
- c. Kegiatan pembelajaran terjadi pada tempat dan waktu tertentu. Siswa hanya belajar manakala ada kelas yang telah didesain sedemikian rupa sebagai tempat belajar.

Tujuan utama pembelajaran adalah penguasaan materi pelajaran. Keberhasilan suatu proses pengajaran diukur dari sejauh mana siswa dapat menguasai materi pelajaran yang disampaikan guru. Di Indonesia sistem pembelajaran pada hampir semua sekolah masih bersifat satu arah, karena yang ingin dicapai adalah bagaimana guru bisa mengajar dengan baik sehingga yang terjadi adalah hanya transfer pengetahuan. Modifikasi model pembelajaran *TCL* telah banyak dilakukan, antara lain mengkombinasikan *lecturing* (ceramah) dengan Tanya jawab dan pemberian tugas namun hasil yang dihasilkan masih dianggap belum optimal.

Dampak dari sistem pembelajaran *TCL* adalah guru kurang mengembangkan bahan pembelajaran dan cenderung seadanya (monoton). Guru mulai tampak tergerak untuk mengembangkan bahan pembelajaran dengan banyak membaca jurnal atau *download* artikel hasil-hasil penelitian terbaru dari internet, jika siswanya mempunyai kreativitas tinggi, banyak bertanya, atau sering mengajak diskusi.

### n. Student Centered Learning (SCL)

Menurut Harsono, *Student Centered Learning* merupakan pendekatan dalam pembelajaran yang memfasilitasi pembelajar untuk terlibat dalam proses *Experiential*

*Learning* (pengalaman belajar). Model pembelajaran *SCL* pada saat ini diusulkan menjadi model pembelajaran yang sebaiknya digunakan karena memiliki beberapa keunggulan:

- a. Peserta didik dapat merasakan bahwa pembelajaran menjadi miliknya sendiri, karena diberi kesempatan yang luas untuk berpartisipasi.
- b. Peserta didik memiliki motivasi yang kuat untuk mengikuti kegiatan pembelajaran.
- c. Tumbuhnya suasana demokratis dalam pembelajaran, sehingga terjadi dialog dan diskusi untuk saling belajar membelajarkan di antara siswa.
- d. Menambah wawasan pikiran dan pengetahuan bagi guru karena sesuatu yang dialami dan disampaikan belum diketahui sebelumnya oleh guru.

Keunggulan-keunggulan yang dimiliki model pembelajaran *SCL* tersebut akan mampu mendukung upaya ke arah pembelajaran yang efektif dan efisien. Pada sistem pembelajaran *SCL* siswa dituntut aktif mengerjakan tugas dan mendiskusikannya dengan guru sebagai fasilitator. Dengan aktifnya siswa, maka kreatifitas siswa akan terpujuk. Kondisi tersebut akan mendorong guru untuk selalu mengembangkan dan menyesuaikan materi pembelajarannya dengan perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK). Dengan demikian guru bukan lagi sebagai sumber belajar utama, melainkan sebagai “mitra belajar”.

#### **o. Penerapan SCL pada Pembelajaran**

Penerapan *SCL* dapat diartikan sebagai kegiatan yang terprogram dalam desain *FEE* (*Facilitating, Empowering, Enabling*), untuk siswa belajar secara aktif yang menekankan pada sumber belajar. Dengan demikian, pembelajaran merupakan proses pengembangan kreativitas berpikir yang dapat meningkatkan kemampuan berpikir siswa, serta dapat meningkatkan dan mengkonstruksi pengetahuan baru sebagai upaya meningkatkan penguasaan dan pengembangan yang baik terhadap materi. *SCL* adalah pembelajaran yang berpusat pada aktivitas belajar siswa, bukan hanya pada aktivitas guru mengajar. Hal ini sesuai dengan model

pembelajaran yang terprogram dalam desain *FEE*. Situasi pembelajaran dalam *SCL* diantaranya memiliki ciri-ciri:

- a. Siswa belajar baik secara individu maupun berkelompok untuk membangun pengetahuan.
- b. Guru lebih berperan sebagai *FEE* dan *guides on the sides* daripada sebagai *mentor in the centered*.
- c. Siswa tidak sekedar kompeten dalam bidang ilmu, akan tetapi kompeten dalam belajar.
- d. Belajar menjadi kegiatan komunitas yang difasilitasi oleh guru, yang mampu mengelola pembelajarannya menjadi berorientasi pada siswa.
- e. Belajar lebih dimaknai sebagai belajar sepanjang hayat (*life long learning*), suatu keterampilan yang dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari.
- f. Belajar termasuk memanfaatkan teknologi yang tersedia.

Selanjutnya Hadi mengatakan bahwa Sebuah sekolah yang menerapkan metode pembelajaran dengan model *SCL* mempunyai beberapa karakteristik yang dapat dijumpai, antara lain: (a) Adanya berbagai aktivitas dan tempat belajar, (b) Display hasil karya siswa, (c) Tersedia banyak materi dan fasilitas belajar, (d) Tersedia banyak tempat yang nyaman untuk berdiskusi, (e) Terjadi kelompok-kelompok dan interaksi multiangkatan atau kelas, (f) Ada keterlibatan masyarakat, (g) Jam buka perpustakaan fleksibel.

Menurut Ramdhani yang dikutip oleh Kurdi, dalam proses pembelajaran model *SCL* guru memiliki peran yang penting dalam pelaksanaan model ini yang meliputi bertindak sebagai fasilitator dalam proses pembelajaran, mengkaji kompetensi mata pelajaran yang perlu dikuasai oleh siswa di akhir pembelajaran, dan lain lain.

#### **p. Perlunya Memiliki High Order Thinking Skill**

Berpikir adalah aktifitas mencurahkan daya pikir untuk maksud tertentu. Berpikir adalah identitas yang memisahkan status kemanusiaan manusia dengan lainnya. Karenanya sejauhmana manusia pantas disebut manusia dapat dibedakan dengan

sejauhmana pula ia menggunakan pikirannya. *Al-Insan huwa al-Hayawanun Nathiq*. Dalam dunia pendidikan berpikir merupakan bagian dari ranah kognitif, dimana dalam hirarki Bloom terdiri dari tingkatan-tingkatan. Bloom mengkategorikan ranah kognitif ke dalam enam tingkatan: (1) pengetahuan (*knowledge*); (2) pemahaman (*comprehension*); (3) penerapan (*application*); (4) menganalisis (*analysis*); (5) mensintesis (*synthesis*); dan (6) menilai (*evaluation*). Keenam tingkatan ini merupakan rangkaian tingkatan berpikir manusia. Berdasarkan tingkatan tersebut, maka dapat diketahui bahwa berpikir untuk mengetahui merupakan tingkatan berpikir yang paling bawah (*lower*) sedangkan tingkatan berpikir paling tertinggi (*higher*) adalah menilai.

Merujuk definisi dalam Wikipedia Indonesia, berpikir tingkat tinggi adalah: *a concept of Education reform based on learning taxonomies such as Bloom's Taxonomy. The idea is that some types of learning require more cognitive processing than others, but also have more generalized benefits. In Bloom's taxonomy, for example, skills involving analysis, evaluation and synthesis (creation of new knowledge) are thought to be of a higher order, requiring different learning and teaching methods, than the learning of facts and concepts. Higher order thinking involves the learning of complex judgmental skills such as critical thinking and problem solving. Higher order thinking is more difficult to learn or teach but also more valuable because such skills are more likely to be usable in novel situations (i.e., situations other than those in which the skill was learned).*

Dari definisi tersebut maka dapat diketahui bahwa berpikir tingkat tinggi membutuhkan berbagai langkah-langkah pembelajaran dan pengajaran yang berbeda dengan hanya sekedar mempelajari fakta dan konsep semata. Dalam berpikir tingkat tinggi meliputi aktivitas pembelajaran terhadap keterampilan dalam memutuskan hal-hal yang bersifat kompleks semisal berpikir kritis dan berpikir dalam memecahkan masalah. Meski memang berpikir tingkat tinggi sulit untuk dipelajari dan diajarkan, namun kegunaannya sudah tidak diragukan lagi.

Alice Thomas dan Glenda menyatakan bahwa berpikir tingkat tinggi adalah berpikir pada tingkat lebih tinggi daripada sekedar menghafalkan fakta atau mengatakan

sesuatu kepada seseorang persis seperti sesuatu itu diceritakan kepada kita. Pada saat seseorang menghafalkan dan menyampaikan kembali informasi tersebut tanpa harus memikirkannya, disebut memori hafalan (*rote memory*). Orang tersebut tak berbeda dengan robot, bahkan ia melakukan apapun yang diprogram dilakukannya, sehingga ia juga tidak dapat berpikir untuk dirinya sendiri. Berpikir tingkat tinggi secara singkat dapat dikatakan sebagai pencapaian berpikir kepada pemikiran tingkat tinggi dari sekedar pengulangan fakta-fakta. Berpikir tingkat tinggi mengharuskan kita melakukan sesuatu atas fakta-fakta. Kita harus memahaminya, menghubungkan satu sama lainnya, mengkategorikan, memanipulasi, menempatkannya bersama-sama dengan cara-cara baru, dan menerapkannya dalam mencari solusi baru terhadap persoalan-persoalan baru.

Bagi sebagian orang berpikir tingkat tinggi dapat dilakukan dengan mudahnya, tetapi bagi orang lain belum tentu dapat dilakukan. Meski demikian bukan berarti berpikir tingkat tinggi tidak dapat dipelajari. Alison menyatakan bahwa seperti halnya keterampilan pada umumnya, berpikir tingkat tinggi dapat dipelajari oleh setiap orang. Lebih lanjut ia menyatakan bahwa berpikir tingkat tinggi dalam praktiknya bahwa keterampilan berpikir tingkat tinggi baik pada anak-anak maupun orang dewasa dapat berkembang. Langkah paling awal yang dapat dilakukan adalah dengan mengenal dan mempelajari apa “berpikir tingkat tinggi itu?”

Berkenaan dengan berpikir tingkat tinggi, ada beberapa fakta singkat yang perlu ketahui sebagai berikut.

1. Tidak ada seorang di dunia ini yang mampu berpikir sempurna sama seperti halnya tak ada seorangpun yang memiliki kekuatan berpikir yang buruk sepanjang waktunya.
2. Keterampilan seseorang dalam menggunakan daya pikir sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor dan kondisi. Dengan demikian orang yang dipandang pandai dan pintar mungkin saja dapat berpikir lebih buruk daripada orang yang paling bodoh tetapi berada pada tempat yang cocok.

Fakta ini juga menunjukkan bahwa di dunia ini tidak ada orang yang benar-benar paling pintar dan tidak ada orang yang bodoh sama sekali. Menghafal sesuatu tidak sama dengan memikirkan sesuatu. Menghapalkan merupakan aktifitas dalam merekam sesuatu apa adanya, tak kurang dan tak lebih. Sedangkan memikirkan sesuatu berarti mempergunakan daya pikirnya dalam rangka mengetahui, memahami, membandingkan, menerapkan dan menilai sesuatu tersebut. Dalam menghafal aktivitas pikir bersifat lebih sederhana dibandingkan dengan memikirkan. Mengingat pacar tentu berbeda dengan memikirkan pacar! Kita dapat mengingat sesuatu dengan tanpa memahaminya. Salah satu kelebihan manusia adalah kemampuan manusia dalam merekam apapun yang didengar, dilihat dan dirasakannya apalagi pada saat proses perekaman tersebut terdapat kesan yang memperkuat, meski kadang apa yang kita dengar, kita lihat dan kita rasakan itu tidak pernah kita mengerti. Misalnya ketika anak TK diwajibkan menghafalkan satu persatu butir-butir Pancasila, mereka mampu menghafalnya dengan fasih meski kadang tidak tahu artinya. Seperti mimpi, kita merasakan apa yang terjadi dalam mimpi seolah-olah nyata meski kadang kita sendiri tidak pernah dapat memahaminya. Berpikir dilakukan dalam dua bentuk: kata dan gambar. Kata maupun gambar adalah simbol-simbol yang mendorong otak manusia untuk mengingat dan menyelami maknanya dalam kegiatan berpikir. Kata merupakan simbol dari apa yang kita dengar dan kita baca, sedangkan gambar merepresentasikan dari apa yang kita lihat dan kita bayangkan. Ada tiga jenis utama intelijen dan kemampuan berpikir: analitis, kreatif dan praktis. Berpikir analisis disebut juga berpikir kritis. Ciri khusus berpikir analisis adalah melibatkan proses berpikir logis dan penalaran termasuk keterampilan seperti perbandingan, klasifikasi, pengurutan, penyebab/efek, pola, anyaman, analogi, penalaran deduktif dan induktif, peramalan, perencanaan, hypothesizing, dan critiquing. Berpikir kreatif adalah proses berpikir yang melibatkan menciptakan sesuatu yang baru atau asli. Ini melibatkan keterampilan fleksibilitas, orisinalitas, kefasihan, elaborasi, brainstorming, modifikasi, citra, pemikiran asosiatif, atribut daftar, berpikir metaforis, membuat hubungan. Tujuan dari berpikir kreatif adalah merangsang rasa ingin tahu dan menampakkan perbedaan. Inti dari berpikir praktis,

sebagaimana dikemukakan Edward De Bono adalah bagaimana pikiran itu bekerja, bukan bagaimana seorang filosof berpikir bahwa sesuatu itu dapat bekerja. Ketiga kecerdasan dan cara berpikir (analitic, kreatif dan praktis) berguna dalam kehidupan sehari-hari. Dalam kenyataannya kita terpaksa terhadap salah satu cara berpikir saja. Dalam kondisi dan keadaan tertentu, kita lebih banyak menggunakan cara berpikir analitis ketimbang lainnya. Dalam kondisi lainnya berpikir kreatif lebih dituntut oleh kita, sedangkan dalam kondisi tertentu pula kita lebih memilih untuk berpikir secara praktis. Kita dapat meningkatkan kemampuan berpikir dengan cara memahami proses-proses yang melibatkan kegiatan berpikir. Dengan membiasakan diri dalam kegiatan-kegiatan yang membutuhkan aktivitas berpikir, otak kita akan terdidik dan terbiasa untuk berpikir. Dengan kebiasaan ini, maka akan menghasilkan peningkatan kemampuan kita dalam berpikir. Orang yang lebih cenderung menggunakan otak ketimbang otak, tentu peningkatan kemampuan berpikirnya akan lambat disbanding mereka yang kehidupan sehari-harinya selalu membutuhkan proses berpikir. Berpikir metakognisi merupakan bagian dari berpikir tingkat tinggi. Metakognisi didefinisikan "*cognition about cognition*" atau "*knowing about knowing*". Dalam kata lain, meta cognition dapat diartikan "*learning about learning*" (belajar tentang belajar). Metakognisi dapat terdiri dari banyak bentuk, tetapi juga mencakup pengetahuan tentang kapan dan bagaimana menggunakan strategi-strategi khusus untuk belajar atau untuk pemecahan masalah. Selain metakognisi terdapat istilah lain yang hamper sama, yaitu metamemory yang didefinisikan sebagai "*knowing about memory*" dan "*memoric strategy*", ia merupakan bentuk penting dari metakognisi.

## Bahan Bacaan 2 :

### a. Pengertian Pendekatan Saintifik

Proses pembelajaran merupakan suatu proses yang mengandung serangkaian kegiatan mulai dari perencanaan, pelaksanaan hingga penilaian. Pembelajaran adalah proses interaksi antar peserta didik dan antara peserta didik dengan pendidik dan sumber belajar pada suatu lingkungan belajar yang berlangsung secara edukatif, agar peserta didik dapat membangun sikap, pengetahuan dan keterampilannya untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Pembelajaran dengan pendekatan saintifik adalah pembelajaran yang terdiri atas kegiatan mengamati (untuk mengidentifikasi hal-hal yang ingin diketahui), merumuskan pertanyaan (dan merumuskan hipotesis),



mencoba/mengumpulkan data (informasi) dengan berbagai teknik, mengasosiasi/menganalisis/mengolah data (informasi) dan menarik kesimpulan serta mengkomunikasikan hasil yang terdiri dari kesimpulan untuk memperoleh pengetahuan, keterampilan dan sikap. Langkah-langkah tersebut dapat dilanjutkan dengan kegiatan mencipta.

Kurikulum 2013 mengembangkan sikap spiritual, sikap sosial, pengetahuan, dan keterampilan peserta didik. (Permendikbud Nomor 54/2013) Bagaimana Kurikulum

2013 memfasilitasi peserta didik memperoleh nilai-nilai, pengetahuan, dan keterampilan secara berimbang?, bagaimana proses pembelajaran dilaksanakan?

Proses pembelajaran mengacu pada prinsip-prinsip sebagai berikut:

- Dari peserta didik diberi tahu menuju peserta didik mencari tahu;
- Dari guru sebagai satu-satunya sumber belajar menjadi belajar berbasis aneka sumber belajar;
- Dari pendekatan tekstual menuju proses sebagai penguatan penggunaan pendekatan ilmiah;
- Dari pembelajaran berbasis konten menuju pembelajaran berbasis kompetensi;
- Dari pembelajaran yang menekankan jawaban tunggal menuju pembelajaran dengan jawaban yang kebenarannya multi dimensi;
- Dari pembelajaran verbalisme menuju keterampilan aplikatif;
- Peningkatan dan keseimbangan antara keterampilan fisikal (*hardskills*) dan keterampilan mental (*softskills*);
- Pembelajaran yang mengutamakan pembudayaan dan pemberdayaan peserta didik sebagai pembelajar sepanjang hayat;
- Pembelajaran yang menerapkan nilai-nilai dengan memberi keteladanan (*ing ngarso sung tulodo*), membangun kemauan (*ing madyo mangun karso*), dan mengembangkan kreativitas peserta didik dalam proses pembelajaran (*tut wuri handayani*);
- Pembelajaran yang berlangsung di rumah, di sekolah, dan di masyarakat;
- Pembelajaran yang menerapkan prinsip bahwa siapa saja adalah guru, siapa saja adalah siswa, dan di mana saja adalah kelas.
- Pemanfaatan teknologi informasi dan komunikasi untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pembelajaran; dan
- Pengakuan atas perbedaan individual dan latar belakang budaya peserta didik.
- peserta didik difasilitasi untuk mencari tahu;
- peserta didik belajar dari berbagai sumber belajar;
- proses pembelajaran menggunakan pendekatan ilmiah;
- pembelajaran berbasis kompetensi;

- pembelajaran terpadu;
- pembelajaran yang menekankan pada jawaban divergen yang memiliki kebenaran multi dimensi;
- pembelajaran berbasis keterampilan aplikatif;
- peningkatan keseimbangan, kesinambungan, dan keterkaitan antara *hard-skills* dan *soft-skills*;
- pembelajaran yang mengutamakan pembudayaan dan pemberdayaan peserta didik sebagai pembelajar sepanjang hayat;
- pembelajaran yang menerapkan nilai-nilai dengan memberi keteladanan (Ing Ngarso Sung Tulodo), membangun kemauan (Ing Madyo Mangun Karso), dan mengembangkan kreativitas peserta didik dalam proses pembelajaran (Tut Wuri Handayani);
- pembelajaran yang berlangsung di rumah, di sekolah, dan di masyarakat;
- pemanfaatan teknologi informasi dan komunikasi untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pembelajaran;
- pengakuan atas perbedaan individual dan latar belakang budaya peserta didik; dan
- suasana belajar menyenangkan dan menantang.

Berikut contoh kegiatan belajar dan deskripsi langkah-langkah pendekatan saintifik pada pembelajaran kurikulum 2013 adalah:

- 1) Mengamati: membaca, mendengar, menyimak, melihat (tanpa atau dengan alat) untuk mengidentifikasi hal-hal yang ingin diketahui - Mengamati dengan indra (membaca, mendengar, menyimak, melihat, menonton, dan sebagainya) dengan atau tanpa alat.
- 2) Menanya: mengajukan pertanyaan tentang hal-hal yang tidak dipahami dari apa yang diamati atau pertanyaan untuk mendapatkan informasi tambahan tentang apa yang diamati - Membuat dan mengajukan pertanyaan, tanya jawab, berdiskusi tentang informasi yang belum dipahami, informasi tambahan yang ingin diketahui, atau sebagai klarifikasi.

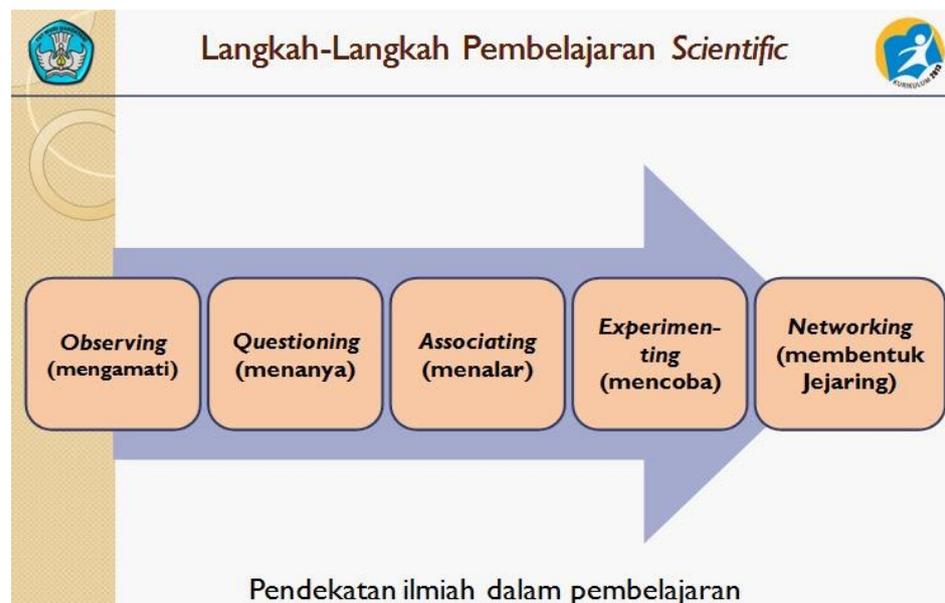
- 3) Mencoba/mengumpulkan data (informasi): melakukan eksperimen, membaca sumber lain dan buku teks, mengamati objek/kejadian/aktivitas, wawancara dengan narasumber - Mengeksplorasi, mencoba, berdiskusi, mendemonstrasikan, meniru bentuk/gerak, melakukan eksperimen, membaca sumber lain selain buku teks, mengumpulkan data dari nara sumber melalui angket, wawancara, dan memodifikasi/ menambahi/mengembangkan.
- 4) Mengasosiasikan/mengolah informasi: siswa mengolah informasi yang sudah dikumpulkan baik terbatas dari hasil kegiatan mengumpulkan/eksperimen maupun hasil dari kegiatan mengamati dan kegiatan mengumpulkan informasi - mengolah informasi yang sudah dikumpulkan, menganalisis data dalam bentuk membuat kategori, mengasosiasi atau menghubungkan fenomena/informasi yang terkait dalam rangka menemukan suatu pola, dan menyimpulkan.
- 5) Mengkomunikasikan: siswa menyampaikan hasil pengamatan, kesimpulan berdasarkan hasil analisis secara lisan, tertulis, atau media lainnya - menyajikan laporan dalam bentuk bagan, diagram, atau grafik; menyusun laporan tertulis; dan menyajikan laporan meliputi proses, hasil, dan kesimpulan secara lisan.
- 6) (Dapat dilanjutkan dengan) Mencipta: siswa menginovasi, mencipta, mendisain model, rancangan, produk (karya) berdasarkan pengetahuan yang dipelajari.

#### **b. Langkah-langkah Pendekatan Pembelajaran Saintifik**

Implementasi kurikulum 2013 menuntut penerapan pembelajaran berbasis kreatifitas. Pendekatan pembelajaran berbasis kreatifitas dapat dicapai melalui pendekatan pembelajaran saintifik (5M) secara konsisten. Proses pembelajaran yang mengacu pada pembelajaran berpendekatan saintifik, meliputi lima langkah sebagai berikut:

- a. **Mengamati**, yaitu kegiatan siswa untuk mengidentifikasi melalui indera penglihat (membaca, menyimak), pembau, pendengar, pengecap dan peraba pada waktu mengamati suatu objek dengan ataupun tanpa alat bantu. Alternatif kegiatan mengamati antara lain observasi lingkungan, mengamati gambar, video, tabel dan grafik data, menganalisis peta, membaca berbagai informasi yang tersedia di

media masa dan internet maupun sumber lain. Bentuk hasil belajar dari kegiatan mengamati adalah **siswa dapat mengidentifikasi masalah**.



- b. **Menanya**, yaitu kegiatan siswa untuk mengungkapkan apa yang ingin diketahuinya baik yang berkenaan dengan suatu **objek**, peristiwa, suatu proses tertentu. Dalam kegiatan menanya, siswa membuat pertanyaan secara individu atau kelompok tentang apa yang belum diketahuinya. Siswa dapat mengajukan pertanyaan kepada guru, nara sumber, siswa lainnya dan atau kepada diri sendiri dengan bimbingan guru hingga siswa dapat mandiri dan menjadi kebiasaan. Pertanyaan dapat diajukan secara lisan dan tulisan serta harus dapat membangkitkan motivasi siswa untuk tetap aktif dan gembira. Bentuknya dapat berupa kalimat pertanyaan dan kalimat hipotesis. Hasil belajar dari kegiatanmenanya adalah **siswa dapat merumuskan masalah dan merumuskan hipotesis**.

- c. **Mengumpulkan data**, yaitu kegiatan siswa untuk mencari informasi sebagai bahan untuk dianalisis dan disimpulkan. Kegiatan mengumpulkan data dapat dilakukan dengan cara membaca buku, mengumpulkan data sekunder, observasi lapangan, uji coba (eksperimen), wawancara, menyebarkan kuesioner, dan lain-lain. Hasil belajar dari kegiatan mengumpulkan data adalah **siswa dapat menguji hipotesis**.
- d. **Mengasosiasi**, yaitu kegiatan siswa mengolah data dalam bentuk serangkaian aktivitas fisik dan pikiran dengan bantuan peralatan tertentu. Bentuk kegiatan mengolah data antara lain melakukan **klasifikasi**, pengurutan (*sorting*), menghitung, membagi, dan menyusun data dalam bentuk yang lebih informatif, serta menentukan sumber data sehingga lebih bermakna. Kegiatan siswa dalam mengolah data misalnya membuat tabel, grafik, bagan, peta konsep, menghitung, dan pemodelan. Selanjutnya siswa menganalisis data untuk membandingkan ataupun menentukan hubungan antara data yang telah diolahnya dengan teori yang ada sehingga dapat ditarik simpulan dan atau ditemukannya prinsip dan konsep penting yang bermakna dalam menambah skema kognitif, meluaskan pengalaman, dan wawasan pengetahuannya. Hasil belajar dari kegiatan menalar/mengasosiasi adalah **siswa dapat menyimpulkan hasil kajian dari hipotesis**.
- e. **Mengomunikasikan** yaitu kegiatan siswa mendeskripsikan dan menyampaikan hasil temuannya dari kegiatan mengamati, menanya, mengumpulkan dan mengolah data, serta mengasosiasi yang ditujukan kepada orang lain baik secara lisan maupun tulisan dalam bentuk diagram, bagan, gambar, dan sejenisnya dengan bantuan perangkat teknologi sederhana dan atau teknologi informasi dan komunikasi. Hasil belajar dari kegiatan mengkomunikasikan adalah **siswa dapat memformulasikan dan mempertanggungjawabkan pembuktian hipotesis**.

Tabel 1 memperlihatkan kaitan antara langkah pembelajaran saintifik dengan berbagai deskripsi kegiatan belajar serta kompetensi dalam bentuk hasil belajar.

Tabel 1

## Keterkaitan antara Langkah Pembelajaran dengan Kegiatan Belajar Dan Hasilnya

Langkah Pembelajaran	Deskripsi Kegiatan	Bentuk Hasil Belajar
Mengamati ( <i>observing</i> )	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 ( <i>on task</i> ) yang digunakan untuk mengamati.  <b>Kompetensi utama:</b> mengidentifikasi masalah
Menanya ( <i>questioning</i> )	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)  <b>Kompetensi utama:</b> merumuskan masalah, menentukan hipotesis
Mengumpulkan informasi/ mencoba ( <i>experimenting</i> )	Mengeksplorasi, mencoba, berdiskusi, mendemonstrasikan, meniru bentuk/gerak, melakukan eksperimen, membaca sumber lain selain buku teks, mengumpul-kan	Jumlah dan kualitas sumber yang dikaji/digunakan, kelengkapan informasi, validitas informasi yang dikumpulkan, dan instrumen/alat yang digunakan untuk mengumpulkan data.

Langkah Pembelajaran	Deskripsi Kegiatan	Bentuk Hasil Belajar
	data dari nara sumber melalui angket, wawancara, dan memodifikasi/ menambahi/mengembangkan	<b>Kompetensi utama:</b> menguji hipotesis
Menalar/Mengasosiasi ( <i>associating</i> )	Mengolah informasi yang sudah dikumpulkan, menganalisis data dalam bentuk membuat kategori, mengasosiasi atau menghubungkan fenomena/informasi yang terkait dalam rangka menemukan suatu pola, dan menyimpulkan.	<p><b>Mengembangkan</b> interpretasi, argumentasi dan kesimpulan mengenai keterkaitan informasi dari dua fakta/konsep, atau lebih dari dua fakta/konsep/teori.</p> <p><b>Mensintesis</b> dan argumentasi serta kesimpulan keterkaitan antar berbagai jenis fakta-fakta/konsep/teori/pendapat.</p> <p><b>Mengembangkan</b> interpretasi, struktur baru, argumentasi, dan kesimpulan yang menunjukkan hubungan fakta/konsep/teori dari dua sumber atau lebih yang tidak bertentangan.</p> <p><b>Mengembangkan</b> interpretasi, struktur baru, argumentasi dan kesimpulan dari konsep/teori/pendapat yang berbeda dari berbagai jenis sumber.</p> <p><b>Kompetensi utama:</b> menganalisis, membuktikan hipotesis.</p>

Langkah Pembelajaran	Deskripsi Kegiatan	Bentuk Hasil Belajar
Mengomunikasikan ( <i>communicating</i> )	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 <b>Kompetensi utama:</b> memformulasikan dan mempertanggung jawabkan pembuktian hipotesis.

### c. Peran Guru Dengan Pendekatan Saintifik

Dalam implementasi kurikulum 2013, guru tidak hanya sekedar membiarkan peserta didik memperoleh/mengkonstruksi pengetahuan sendiri, namun guru memberi setiap bantuan yang diperlukan oleh peserta didik, seperti : bertindak sebagai fasilitator, mengatur/mengarahkan kegiatan-kegiatan belajar, memberi umpan balik, memberikan penjelasan, memberi konfirmasi, dan lain-lain.

Peran guru dalam pembelajaran dengan pendekatan saintifik pada implementasi kurikulum 2013 adalah sebagai berikut :

1. Tahap mengamati:

Membantu peserta didik menemukan/mendaftar/menginventarisasi apa saja yang ingin/perlu diketahui sehingga dapat melakukan/menciptakan sesuatu.

2. Tahap Menanya:

Membantu peserta didik merumuskan pertanyaan berdasarkan daftar hal-hal yang perlu/ingin diketahui agar dapat melakukan/menciptakan sesuatu.

3. Tahap Mencoba/mengumpulkan data (informasi):

Membantu peserta didik merencanakan dan memperoleh data/informasi untuk menjawab pertanyaan yang telah dirumuskan.

4. Tahap Mengasosiasikan/menganalisis/mengolah data (informasi):

Membantu peserta didik mengolah/menganalisis data/informasi dan menarik kesimpulan.

5. Tahap Mengkomunikasikan:

Manager, pemberi umpan balik, pemberi penguatan, pemberi penjelasan/informasi lebih luas.

6. Tahap Mencipta:

Memberi contoh/gagasan, menyediakan pilihan, memberi dorongan, memberi penghargaan, sebagai anggota yang terlibat langsung.

#### **d. Bentuk Keterlibatan Peserta Didik Dalam Observasi**

Pengamatan atau observasi adalah aktivitas yang dilakukan makhluk cerdas, terhadap suatu proses atau objek dengan maksud merasakan dan kemudian memahami pengetahuan dari sebuah fenomena berdasarkan pengetahuan dan gagasan yang sudah diketahui sebelumnya, untuk mendapatkan informasi-informasi yang dibutuhkan untuk melanjutkan suatu penelitian. Di dalam penelitian, observasi dapat dilakukan dengan tes, kuesioner, rekaman gambar dan rekaman suara.

Metode mengamati / observasi mengutamakan kebermaknaan proses pembelajaran (*meaningfull learning*). Metode ini memiliki keunggulan tertentu, seperti menyajikan media obyek secara nyata, peserta didik senang dan tertantang, dan mudah pelaksanaannya. Dalam pelaksanaannya, proses mengamati memerlukan waktu persiapan yang lama dan matang, biaya dan tenaga relatif banyak, dan jika tidak terkendali akan mengaburkan makna serta tujuan pembelajaran.

Namun metode mengamati sangat bermanfaat bagi pemenuhan rasa ingin tahu peserta didik karena peserta didik yang terlibat dalam proses mengamati akan dapat menemukan fakta bahwa ada hubungan antara obyek yang dianalisis dengan materi pembelajaran yang digunakan oleh guru.

Langkah-Langkah Mengamati / Observasi adalah :

- a. Menentukan objek apa yang akan diobservasi
- b. Membuat pedoman observasi sesuai dengan lingkup objek yang akan diobservasi

- c. Menentukan secara jelas data-data apa yang perlu diobservasi, baik primer maupun sekunder
- d. Menentukan di mana tempat objek yang akan diobservasi
- e. Menentukan secara jelas bagaimana observasi akan dilakukan untuk mengumpulkan data agar berjalan mudah dan lancar
- f. Menentukan cara dan melakukan pencatatan atas hasil observasi , seperti menggunakan buku catatan, kamera, tape recorder, video perekam, dan alat-alat tulis lainnya.

Jenis Observasi, di antaranya:

- a. Observasi biasa (*common observation*).
- b. Observasi terkendali (*controlled observation*).
- c. Observasi partisipatif (*participant observation*).
- d. Menentukan di mana tempat objek yang akan diobservasi
- e. Menentukan secara jelas bagaimana observasi akan dilakukan untuk mengumpulkan data agar berjalan mudah dan lancar
- f. Menentukan cara dan melakukan pencatatan atas hasil observasi , seperti menggunakan buku catatan, kamera, tape recorder, video perekam, dan alat-alat tulis lainnya.

Kegiatan observasi dalam proses pembelajaran meniscayakan keterlibatan peserta didik secara langsung. Dalam kaitan ini, guru harus memahami bentuk keterlibatan peserta didik dalam observasi :

- a. Observasi biasa (*common observation*)  
 Pada observasi biasa untuk kepentingan pembelajaran, peserta didik merupakan subjek yang sepenuhnya melakukan observasi (*complete observer*). Di sini peserta didik sama sekali tidak melibatkan diri dengan pelaku, objek, atau situasi yang diamati.
- b. Observasi terkendali (*controlled observation*)

Seperti halnya observasi biasa, pada observasi terkendali untuk kepentingan pembelajaran, peserta didik sama sekali tidak melibatkan diri dengan pelaku, objek, atau situasi yang diamati. Mereka juga tidak memiliki hubungan apa pun dengan pelaku, objek, atau situasi yang diamati. Namun demikian, berbeda dengan observasi biasa, pada observasi terkendali pelaku atau objek yang diamati ditempatkan pada ruang atau situasi yang dikhususkan. Karena itu, pada pembelajaran dengan observasi terkendali termuat nilai-nilai percobaan atau eksperimen atas diri pelaku atau objek yang diobservasi.

c. Observasi partisipatif (*participant observation*)

Pada observasi partisipatif, peserta didik melibatkan diri secara langsung dengan pelaku atau objek yang diamati. Sejatinya, observasi semacam ini paling lazim dilakukan dalam penelitian antropologi khususnya etnografi. Observasi semacam ini mengharuskan peserta didik melibatkan diri pada pelaku, komunitas, atau objek yang diamati. Di bidang pengajaran bahasa, misalnya, dengan menggunakan pendekatan ini berarti peserta didik hadir dan “bermukim” langsung di tempat subjek atau komunitas tertentu dan pada waktu tertentu pula untuk mempelajari bahasa atau dialek setempat, termasuk melibatkan diri secara langsung dalam situasi kehidupan mereka.

Selama proses pembelajaran, peserta didik dapat melakukan observasi dengan dua cara pelibatan diri. Kedua cara pelibatan dimaksud yaitu observasi berstruktur dan observasi tidak berstruktur, seperti dijelaskan berikut ini :

- a. Observasi berstruktur. Pada observasi berstruktur dalam rangka proses pembelajaran, fenomena subjek, objek, atau situasi apa yang ingin diobservasi oleh peserta didik telah direncanakan oleh secara sistematis di bawah bimbingan guru.
- b. Observasi tidak berstruktur. Pada observasi yang tidak berstruktur dalam rangka proses pembelajaran, tidak ditentukan secara baku atau rijid mengenai apa yang harus diobservasi oleh peserta didik. Dalam kerangka ini, peserta didik membuat

catatan, rekaman, atau mengingat dalam memori secara spontan atas subjek, objektif, atau situasi yang diobservasi.

Prinsip-rinsip yang harus diperhatikan oleh guru dan peserta didik selama observasi pembelajaran adalah :

- a. Cermat, objektif, dan jujur serta terfokus pada objek yang diobservasi untuk kepentingan pembelajaran.
- b. Banyak atau sedikit serta homogenitas atau heterogenitas subjek, objek, atau situasi yang diobservasi. Makin banyak dan heterogen subjek, objek, atau situasi yang diobservasi, makin sulit kegiatan observasi itu dilakukan. Sebelum observasi dilaksanakan, guru dan peserta didik sebaiknya menentukan dan menyepakati cara dan prosedur pengamatan.
- c. Guru dan peserta didik perlu memahami apa yang hendak dicatat, direkam, dan sejenisnya, serta bagaimana membuat catatan atas perolehan observasi.

#### **e. Kriteria Pertanyaan Yang Baik**

Menanya merupakan aktivitas / kegiatan bertanya yang berbentuk kalimat tanya merupakan kalimat yang mengandung makna sebuah pertanyaan. Arti Kalimat tanya adalah kalimat yang berisi pertanyaan / pernyataan kepada pihak lain yang bertujuan untuk memperoleh jawaban dari pihak yang ditanya. Guru yang efektif mampu menginspirasi peserta didik untuk meningkatkan dan mengembangkan ranah sikap, keterampilan, dan pengetahuannya. Pada saat guru bertanya, pada saat itu pula dia membimbing atau memandu peserta didiknya belajar dengan baik. Ketika guru menjawab pertanyaan peserta didiknya, ketika itu pula dia mendorong asuhannya itu untuk menjadi penyimak dan pembelajar yang baik.

Istilah “pertanyaan” tidak selalu dalam bentuk “kalimat tanya”, melainkan juga dapat dalam bentuk pernyataan, asalkan keduanya menginginkan tanggapan verbal. Bentuk pertanyaan, misalnya: Apakah ciri-ciri norma hukum? Bentuk pernyataan, misalnya: Sebutkan ciri-ciri norma hukum!

Fungsi dari Bertanya, diantaranya :

- a. Membangkitkan rasa ingin tahu, minat, dan perhatian peserta didik tentang suatu tema atau topik pembelajaran.
- b. Mendorong dan menginspirasi peserta didik untuk aktif belajar, serta mengembangkan pertanyaan dari dan untuk dirinya sendiri.
- c. Mendiagnosis kesulitan belajar peserta didik sekaligus menyampaikan anjakan untuk mencari solusinya.
- d. Menstrukturkan tugas-tugas dan memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk menunjukkan sikap, keterampilan, dan pemahamannya atas substansi pembelajaran yang diberikan.
- e. Membangkitkan keterampilan peserta didik dalam berbicara, mengajukan pertanyaan, dan memberi jawaban secara logis, sistematis, dan menggunakan bahasa yang baik dan benar.
- f. Mendorong partisipasi peserta didik dalam berdiskusi, berargumen, mengembangkan kemampuan berpikir, dan menarik simpulan.
- g. Membangun sikap keterbukaan untuk saling memberi dan menerima pendapat atau gagasan, memperkaya kosa kata, serta mengembangkan toleransi sosial dalam hidup berkelompok.
- h. Membiasakan peserta didik berpikir spontan dan cepat, serta sigap dalam merespon persoalan yang tiba-tiba muncul.
- i. Melatih kesantunan dalam berbicara dan membangkitkan kemampuan berempati satu sama lain.

Kriteria Pertanyaan yang Baik, diantaranya :

- a. Singkat dan jelas.

Contoh:

- 1) Seberapa jauh pemahaman Anda mengenai faktor-faktor yang menyebabkan generasi muda terjerat kasus narkoba dan obat-obatan terlarang?
- 2) Faktor-faktor apakah yang menyebabkan generasi muda terjerat kasus narkoba dan obat-obatan terlarang? Pertanyaan kedua ini lebih singkat dan lebih jelas dibandingkan dengan pertanyaan pertama.

b. Menginspirasi jawaban.

Contoh:

- 1) Membangun semangat kerukunan umat beragama itu sangat penting pada bangsa yang multiagama. Jika suatu bangsa gagal membangun semangat kerukunan beragama, akan muncul aneka persoalan sosial kemasyarakatan.
- 2) Coba jelaskan dampak sosial apa saja yang muncul, jika suatu bangsa gagal membangun kerukunan umat beragama?

Dua kalimat yang mengawali pertanyaan di muka merupakan contoh yang diberikan guru untuk menginspirasi jawaban peserta didik menjawab pertanyaan

c. Memiliki fokus.

Contoh: Faktor-faktor apakah yang menyebabkan terjadinya kemiskinan?

Untuk pertanyaan seperti ini sebaiknya masing-masing peserta didik diminta memunculkan satu jawaban.

Peserta didik pertama hingga kelima misalnya menjawab: kebodohan, kemalasan, tidak memiliki modal usaha, kelangkaan sumber daya alam, dan keterisolasian geografis. Jika masih tersedia alternatif jawaban lain, peserta didik yang keenam dan seterusnya, bisa dimintai jawaban. Pertanyaan yang luas seperti di atas dapat dipersempit, misalnya: Mengapa kemalasan menjadi penyebab kemiskinan? Pertanyaan seperti ini dimintakan jawabannya kepada peserta didik secara perorangan.

d. Bersifat probing atau *divergen*. Contoh:

- 1) Untuk meningkatkan kualitas hasil belajar, apakah peserta didik harus rajin belajar?

2) Mengapa peserta didik yang sangat malas belajar cenderung menjadi putus sekolah?

Pertanyaan pertama cukup dijawab oleh peserta didik dengan Ya atau Tidak. Sebaliknya, pertanyaan kedua menuntut jawaban yang bervariasi urutan jawaban dan penjelasannya, yang kemungkinan memiliki bobot kebenaran yang sama.

e. Bersifat validatif atau penguatan.

Pertanyaan dapat diajukan dengan cara meminta kepada peserta didik yang berbeda untuk menjawab pertanyaan yang sama. Jawaban atas pertanyaan itu dimaksudkan untuk memvalidasi atau melakukan penguatan atas jawaban peserta didik sebelumnya. Ketika beberapa orang peserta didik telah memberikan jawaban yang sama, sebaiknya guru menghentikan pertanyaan itu atau meminta mereka memunculkan jawaban yang lain yang berbeda, namun sifatnya menguatkan.

Contoh:

Guru : “Mengapa kemalasan menjadi penyebab kemiskinan”?

Peserta didik I : “Karena orang yang malas lebih banyak diam ketimbang bekerja.”

Guru : “Siapa yang dapat melengkapi jawaban tersebut?”

Peserta didik II : “Karena lebih banyak diam ketimbang bekerja, orang yang malas tidak produktif”.

Guru : “Siapa yang dapat melengkapi jawaban tersebut?”

Peserta didik III: “Orang malas tidak bertindak aktif, sehingga kehilangan waktu terlalu banyak untuk bekerja, karena itu dia tidak produktif.”

Dan seterusnya.

f. Memberi kesempatan peserta didik untuk berpikir ulang.

Untuk menjawab pertanyaan dari guru, peserta didik memerlukan waktu yang cukup untuk memikirkan jawabannya dan memverbalikannya dengan kata-kata.

Karena itu, setelah mengajukan pertanyaan, guru hendaknya menunggu beberapa saat sebelum meminta atau menunjuk peserta didik untuk menjawab pertanyaan itu.

Jika dengan pertanyaan tertentu tidak ada peserta didik yang bisa menjawab dengan baik, sangat dianjurkan guru mengubah pertanyaannya. Misalnya:

- Apa faktor picu utama Belanda menjajah Indonesia?;
- Apa motif utama Belanda menjajah Indonesia?

Jika dengan pertanyaan pertama guru belum memperoleh jawaban yang memuaskan, ada baiknya dia mengubah pertanyaan seperti pertanyaan kedua.

g. Merangsang peningkatan tuntutan kemampuan kognitif.

Pertanyaan guru yang baik membuka peluang peserta didik untuk mengembangkan kemampuan berpikir yang makin meningkat, sesuai dengan tuntutan tingkat kognitifnya. Guru mengemas atau mengubah pertanyaan yang menuntut jawaban dengan tingkat kognitif rendah ke makin tinggi, seperti dari sekadar mengingat fakta ke pertanyaan yang menggugah kemampuan kognitif yang lebih tinggi, seperti pemahaman, penerapan, analisis, sintesis, dan evaluasi. Kata-kata kunci pertanyaan ini, seperti: apa, mengapa, bagaimana, dan seterusnya.

Tingkatan (*level*) Pertanyaan

Tingkatan-tingkatan pertanyaan, yaitu :

1) Kognitif yang lebih rendah - Pengetahuan (*knowledge*) :

- Apa...?
- Siapa...?
- Kapan...?
- Di mana...?
- Sebutkan...
- Jodohkan atau pasangkan...

- Persamaan kata...
  - Golongkan...
  - Berilah nama...
  - Dan lain-lain.
- 2) Kognitif yang lebih tinggi - Analisis (*analysis*) :
- Analisislah...
  - Kemukakan bukti-bukti...
  - Mengapa...?
  - Identifikasikan...
  - Tunjukkanlah sebabnya...
  - Berilah alasan-alasan...
- 3) Sintesis (*synthesis*) :
- Ramalkanlah...
  - Bentuk...
  - Ciptakanlah...
  - Susunlah...
  - Rancanglah...
  - Tulislah...
  - Bagaimana kita dapat memecahkan...
  - Apa yang terjadi seandainya...
  - Bagaimana kita dapat memperbaiki...
  - Kembangkan...
- 4) Evaluasi (*evaluation*) :
- Berilah pendapat...
  - Alternatif mana yang lebih baik...
  - Setujukah anda...
  - Kritik...
  - Berilah alasan...
  - Nilailah...
  - Bandingkan...

- Bedakanlah...
- 5) Mengevaluasi :
- Temukan inkonsistensi atau kesalahan...
  - Tentukan apakah suatu proses/produk memiliki konsistensi...
  - Temukan efektivitas suatu prosedur...
- 6) Mencipta :
- Buatlah hipotesis berdasarkan kriteria ...
  - Rencanakan (proposal) penelitian tentang...
  - Ciptakan/buat suatu produk...

#### **f. Contoh Perancangan Pembelajaran Saintifik**

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 tersebut, dilakukan sebagai berikut:

- a. Pilih pasangan KD-KD dari mata pelajaran yang diampu sesuai dengan silabus dan buku teks siswa terkait.
- b. Rumuskan IPK dari KD3 dan dari KD4 sesuai dengan dimensi proses atau level pengetahuan dan dimensi kategori pengetahuan yang terkandung di masing-masing KD. Setiap KD minimal memiliki 2 (dua) indikator.
- c. Petakan pemilihan model pembelajaran sesuai KD dengan mempertimbangkan rambu-rambu pemilihan model pembelajaran.
- d. Pilih model pembelajaran sesuai KD dengan mempertimbangkan rambu-rambu pemilihan model pembelajaran.
- e. Tentukan kegiatan peserta didik dan kegiatan guru sesuai dengan langkah-langkah (sintaksis) model pembelajaran yang dipilih, kemudian sinkronkan dengan langkah pendekatan saintifik (5M) sampai mencapai IPK.

#### Penentuan Model Pembelajaran

Tabel 1.1

Mata Pelajaran : Teknik Pemesinan Bubut ; Kelas XI

No.	Kompetensi	Analisis dan Rekomendasi *)	Kriteria dan Model Pembelajaran
1.	KD 3.1 Mengidentifikasi mesin bubut	<p>KD 3.1 “Mengidentifikasi” merupakan gradasi C1 belum terkait dengan KI-3 yaitu C2 (memahami) sampai C4 (menganalisis), sedangkan tingkat pengetahuan “mesin bubut” merupakan pengetahuan faktual, belum utuh terkait KI-3 yaitu sampai metakognitif</p> <p><b>Rekomendasi:</b> Kemampuan KD-3.1 dan 3.2 diperbaiki pada perumusan IPK dan Tujuan pembelajaran. Demikian juga gradasi pengetahuan ditingkatkan minimal sampai prosedural di RPP.</p>	<p>Berdasarkan analisis dan rekomendasi maka:</p> <p>a. KD-3.1 ditingkatkan taksonominya sampai memahami (C2), dan materi pengetahuan pada tingkat konseptual dan atau prosedural</p>
	KD 4.1 Menggunakan mesin bubut untuk berbagai jenis pekerjaan	<p>KD 4.1 dan KD 4.2 “Menggunakan” mesin.../alat ... merupakan keterampilan konkrit gradasi <b>manipulasi</b> (P2 Dave), belum terkait dengan tuntutan KI-4 yaitu mengolah, menalar, dan menyaji (P3-P5 abstrak Dyers), padanannya sampai <b>artikulasi</b> (P4 konkrit Dave)</p> <p><b>Rekomendasi:</b> Belum ada KD-4 abstrak sampai gradasi menyaji</p>	<p>b. KD 4.1 ditingkatkan gradasi keterampilan konkritnya pada taksonomi presisi, sehingga setara dengan mengolah dan atau menalar</p> <p>c. Pernyataan KD-3.1 dan KD 4.1 mengarah pada pencarian atau</p>

		<p>(P5) dan belum ada KD-4 konkrit sampai tingkat artikulasi (P4). Jadi di tingkatkan pada IPK dan Tujuan pembelajaran untuk RPP Pasangan KD-3.1 (C1), KD-4.1 (P2 konkrit); jadi KD-3.1 belum memenuhi linearitas tingkatan KD-4.1.</p> <p><b>Rekomendasi</b> perlu ditingkatkan pada IPK dan Tujuan Pembelajaran pada RPP</p>	<p>membuktikan teori</p> <p>Jadi untuk pembelajaran dipilih Model Pembelajaran <b>Inquiri Terbimbing</b></p>
	Dst .....		

Bahan Bacaan 3 :

#### a. Pendekatan, Strategi dan Metode Pembelajaran

Dalam proses pembelajaran dikenal beberapa istilah yang memiliki kemiripan makna, sehingga seringkali orang merasa bingung untuk membedakannya. Istilah-istilah tersebut adalah: (1) pendekatan pembelajaran, (2) strategi pembelajaran, (3) metode pembelajaran; (4) teknik pembelajaran; (5) taktik pembelajaran; dan (6) model pembelajaran. Berikut ini akan dipaparkan istilah-istilah tersebut, dengan harapan dapat memberikan kejelasan tentang penggunaan istilah tersebut. Pendekatan pembelajaran dapat diartikan sebagai titik tolak atau sudut pandang kita terhadap proses pembelajaran, yang merujuk pada pandangan tentang terjadinya suatu proses yang sifatnya masih sangat umum, di dalamnya mewadahi, menginspirasi, menguatkan, dan melatari metode pembelajaran dengan cakupan teoretis tertentu. Definisi lain mengatakan bahwa “pendekatan pembelajaran” dapat diartikan sebagai titik tolak atau sudut pandang kita terhadap proses pembelajaran. Pendekatan yang berpusat pada guru menurunkan strategi pembelajaran langsung (direct instruction, pembelajaran deduktif atau pembelajaran ekspositori. Sedangkan, pendekatan

pembelajaran yang berpusat pada siswa menurunkan strategi pembelajaran discovery dan inkuiri serta strategi pembelajaran induktif (Sanjaya, 2008:127). Dilihat dari pendekatannya, pembelajaran terdapat dua jenis pendekatan, yaitu: (1) pendekatan pembelajaran yang berorientasi atau berpusat pada siswa (*student centered approach*) dan (2) pendekatan pembelajaran yang berorientasi atau berpusat pada guru (*teacher centered approach*).

Dari pendekatan pembelajaran yang telah ditetapkan selanjutnya diturunkan ke dalam strategi pembelajaran. Newman dan Logan (Abin Syamsuddin Makmun, 2003) mengemukakan empat unsur strategi dari setiap usaha, yaitu :

- a. Mengidentifikasi dan menetapkan spesifikasi dan kualifikasi hasil (out put) dan sasaran (target) yang harus dicapai, dengan mempertimbangkan aspirasi dan selera masyarakat yang memerlukannya.
- b. Mempertimbangkan dan memilih jalan pendekatan utama (basic way) yang paling efektif untuk mencapai sasaran.
- c. Mempertimbangkan dan menetapkan langkah-langkah (steps) yang akan ditempuh sejak titik awal sampai dengan sasaran.
- d. Mempertimbangkan dan menetapkan tolok ukur (criteria) dan patokan ukuran (standard) untuk mengukur dan menilai taraf keberhasilan (achievement) usaha.

Jika kita terapkan dalam konteks pembelajaran, keempat unsur tersebut adalah:

- a. Menetapkan spesifikasi dan kualifikasi tujuan pembelajaran yakni perubahan profil perilaku dan pribadi peserta didik.
- b. Mempertimbangkan dan memilih sistem pendekatan pembelajaran yang dipandang paling efektif.
- c. Mempertimbangkan dan menetapkan langkah-langkah atau prosedur, metode dan teknik pembelajaran.
- d. Menetapkan norma-norma dan batas minimum ukuran keberhasilan atau kriteria dan ukuran baku keberhasilan.

Sementara itu, Kemp (Wina Sanjaya, 2008) mengemukakan bahwa strategi pembelajaran adalah suatu kegiatan pembelajaran yang harus dikerjakan guru dan siswa agar tujuan pembelajaran dapat dicapai secara efektif dan efisien. Selanjutnya, dengan mengutip pemikiran J. R David, Wina Sanjaya (2008) menyebutkan bahwa dalam strategi pembelajaran terkandung makna perencanaan. Artinya, bahwa strategi pada dasarnya masih bersifat konseptual tentang keputusan-keputusan yang akan diambil dalam suatu pelaksanaan pembelajaran.

Strategi pembelajaran\* dapat diartikan sebagai perencanaan yang berisi tentang rangkaian kegiatan yang didisain untuk mencapai tujuan pendidikan tertentu (J.R. David dalam Sanjaya, 2008:126). Selanjutnya dijelaskan strategi pembelajaran adalah suatu kegiatan pembelajaran yang harus dikerjakan guru dan siswa agar tujuan pembelajaran dapat dicapai secara efektif dan efisien (Kemp dalam Sanjaya, 2008:126).

Istilah strategi sering digunakan dalam banyak konteks dengan makna yang selalu sama. Dalam konteks pengajaran strategi bisa diartikan sebagai suatu pola umum tindakan guru-peserta didik dalam manifestasi aktivitas pengajaran (Ahmad Rohani, 2004 : 32). Sementara itu, Joyce dan Weil lebih senang memakai istilah model-model mengajar daripada menggunakan strategi pengajaran (Joyce dan Weil dalam Rohani, 2004:33. Nana Sudjana menjelaskan bahwa strategi mengajar (pengajaran) adalah “taktik” yang digunakan guru dalam melaksanakan proses belajar mengajar (pengajaran) agar dapat mempengaruhi para siswa (peserta didik) mencapai tujuan pengajaran secara lebih efektif dan efisien (Nana Sudjana dalam Rohani, 2004:34). Jadi menurut Nana Sudjana, strategimengajar/pengajaran ada pada pelaksanaan, sebagai tindakan nyata atau perbuatan guru itu sendiri pada saat mengajar berdasarkan pada rambu-rambu dalam satuan pelajaran. Berdasarkan pendapat di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa strategi pembelajaran harus mengandung penjelasan tentang metode/prosedur dan teknik yang digunakan selama proses pembelajaran berlangsung. Dengan kata lain, strategi pembelajaran mempunyai arti yang lebih luas daripada metode dan teknik. Artinya, metode/prosedur dan teknik pembelajaran merupakan bagian dari strategi pembelajaran. Dari metode, teknik

pembelajaran diturunkan secara aplikatif, nyata, dan praktis di kelas saat pembelajaran berlangsung. Dilihat dari strateginya, pembelajaran dapat dikelompokkan ke dalam dua bagian pula, yaitu: (1) **exposition-discovery learning** dan (2) **group-individual learning** (Rowntree dalam Wina Senjaya, 2008). Ditinjau dari cara penyajian dan cara pengolahannya, strategi pembelajaran dapat dibedakan antara strategi pembelajaran induktif dan strategi pembelajaran deduktif. Strategi pembelajaran sifatnya masih konseptual dan untuk mengimplementasikannya digunakan berbagai metode pembelajaran tertentu. Dengan kata lain, strategi merupakan “*a plan of operation achieving something*” sedangkan metode adalah “*a way in achieving something*” (Wina Senjaya (2008). Dalam hubungannya dengan metode pembelajaran, maka bisa dikatakan bahwa metode pembelajaran merupakan jabaran dari pendekatan pembelajaran. Satu pendekatan dapat dijabarkan ke dalam berbagai metode. Metode adalah prosedur pembelajaran yang difokuskan ke pencapaian tujuan. Jadi, metode pembelajarandapat diartikan sebagai cara yang digunakan untuk mengimplementasikan rencana yang sudah disusun dalam bentuk kegiatan nyata dan praktis untuk mencapai tujuan pembelajaran. Terdapat beberapa metode pembelajaran yang dapat digunakan untuk mengimplementasikan strategi pembelajaran, diantaranya: (1) ceramah; (2) demonstrasi; (3) diskusi; (4) simulasi; (5) laboratorium; (6) pengalaman lapangan; (7) brainstorming; (8) debat, (9) simposium, dan sebagainya. Selanjutnya metode pembelajaran dijabarkan ke dalam teknik dan gaya pembelajaran.

Dengan demikian, teknik pembelajaran dapat diartikan sebagai cara yang dilakukan seseorang dalam mengimplementasikan suatu metode secara spesifik. Misalkan, penggunaan metode ceramah pada kelas dengan jumlah siswa yang relatif banyak membutuhkan teknik tersendiri, yang tentunya secara teknis akan berbeda dengan penggunaan metode ceramah pada kelas yang jumlah siswanya terbatas. Demikian pula, dengan penggunaan metode diskusi, perlu digunakan teknik yang berbeda pada kelas yang siswanya tergolong aktif dengan kelas yang siswanya tergolong pasif. Dalam hal ini, guru pun dapat berganti-ganti teknik meskipun dalam koridor metode

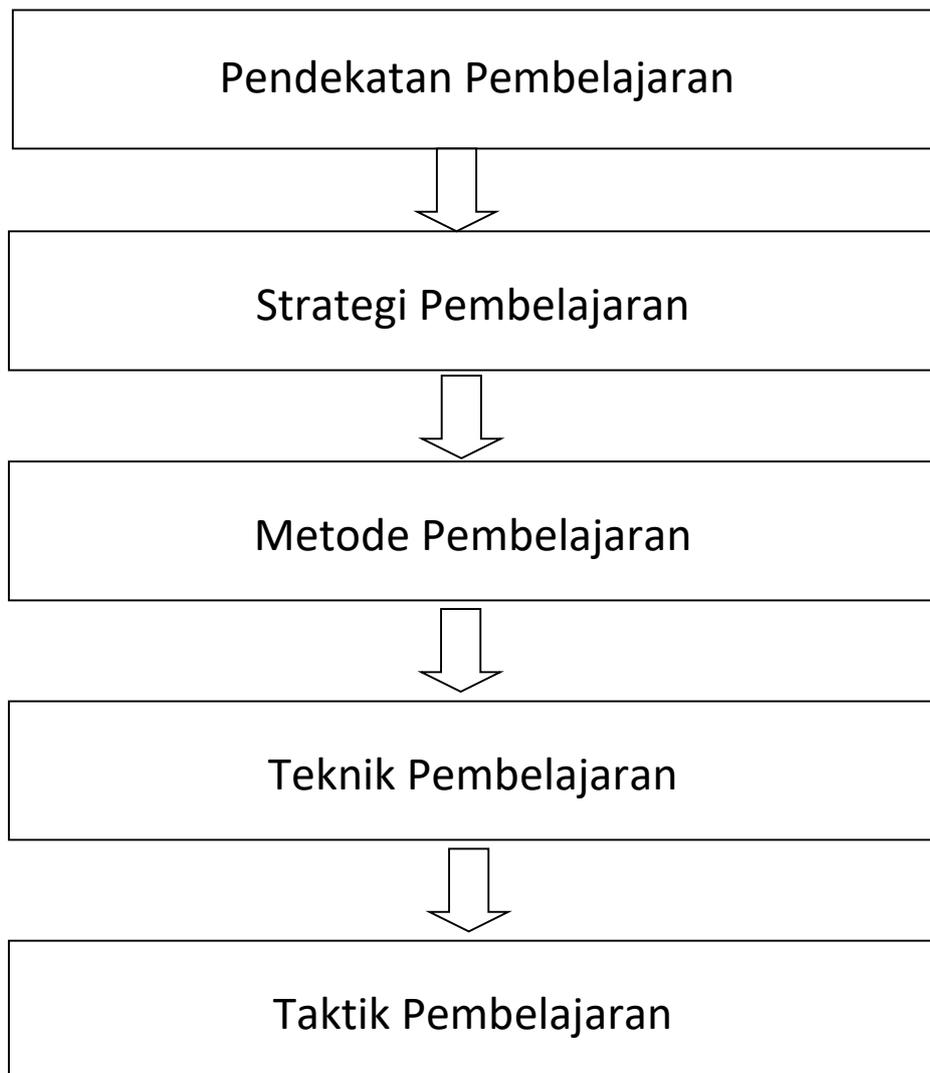
yang sama. Dalam kaitannya dengan metode pembelajaran, maka teknik pembelajaran adalah cara yang dilakukan seseorang dalam rangka mengimplementasikan suatu metode. Misalnya, cara yang bagaimana yang harus dilakukan agar metode ceramah yang dilakukan berjalan efektif dan efisien? Dengan demikian sebelum seorang melakukan proses ceramah sebaiknya memperhatikan kondisi dan situasi.

Sementara taktik pembelajaran merupakan gaya seseorang dalam melaksanakan metode atau teknik pembelajaran tertentu yang sifatnya individual. Misalkan, terdapat dua orang sama-sama menggunakan metode ceramah, tetapi mungkin akan sangat berbeda dalam taktik yang digunakannya. Dalam penyajiannya, yang satu cenderung banyak diselingi dengan humor karena memang dia memiliki sense of humor yang tinggi, sementara yang satunya lagi kurang memiliki sense of humor, tetapi lebih banyak menggunakan alat bantu elektronik karena dia memang sangat menguasai bidang itu. Dalam gaya pembelajaran akan tampak keunikan atau kekhasan dari masing-masing guru, sesuai dengan kemampuan, pengalaman dan tipe kepribadian dari guru yang bersangkutan. Dalam taktik ini, pembelajaran akan menjadi sebuah ilmu sekalkigus juga seni (kiat).

Apabila antara pendekatan, strategi, metode, teknik dan bahkan taktik pembelajaran sudah terangkai menjadi satu kesatuan yang utuh maka terbentuklah apa yang disebut dengan model pembelajaran. Jadi, model pembelajaran pada dasarnya merupakan bentuk pembelajaran yang tergambar dari awal sampai akhir yang disajikan secara khas oleh guru. Dalam model pembelajaran terdapat strategi pencapaian kompetensi siswa dengan pendekatan, metode, dan teknik pembelajaran. Nah, berikut ini ulasan singkat tentang perbedaan istilah tersebut.

Dengan kata lain, model pembelajaran merupakan bungkus atau bingkai dari penerapan suatu pendekatan, metode, dan teknik pembelajaran. Berknaan dengan model pembelajaran, Bruce Joyce dan Marsha Weil (Dedi Supriawan dan A. Benyamin Surasega, 1990) mengetengahkan 4 (empat) kelompok model pembelajaran, yaitu: (1) model interaksi sosial; (2) model pengolahan informasi; (3) model personal-humanistik; dan (4) model modifikasi tingkah laku. Kendati demikian, seringkali

penggunaan istilah model pembelajaran tersebut diidentikkan dengan strategi pembelajaran. Untuk lebih jelasnya, posisi hierarkis dari masing-masing istilah tersebut, kiranya dapat divisualisasikan sebagai berikut:



Di luar istilah-istilah tersebut, dalam proses pembelajaran dikenal juga istilah **desain pembelajaran**. Jika strategi pembelajaran lebih berkenaan dengan pola umum dan prosedur umum aktivitas pembelajaran, sedangkan desain pembelajaran lebih menunjuk kepada cara-cara merencanakan suatu sistem lingkungan belajar tertentu setelah ditetapkan strategi pembelajaran tertentu. Jika dianalogikan dengan pembuatan rumah, strategi membicarakan tentang berbagai kemungkinan tipe atau

jenis rumah yang hendak dibangun (rumah joglo, rumah gadang, rumah modern, dan sebagainya), masing-masing akan menampilkan kesan dan pesan yang berbeda dan unik. Sedangkan desain adalah menetapkan cetak biru (blue print) rumah yang akan dibangun beserta bahan-bahan yang diperlukan dan urutan-urutan langkah konstruksinya, maupun kriteria penyelesaiannya, mulai dari tahap awal sampai dengan tahap akhir, setelah ditetapkan tipe rumah yang akan dibangun.

Berdasarkan uraian di atas, bahwa untuk dapat melaksanakan tugasnya secara profesional, seorang guru dituntut dapat memahami dan memiliki keterampilan yang memadai dalam mengembangkan berbagai model pembelajaran yang efektif, kreatif dan menyenangkan, sebagaimana diisyaratkan dalam Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan.

Mencermati upaya reformasi pembelajaran yang sedang dikembangkan di Indonesia, para guru atau calon guru saat ini banyak ditawarkan dengan aneka pilihan model pembelajaran, yang kadang-kadang untuk kepentingan penelitian (penelitian akademik maupun penelitian tindakan) sangat sulit menemukan sumber-sumber literarturnya. Namun, jika para guru (calon guru) telah dapat memahami konsep atau teori dasar pembelajaran yang merujuk pada proses (beserta konsep dan teori) pembelajaran sebagaimana dikemukakan di atas, maka pada dasarnya guru pun dapat secara kreatif mencobakan dan mengembangkan model pembelajaran tersendiri yang khas, sesuai dengan kondisi nyata di tempat kerja masing-masing, sehingga pada gilirannya akan muncul model-model pembelajaran versi guru yang bersangkutan, yang tentunya semakin memperkaya khazanah model pembelajaran yang telah ada.

### **Strategi/Model Pembelajaran**

Pada Kurikulum 2013 dikembangkan model pembelajaran utama yang diharapkan dapat membentuk perilaku saintifik, perilaku sosial serta mengembangkan rasa keingintahuan. Model Pembelajaran tersebut adalah: model pembelajaran berbasis penyingkapan/penemuan (*Discovery/Inquiry Learning*); model pembelajaran menghasilkan karya yang berbasis pemecahan masalah (*Problem Based Learning/Project Based Learning*). Langkah-langkah pembelajaran berpendekatan

saintifik harus dapat dipadukan secara sinkron dengan langkah-langkah kerja (*syntax*) model pembelajaran. Model pembelajaran merupakan kerangka konseptual yang digunakan sebagai pedoman dalam melakukan pembelajaran yang disusun secara sistematis untuk mencapai tujuan belajar yang menyangkut sintaksis, sistem sosial, prinsip reaksi dan sistem pendukung (Joice&Wells).

Tujuan penggunaan model pembelajaran sebagai strategi bagaimana belajar yang membantu peserta didik mengembangkan dirinya baik berupa informasi, gagasan, keterampilan nilai dan cara-cara berpikir dalam meningkatkan kapasitas berpikir secara jernih, bijaksana dan membangun keterampilan sosial serta komitmen (Joice& Wells).

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 Projek (*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*).

Rambu-rambu penentuan model penyingkapan/penemuan:

- a. Pernyataan KD-3 dan KD-4 mengarah ke pencarian atau penemuan;
- b. Pernyataan KD-3 lebih menitikberatkan 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.

**b. 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. Sund dalam 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 meliputi:

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

### c. 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 OnnSeng, 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 pengidentifikasian 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.

#### **d. 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*).

## D. Aktivitas Pembelajaran

### Aktivitas Pengantar

Fokus pertama bagi guru dalam menyiapkan pembelajaran adalah melakukan analisis pada ketiga standar kompetensi yaitu SKL, KI, KD. Dari analisis itu akan diperoleh penjabaran tentang taksonomi dan gradasi hasil belajar yang berhubungan dengan materi pembelajaran, kegiatan pembelajaran dan penilaian yang diperlukan.

Buatlah analisis keterkaitan SKL, KI, dan KD untuk kelas X, XI dan XII berdasarkan table di bawah ini !

**Tabel 2** Analisis Keterkaitan Domain Antara SKL, KI, dan KD untuk Mapel ...

Standar Kompetensi Lulusan (SKL)		Kompetensi Inti (KI) Kelas ....	Kompetensi Dasar (KD)	Keterangan Analisis *)
Dimensi	Kualifikasi Kemampuan			
1. Sikap		1.		

Standar Kompetensi Lulusan (SKL)		Kompetensi Inti (KI) Kelas ....	Kompetensi Dasar (KD)	Keterangan Analisis *)
Dimensi	Kualifikasi Kemampuan			
		2.		

Standar Kompetensi Lulusan (SKL)		Kompetensi Inti (KI) Kelas ....	Kompetensi Dasar (KD)	Keterangan *)
Dimensi	Kualifikasi Kemampuan			
3. Pengetahuan		3.		

Standar Kompetensi Lulusan (SKL)		Kompetensi Inti (KI) Kelas ....	Kompetensi Dasar (KD)	Keterangan *)
Dimensi	Kualifikasi Kemampuan			
4. Keterampilan		4.		

\*) Diisi dengan taksonomi dan gradasi hasil belajar, jika KD tidak terkait dengan KI maka dikembangkan melalui tujuan pembelajaran dan atau indikator pencapaian kompetensi.

### Aktivitas 1 : Perancangan Kegiatan Pembelajaran Saintifik

**Kompetensi** : Mampu merancang kegiatan pembelajaran saintifik

**Tujuan Kegiatan** : Melalui diskusi kelompok peserta mampu merancang kegiatan pembelajaran dengan pendekatan saintifik

Isilah Lembar Kerja perancangan kegiatan pembelajaran saintifik di bawah ini :

**Tabel 3** Lembar Kerja Perancangan Kegiatan Pembelajaran

Kompetensi Dasar	
Topik/	
Sub Topik/Tema	

Tujuan Pembelajaran	
Alokasi Waktu	

Tahapan Pembelajaran	Kegiatan Pembelajaran
Mengamati	
Menanya	
Mengumpulkan informasi	
Mengasosiasikan	
Mengkomunikasikan	

### Aktivitas 2 : Lembar Kerja Pembelajaran Saintifik Pada Mata Pelajaran PK

Tentukanlah Model Pembelajaran berdasarkan analisis menggunakan format matrik seperti tabel di bawah pada mata pelajaran yang Saudara ampu.

#### Penentuan Model Pembelajaran.....

Mata Pelajaran .....(Kelas ...)

No.	Kompetensi	Analisis dan Rekomendasi	Kriteria dan Model Pembelajaran
1.	KD 3...		
	KD 4...		
2.			

### Aktivitas 3 : Perancangan Model Pembelajaran

**Kompetensi** : Mampu merancang penerapan model pembelajaran *dan* cara penilaiannya.

**Tujuan Kegiatan** : Pada kegiatan ini diharapkan peserta mampu merancang kegiatan pembelajaran dengan model *Discovery Learning/ Inquiry Learning/ Problem Based Learning/Project Based Learning*.

Isilah Lembar Kerja perancangan model pembelajaran di bawah ini :

**Tabel 4** Lembar Kerja Perancangan Model Pembelajaran  
(Model Discovery Learning)

Kompetensi Dasar	
Topik/	
Sub Topik/Tema	
Tujuan Pembelajaran	
Alokasi Waktu	

Tahapan Pembelajaran	Kegiatan Pembelajaran
1. <i>Stimulation</i> (simulasi/Pemberian)	
2. <i>Problem statemen</i> (pertanyaan/identifikas .....)	
3. <i>Data collection</i> (pengumpulandata)	
4. Data processing (pengolahan Data)	
5. <i>Verification</i> (pembuktian)	

6. <i>Generalization</i> (menarik kesimpulan/generalisasi)	
--	--

**Tabel 5** Lembar Kerja Perancangan Model Pembelajaran (Model Inquiry Learning)

Kompetensi Dasar	
Topik/	
Sub Topik/Tema	
Tujuan Pembelajaran	
Alokasi Waktu	

Tahapan Pembelajaran	Kegiatan Pembelajaran
1. Orientasi masalah	
2. Pengumpulan data dan verifikasi)	
3. Pengumpulan data melalui eksperimen	
4. Pengorganisasian dan formulasi eksplanasi	
5. Analisis proses inkuiri)	

**Tabel 4** Lembar Kerja Perancangan Model Pembelajaran (Model Problem Based Learning)

Kompetensi Dasar	
Topik/	
Sub Topik/Tema	
Tujuan Pembelajaran	
Alokasi Waktu	

Tahapan Pembelajaran	Kegiatan Pembelajaran
<b>Fase 1</b> Orientasi peserta didik kepada	
<b>Fase 2</b> Mengorganisasikan peserta	
<b>Fase 3</b> Membimbing penyelidikan individu	
<b>Fase 4</b> Mengembangkan dan	
<b>Fase 5</b> Menganalisa dan mengevaluasi proses	

Tabel 7

Lembar Kerja Perancangan Model Pembelajaran  
(Model Project Based Learning)

Kompetensi Dasar	
Topik/	
Sub Topik/Tema	
Tujuan Pembelajaran	
Alokasi Waktu	

Tahapan Pembelajaran	Kegiatan Pembelajaran
1. Penentuan pertanyaan mendasar ( <i>Start with the</i>	
2. Mendesain perencanaan proyek	

3. Menyusun jadwal ( <i>Create a Schedule</i> )	
4. Memonitor peserta didik dan kemajuan proyek ( <i>Monitor the Students and the Progress of the Project</i> )	
5. Menguji hasil ( <i>Assess the Outcome</i> )	
6. Mengevaluasi pengalaman ( <i>Evaluate the Experience</i> ).	

#### Aktivitas 4

Amatilah contoh Matrik Perancah Pemaduan Sintaksis Model Pembelajaran *Inquiri Terbimbing* dengan Pendekatan Sainifik pada Mata Pelajaran: Teknik Pemesinan Bubut (kelas XI).

#### Kompetensi Dasar :

- 3.1. Mengidentifikasi mesin bubut
- 4.1. Menggunakan mesin bubut untuk berbagai jenis pekerjaan

#### Tujuan Pembelajaran :

Dengan diberikan fasilitas belajar di kelas dan bengkel mesin bubut, peserta didik dapat:

- 1. Menjelaskan macam-macam mesin bubut berdasarkan prinsip kerja.
- 2. Menjelaskan macam-macam mesin bubut berdasarkan ukurannya.
- 3. Menjelaskan bagian utama mesin bubut sesuai dengan fungsinya.
- 4. Menentukan dimensi mesin bubut berdasarkan parameter standar mesin bubut.
- 5. Menyebutkan perlengkapan mesin bubut sesuai dengan fungsinya.
- 6. Memilih perlengkapan mesin bubut sesuai dengan fungsinya.
- 7. Menentukan alat bantu kerja membubut sesuai dengan jenis pekerjaannya.
- 8. Mengoperasikan mesin bubut sesuai prosedur yang benar.

9. Menyajikan laporan proses membubut berdasarkan pengalaman pekerjaan yang telah dilakukan.

**Contoh Matrik Perancahn Pemaduan Pendekatan Sainifik dan Model Pembelajaran Inquiry Terbimbing**

Materi Pembelajaran	Sintaks Model Pembelajaran	Tahap Sainifik 5 M	Kegiatan Belajar
1. Definisi mesin bubut; 2. Macam-macam mesin bubut dan fungsinya; 3. Bagian-bagian utama mesin bubut; 4. Dimensi mesin bubut; 5. Jenis dan fungsi perlengkapan mesin bubut.	<b>ORIENTASI MASALAH</b>	<b>MENGAMATI, MENANYA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Guru menayangkan gambar, foto atau video mesin bubut dan menjelaskan secara singkat tentang nama dan manfaat mesin bubut yang ditayangkan.</li> <li>- Guru menanyakan kepada siswa apa fungsi, bagian-bagian utama dan cara kerja mesin bubut.</li> <li>- Peserta didik memperhatikan penjelasan dan menjawab pertanyaan guru.</li> <li>- Guru mengkonfirmasi jawaban siswa.</li> <li>- Guru memberi kesempatan kepada peserta didik untuk bertanya seputar mesin bubut.</li> <li>- Guru menugaskan peserta didik membentuk kelompok dan berdiskusi serta melakukan pengamatan di bengkel untuk mengkaji lebih lanjut tentang bagian-bagian mesin bubut, macam-macam fungsi dan pekerjaan yang dapat dilakukan di mesin bubut, perlengkapan, alat bantu kerja serta dimensi mesin bubut.</li> </ul>

<p>1. Definisi mesin bubut;</p> <p>2. Macam-macam mesin bubut dan fungsinya;</p> <p>3. Bagian-bagian utama mesin bubut;</p> <p>4. Dimensi mesin bubut;</p> <p>5. Jenis dan fungsi perlengkapan mesin bubut.</p>	<p><b>PENGUM- PULAN DATA DAN VERIFIKASI</b></p>	<p><b>MENANYA, MENGUM- PULKAN INFORMASI, MENALAR</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peserta didik secara berkelompok berdiskusi membahas permasalahan yang diberikan guru.</li> <li>- Peserta didik mengkaji bahan ajar, buku referensi, katalog dan buku manual mesin bubut untuk mencari jawaban atas tugas yang diberikan guru.</li> <li>- Antar peserta didik saling bertanya-jawab tentang materi tugas dari guru.</li> <li>- Peserta didik melakukan verifikasi langsung ke bengkel tentang bagian-bagian mesin bubut, macam-macam fungsi dan pekerjaan yang dapat dilakukan di mesin bubut, perlengkapan, alat bantu kerja serta dimensi mesin bubut.</li> </ul>
<p>6. Pemilihan perlengkapan mesin bubut;</p> <p>7. Alat bantu kerja membubut;</p> <p>8. Penggunaan/ pengoperasian mesin bubut</p>	<p><b>PENGUM- PULAN DATA MELALUI EKSPERIME N</b></p>	<p><b>MENGUM- PUKAN INFOR- MASI, MENALAR</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Guru dan peserta didik ke bengkel.</li> <li>- Guru mendemonstrasikan cara mengoperasikan mesin bubut dalam membubut lurus dan tepi.</li> <li>- Guru memilih perlengkapan mesin bubut sesuai dengan fungsinya.</li> <li>- Guru memilih alat bantu kerja membubut sesuai dengan jenis pekerjaannya</li> <li>- Guru meminta siswa untuk mencoba mengoperasikan mesin bubut dengan menggunakan perlengkapan dan alat bantu kerja yang sesuai di bawah pengawasan guru.</li> <li>- Peserta didik mencoba mengoperasikan mesin bubut dengan menggunakan perlengkapan dan alat bantu kerja yang sesuai.</li> <li>- Guru memberi kesempatan peserta didik untuk bertanya hal-hal yang belum jelas tentang pengoperasian mesin bubut dan penggunaan perlengkapan serta alat bantu kerja dalam pemesinan bubut.</li> <li>- Peserta didik bertanya dan mencoba lagi untuk mengoperasikan mesin bubut di bawah</li> </ul>

			<p>pengawasan guru.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Guru memberikan lembar kerja (<i>jobsheet</i>) untuk dikerjakan oleh peserta didik di mesin bubut.</li> <li>- Peserta didik memilih perlengkapan mesin bubut dan alat bantu kerja di mesin bubut.</li> <li>- Peserta didik mengerjakan tugas sesuai lembar kerja dengan menggunakan mesin bubut.</li> <li>- Guru melakukan tutorial ke masing-masing peserta didik yang sedang bekerja.</li> </ul>
Pelaporan proses membubut	<b>PENGORGANISASIAN DAN FORMULASI EKSPANASI</b>	<b>MENALAR, MENGKOMUNIKASIKAN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Guru menugaskan peserta didik untuk menyusun laporan dan melakukan revisi apabila terdapat kesalahan dalam melaksanakan tugas (menjawab pertanyaan) sebelumnya.</li> <li>- Peserta didik menyusun laporan dan melakukan revisi tugas sebelumnya bila masih ada kesalahan.</li> <li>- Peserta didik mempresentasikan/memaparkan secara lisan jenis-jenis perlengkapan mesin bubut, alat bantu kerja mesin bubut, prosedur menggunakan mesin bubut dan hasil pekerjaan bubut.</li> </ul>
Pelaporan proses membubut	<b>MENGANALISIS PROSES INKUIRI</b>	<b>MENGKOMUNIKASIKAN, MENALAR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peserta didik lain memberikan pertanyaan dan tanggapan terhadap materi presentasi.</li> <li>- Guru meminta peserta didik untuk menyempurnakan laporan tentang perlengkapan mesin bubut, alat bantu kerja mesin bubut dan penggunaan mesin bubut berdasarkan masukan dari peserta didik lain.</li> </ul>

## E. Rangkuman

Perbedaan mendasar antara *student centered learning* dengan *teacher centered* terlihat jelas pada orientasinya. Orientasi strategi *student centered learning* lebih menekankan pada terjadinya kegiatan belajar oleh siswa, atau berorientasi pada pembelajaran

(learning oriented), sedangkan strategi teacher centered lebih berorientasi pada konten (content oriented). Dengan kata lain, pada student centered learning, mengajar tidak lagi difahami sebagai proses untuk mentransfer informasi, akan tetapi sebagai wahana untuk memfasilitasi terjadinya pembelajaran. Paradigma pembelajaran (SCL), guru hanya sebagai fasilitator dan motivator dengan menyediakan beberapa strategi belajar yang memungkinkan siswa (bersama guru) memilih, menemukan dan menyusun pengetahuan serta cara mengembangkan ketrampilannya (method of inquiry and discovery). Pada SCL, ilmu pengetahuan tidak lagi dianggap statik tetapi dinamis dimana peserta didik secara aktif mengembangkan ketrampilan dan pengetahuannya artinya siswa secara aktif menerima pengetahuan tidak lagi pasif.

Pembelajaran adalah proses interaksi antarpeserta didik, antara peserta didik dan pendidik, dan antara peserta dan sumber belajar lainnya pada suatu lingkungan belajar yang berlangsung secara edukatif, agar peserta didik dapat membangun sikap, pengetahuan dan keterampilannya untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Proses pembelajaran merupakan suatu proses yang mengandung serangkaian kegiatan mulai dari perencanaan, pelaksanaan hingga penilaian. Proses pembelajaran pada Kurikulum 2013 adalah memadukan aktivitas pembelajaran pendekatan saintifik dengan sintak model pembelajaran berbasis penyingkapan/penemuan (*discovery learning/inquiry learning*) dan menghasilkan karya yang berbasis pemecahan masalah (*problem based learning/project based learning*).

Proses pembelajaran dapat dipadankan dengan suatu proses ilmiah, karena itu Kurikulum 2013 mengamanatkan esensi pendekatan saintifik dalam pembelajaran. Pendekatan saintifik diyakini sebagai titian emas perkembangan dan pengembangan sikap, keterampilan, dan pengetahuan peserta didik. Dalam pendekatan atau proses kerja yang memenuhi kriteria ilmiah, para ilmuwan lebih mengedepankan penalaran induktif (*inductive reasoning*) dibandingkan dengan penalaran deduktif (*deductive reasoning*).

Penalaran deduktif melihat fenomena umum untuk kemudian menarik simpulan yang spesifik. Sebaliknya, penalaran induktif memandang fenomena atau situasi spesifik untuk kemudian menarik simpulan secara keseluruhan. Sejatinya, penalaran induktif menempatkan bukti-bukti spesifik ke dalam relasi idea yang lebih luas. Metode ilmiah

umumnya menempatkan fenomena unik dengan kajian spesifik dan detail untuk kemudian merumuskan simpulan umum. Metode ilmiah merujuk pada teknik-teknik investigasi atas suatu atau beberapa fenomena atau gejala, memperoleh pengetahuan baru, atau mengoreksi dan memadukan pengetahuan sebelumnya. Untuk dapat disebut ilmiah, metode pencarian (*method of inquiry*) harus berbasis pada bukti-bukti dari objek yang dapat diobservasi, empiris, dan terukur dengan prinsip-prinsip penalaran yang spesifik. Karena itu, metode ilmiah umumnya memuat serangkaian aktivitas pengumpulan data melalui observasi atau eksperimen, mengolah informasi atau data, menganalisis, kemudian memformulasi, dan menguji hipotesis.

Pada Kurikulum 2013 dikembangkan model pembelajaran utama yang diharapkan dapat membentuk perilaku saintifik, perilaku sosial serta mengembangkan rasa keingintahuan. Model Pembelajaran tersebut adalah: model pembelajaran berbasis penyingkapan/penemuan (*Discovery/Inquiry Learning*); model pembelajaran menghasilkan karya yang berbasis pemecahan masalah (*Problem Based Learning/Project Based Learning*). Langkah-langkah pembelajaran berpendekatan saintifik harus dapat dipadukan secara sinkron dengan langkah-langkah kerja (*syntax*) model pembelajaran. Model pembelajaran merupakan kerangka konseptual yang digunakan sebagai pedoman dalam melakukan pembelajaran yang disusun secara sistematis untuk mencapai tujuan belajar yang menyangkut sintaksis, sistem sosial, prinsip reaksi dan sistem pendukung (Joice&Wells).

Tujuan penggunaan model pembelajaran sebagai strategi bagaimana belajar yang membantu peserta didik mengembangkan dirinya baik berupa informasi, gagasan, keterampilan nilai dan cara-cara berpikir dalam meningkatkan kapasitas berpikir secara jernih, bijaksana dan membangun keterampilan sosial serta komitmen (Joice& Wells).

Langkah-langkah dalam pendekatan ilmiah seperti dijelaskan di atas tentu saja harus dijiwai oleh perilaku (jujur, disiplin, tanggung jawab, peduli, santun, ramah lingkungan, gotong royong, kerjasama, cinta damai, responsif dan proaktif) dan menunjukkan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan bangsa dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia.

Disamping itu pemahaman, penerapan dan analisis dari pengetahuan faktual, konseptual, prosedural, dan metakognitif terkait bidang kajian Dasar dan Pengukuran Listrik dapat digunakan untuk memecahkan masalah.

## F. Tes Formatif

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini !

1. Mengacu pada pengalaman anda dalam melaksanakan kegiatan pembelajaran di sekolah identifikasilah hal-hal yang berkaitan dengan pertanyaan berikut ini :

Identifikasilah beberapa kelemahan/kekurangan/masalah yang anda rasakan pada waktu pelaksanaan pembelajaran di kelas. Kelemahan/kekurangan/ masalah tersebut dirasakan telah mengurangi kualitas pembelajaran yang dilakukan.

(Analisislah berdasarkan Pendekatan Saintifik dan Model pembelajaran *Discovery Learning/Inquiry Learning/Problem Based Learning/Project Based Learning*.)

2. Buatlah matriks pemaduan pendekatan saintifik dengan model pembelajaran yang Saudara pilih berdasarkan analisis SKL, KI dan KD untuk mata pelajaran yang Saudara ampu.

## G. Kunci Jawaban

1. Pendekatan saintifik diyakini sebagai titian emas perkembangan dan pengembangan sikap, keterampilan, dan pengetahuan peserta didik. Metode ilmiah merujuk pada teknik-teknik investigasi atas suatu atau beberapa fenomena atau gejala, memperoleh pengetahuan baru, atau mengoreksi dan memadukan pengetahuan sebelumnya. Untuk dapat disebut ilmiah, metode pencarian (*method of inquiry*) harus berbasis pada bukti-bukti dari objek yang dapat diobservasi, empiris, dan terukur dengan prinsip-prinsip penalaran yang spesifik. Karena itu, metode ilmiah umumnya memuat serangkaian aktivitas pengumpulan data melalui observasi atau eksperimen, mengolah informasi atau data, menganalisis, kemudian memformulasi, dan menguji hipotesis. Pada Kurikulum 2013 dikembangkan model pembelajaran utama yang diharapkan dapat membentuk perilaku saintifik, perilaku sosial serta mengembangkan rasa keingintahuan. Model Pembelajaran tersebut adalah: model pembelajaran berbasis penyingkapan/penemuan (*Discovery/Inquiry Learning*); model pembelajaran menghasilkan karya yang berbasis pemecahan masalah (*Problem Based Learning/Project Based Learning*).
2. Matriks pemaduan pendekatan saintifik dengan model pembelajaran, menggunakan format seperti di bawah ini.

Tabel Matrik Perancah Pemaduan Sintaksis Model Pembelajaran ..... dengan  
Pendekatan Saintifik pada Mata Pelajaran: .....

### Kompetensi Dasar:

3.1. ....

4.1. ....

### Tujuan Pembelajaran

Dengan diberikan fasilitas belajar di kelas dan bengkel ....., peserta didik dapat:

1. ....
2. ....
3. ....

**Contoh Perancangan Pemaduan Pendekatan Saintifik**

**Model Pembelajaran .....**

Materi Pembelajaran	Sintaks Model Pembelajaran	Tahap Saintifik 5 M	Kegiatan Belajar

## **KEGIATAN PEMBELAJARAN 2 : KONVERSI ENERGI SURYA KE LISTRIK DAN PANAS**

### **A. Tujuan**

Setelah menyelesaikan modul ini, Peserta diklat diharapkan dapat:

1. Memahami sejarah perkembangan pemanfaatan energi matahari untuk kehidupan sehari-hari.
2. Memahami prinsip perpindahan panas secara konduksi, konveksi dan radiasi.
3. Memahami prinsip konversi energi matahari menjadi panas pada peralat)an pemanas (pemanas air dan pengering).
4. Memahami prinsip konversi energi matahari menjadi listrik.

### **B. Indikator Pencapaian Kompetensi**

Indikator pencapaian kompetensi, peserta mampu menyelidiki energi surya menjadi energi panas dan listrik

### **C. Uraian Materi**

#### **2.1. Sejarah perkembangan pemanfaatan energi matahari untuk kehidupan sehari-hari**

Jika kita melihat tingkat konsumsi energi di seluruh dunia saat ini, penggunaan energi diprediksikan akan meningkat sebesar 70 % antara tahun 2000 sampai 2030. Sumber energi yang berasal dari fosil, yang saat ini menyumbang 87,7% dari total kebutuhan energi dunia diperkirakan akan mengalami penurunan disebabkan tidak lagi ditemukannya sumber cadangan baru.

Cadangan sumber energi yang berasal dari fosil diseluruh dunia diperkirakan hanya sampai 40 tahun untuk minyak bumi, 60 tahun untuk gas alam, dan 200 tahun untuk batu bara. Kondisi keterbatasan sumber energi di tengah semakin meningkatnya kebutuhan energi dunia dari tahun ketahun (pertumbuhan

konsumsi energi tahun 2004 saja sebesar 4,3 % ), serta tuntutan untuk melindungi bumi dari pemanasan global dan polusi lingkungan membuat tuntutan untuk segera mewujudkan teknologi baru bagi sumber energi yang terbarukan.

Di antara sumber energi terbarukan yang saat ini banyak dikembangkan seperti turbin angin, tenaga air (hydro power), energi gelombang air laut, tenaga surya, tenaga panas bumi, tenaga hidrogen, dan bio-energi], tenaga surya atau solar sel merupakan salah satu sumber yang cukup menjanjikan.

Energi surya adalah energi yang didapat dengan mengubah energi panas surya melalui peralatan tertentu menjadi sumber daya dalam bentuk lain. Energi surya menjadi salah satu sumber pembangkit daya selain dan Teknik pemanfaatan energi surya mulai muncul pada tahun , 1839 ditemukan oleh Edmund Becquerel.

#### **Penerapan energi surya**

Energi surya telah banyak diterapkan dalam kehidupan sehari-hari. Beberapa diantara aplikasi tersebut antara lain:

1. Pencahayaan bertenaga surya.
2. Pemanasan bertenaga surya, untuk memanaskan air, memanaskan dan mendinginkan ruangan.
3. Desalinisasi dan desinfektisasi.
4. Untuk memasak, dengan menggunakan kompor tenaga surya.

#### **Sel surya**

Sel surya ialah sebuah alat yang tersusun dari material semikonduktor yang dapat mengubah sinar matahari menjadi tenaga listrik secara langsung. Sering juga dipakai istilah photovoltaic atau fotovoltaik. Sel surya pada dasarnya terdiri atas sambungan p-n yang sama fungsinya dengan sebuah dioda (diode). Sederhananya, ketika sinar matahari mengenai permukaan sel surya, energi yang dibawa oleh sinar matahari ini akan diserap oleh elektron pada sambungan p-n untuk

berpindah dari bagian dioda p ke n dan untuk selanjutnya mengalir ke luar melalui kabel yang terpasang ke sel.

### **Sejarah sel surya**

Sejarah sel surya dapat dilihat jauh ke belakang ketika pada tahun 1839 Edmund Becquerel, seorang pemuda Prancis berusia 19 tahun menemukan efek yang sekarang dikenal dengan efek fotovoltaik ketika tengah berkesperimen menggunakan sel larutan elektrolisis yang dibuat dari dua elektroda. Becquerel menemukan bahwa beberapa jenis material tertentu memproduksi arus listrik dalam jumlah kecil ketika terkena cahaya.

Era sel surya modern baru dimulai satu abad setelah penemuan fenomena fotovoltaik pertama, yakni ketika tiga peneliti Bell Laboratories di AS (Chapin, Fuller dan Pearson) secara tidak sengaja menemukan bahwa sambungan dioda pn dari silikon mampu membangkitkan tegangan listrik ketika lampu laboratorium dinyalakan. Pada tahun yang sama, usaha mereka telah berhasil membuat sebuah sel surya pertama dengan efisiensi sebesar 6%. Dari titik inilah penelitian sel surya akhirnya berkembang hingga saat ini, dengan banyak jenis dan teknologi pembuatannya.

### **Efisiensi sel surya**

Efisiensi didefinisikan sebagai perbandingan antara tenaga listrik yang dihasilkan oleh divais solar sel dibandingkan dengan jumlah energi yang diterima dari pancaran sinar matahari. Pembangkit energi surya sebenarnya tergantung pada efisiensi mengkonversi energi dan konsentrasi sinar matahari yang masuk ke dalam sel tersebut.

*Professor Smalley*, peraih Nobel bidang kimia atas prestasinya menemukan Fullerene, menyatakan bahwa teknologi nano menjanjikan peningkatan efisiensi dalam pembuatan sel surya antara 10 hingga 100 kali pada sel surya. Smalley

menambahkan bahwa cara terbaik untuk mendapatkan energi surya secara optimal telah terbukti ketika sel surya dimanfaatkan untuk keperluan satelit ruang angkasa dan alat alat yang diletakkan di ruang angkasa. Penggunaan sel surya dengan meletakkannya di ruang angkasa dapat dengan baik dilakukan karena teknologi nano diyakini akan mampu menciptakan material yang super kuat dan ringan yang mampu bertahan di ruang angkasa dengan efisiensi yang baik.

Pada tengah hari yang cerah radiasi sinar matahari mampu mencapai 1000 watt permeter persegi. Jika sebuah divais semikonductor seluas satu meter persegi memiliki efisiensi 10 persen maka modul solar sel ini mampu memberikan tenaga listrik sebesar 100 watt.

Saat ini, efisiensi sel surya dapat dibagi menjadi efisiensi sel surya komersil dan efisiensi sel surya skala laboratorium. Sel surya komersil yang sudah ada di pasaran memiliki efisiensi sekitar 12-15%. Sedangkan efisiensi sel surya skala laboratorium pada umumnya 1,5 hingga 2 kali efisiensi sel surya skala komersil. Hal ini disebabkan pada luas permukaan sel surya yang berbeda. Tipe silikon kristal merupakan jenis divais solar sel yang memiliki efisiensi tinggi meskipun biaya pembuatannya relatif lebih mahal dibandingkan jenis solar sel lainnya.

Pada sel surya di pasaran, sel yang dipasarkan pada umumnya memiliki luas permukaan 100 cm<sup>2</sup> yang kemudian dirangkai mejadi modul surya yang terdiri atas 30-40 buah sel surya. Dengan semakin besarnya luas permukaan sel surya, maka sudah menjadi pengetahuan umum jika terdapat banyak efek negatif berupa resistansi sirkuit, cacat pada sel dan sebagainya, yang mengakibatkan terdegradasinya efisiensi sel surya.

Pada sel surya skala laboratorium, luas permukaan sel yang diuji hanya berkisar kurang dari 1 cm<sup>2</sup>. Hal ini dimaksudkan untuk melihat kondisi ideal sel surya yang

bebas dari cacat maupun resistansi ketika dihubungkan ke sebuah sirkuit. Disamping itu, kecilnya luas permukaan sel surya memudahkan proses pembuatannya di mana alat yang dipakai di dalam laboratorium ialah alat yang berukuran kecil.

### **Perkembangan sel surya**

Perkembangan yang menarik dari teknologi sel surya saat ini salah satunya adalah sel surya yang dikembangkan oleh *Michael Gratzel*. Gratzel memperkenalkan tipe solar sel fotokimia yang merupakan jenis solar sel exciton yang terdiri dari sebuah lapisan partikel nano (biasanya titanium dioksida) yang di endapkan dalam sebuah perendam (dye).

Jenis ini pertama kali diperkenalkan pada tahun 1991 oleh Gratzel, sehingga jenis solar sel ini sering juga disebut dengan sel Gratzel atau dye-sensitized solar cells (DSSC). Sel Gratzel dilengkapi dengan pasangan redoks yang diletakkan dalam sebuah elektrolit (bisa berupa padat atau cairan). Komposisi penyusun solar sel seperti ini memungkinkan bahan baku pembuat sel Gratzel lebih fleksibel dan bisa dibuat dengan metode yang sangat sederhana seperti screen printing.

Meskipun solar sel generasi ketiga ini masih memiliki masalah besar dalam hal efisiensi dan usia aktif sel yang masih terlalu singkat, solar sel jenis ini diperkirakan mampu memberi pengaruh besar dalam sepuluh tahun ke depan mengingat harga dan proses pembuatannya yang sangat murah. Indonesia sebenarnya sangat berpotensi untuk menjadikan solar sel sebagai salah satu sumber energi masa depannya mengingat posisi Indonesia pada khatulistiwa yang memungkinkan sinar matahari dapat optimal diterima di permukaan bumi di hampir seluruh Indonesia.

### **Potensi sel surya di Indonesia**

Berdasarkan perhitungan Mulyo Widodo dalam kondisi puncak atau posisi matahari tegak lurus, sinar matahari yang jatuh di permukaan panel surya di Indonesia seluas satu meter persegi akan mampu mencapai 900 hingga 1000 Watt. Lebih jauh pakar solar sel Wilson Wenas menyatakan bahwa total intensitas penyinaran perharinya di Indonesia mampu mencapai 4500 watt hour per meter persegi yang membuat Indonesia tergolong kaya sumber energi matahari ini. Dengan letaknya di daerah katulistiwa, matahari di Indonesia mampu bersinar hingga 2.000 jam pertahunnya.

Dengan kondisi yang sangat potensial ini sudah saatnya pemerintah dan pihak universitas membuat satu pusat penelitian solar sel agar Indonesia tidak kembali hanya sebagai pembeli divais solar sel di tengah melimpahnya sinar matahari yang diterima di bumi Indonesia. Namun teknologi ini masih terbilang cukup mahal, karena solar sel yang berada di pasaran harganya masih cukup tinggi, sehingga pemerintah masih enggan melirik teknologi ini. Penelitian di bidang tenaga surya sangat dibutuhkan untuk mengembangkan potensi Indonesia sebagai negara tropis. Teknologi sel surya murah dan ramah lingkungan diperlukan untuk pengembangan potensi Indonesia mengembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya.

Sepanjang pengetahuan penulis, level produksi sel surya di Indonesia masih dalam tahap assembly atau perakitan yang beberapa bahannya diimpor dan sebagian diproduksi di dalam negeri. PT LEN sejauh ini mampu membuat sel surya tersebut. Secara khusus, pabrik sel surya di Indonesia masih terbilang sangat langka. Produk sel surya yang dipasarkan di Indonesia mayoritas merupakan hasil impor.

Sel surya mengandalkan siraman sinar matahari dengan intensitas yang memadai. Dengan letak geografis Indonesia di khatulistiwa dengan jaminan limpahan sinar matahari sepanjang tahun tidak mengalami perubahan berarti, maka sel surya

patut menjadi salah satu bentuk energi masa depan yang perlu dikembangkan oleh anak bangsa. Hal ini pula didukung oleh efisiensi sel surya yang terus meningkat plus biaya produksinya yang semakin kecil.

#### **Sarana pendukung pemanfaatan sel surya**

Sel surya hanya merupakan satu komponen penyerap cahaya yang langsung mengkonversi cahaya tsb menjadi listrik. Agar listrik dari sel surya ini dapat dimanfaatkan, maka sel surya membutuhkan apa yang disebut dengan Balance of System (BOS) yang paling minim terdiri atas; inverter (mengubah listrik DC dari sel surya menjadi listrik AC untuk keperluan sehari-hari), baterai (untuk menyimpan kelebihan muatan listrik guna pemakaian darurat atau malam hari), serta beberapa buah controller untuk mengatur secara optimal daya keluaran sel surya.

Secara umum, harga sel surya berikut BOS sekitar US\$ 8-10/Watt. Harga ini harga sel surya tanpa adanya subsidi atau potongan harga dsb. Dan biaya sel surya biasa dikonversi ke dalam satuan US\$/Watt. Jika seseorang ingin membeli sel surya untuk keperluan penerangan rumah tangga yang sekitar 900 Watt, maka secara kasar biaya yang perlu dikeluarkan (diinvestasikan) sebesar  $900 \text{ Watt} \times \text{US\$ } 8 = \text{US\$ } 7200$ . Harga ini sudah termasuk biaya pemasangan dan beberapa komponen pendukung untuk dipasang di atap sebuah rumah. Dengan adanya beberapa kebijakan pemerintah (subsidi, potongan harga, kredit pembelian dsb) harga sel surya ini dapat ditekan hingga hanya tinggal 30% saja.

Sistem sel surya yang digunakan di permukaan bumi terdiri dari panel sel surya, rangkaian kontroler pengisian (charge controller), dan aki (batere) 12 volt yang maintenance free. Panel sel surya merupakan modul yang terdiri beberapa sel surya yang digabung dalam hubungannya seri dan paralel tergantung ukuran dan kapasitas yang diperlukan. Yang sering digunakan adalah modul sel surya 20 watt

atau 30 watt. Modul sel surya itu menghasilkan energi listrik yang proporsional dengan luas permukaan panel yang terkena sinar matahari.

Rangkaian kontroler pengisian aki dalam sistem sel surya itu merupakan rangkaian elektronik yang mengatur proses pengisian akinya.

Kontroler ini dapat mengatur tegangan aki dalam selang tegangan 12 volt plus minus 10 persen. Bila tegangan turun sampai 10,8 volt, maka kontroler akan mengisi aki dengan panel surya sebagai sumber dayanya. Tentu saja proses pengisian itu akan terjadi bila berlangsung pada saat ada cahaya matahari. Jika penurunan tegangan itu terjadi pada malam hari, maka kontroler akan memutuskan pemasokan energi listrik. Setelah proses pengisian itu berlangsung selama beberapa jam, tegangan aki itu akan naik. Bila tegangan aki itu mencapai 13,2 volt, maka kontroler akan menghentikan proses pengisian aki itu.

Rangkaian kontroler pengisian itu sebenarnya mudah untuk dirakit sendiri. Tapi, biasanya rangkaian kontroler ini sudah tersedia dalam keadaan jadi di pasaran. Memang harga kontroler itu cukup mahal kalau dibeli sebagai unit tersendiri. Kebanyakan sistem sel surya itu hanya dijual dalam bentuk paket lengkap yang siap pakai. Jadi, sistem sel surya dalam bentuk paket lengkap itu jelas lebih murah dibandingkan dengan bila merakit sendiri.

Biasanya panel surya itu letakkan dengan posisi statis menghadap matahari. Padahal bumi itu bergerak mengelilingi matahari. Orbit yang ditempuh bumi berbentuk elip dengan matahari berada di salah satu titik fokusnya. Karena matahari bergerak membentuk sudut selalu berubah, maka dengan posisi panel surya itu yang statis itu tidak akan diperoleh energi listrik yang optimal. Agar dapat terserap secara maksimum, maka sinar matahari itu harus diusahakan selalu jatuh tegak lurus pada permukaan panel surya.

Jadi, untuk mendapatkan energi listrik yang optimal, sistem sel surya itu masih harus dilengkapi pula dengan rangkaian kontroler optional untuk mengatur arah permukaan panel surya agar selalu menghadap matahari sedemikian rupa sehingga sinar matahari jatuh hampir tegak lurus pada panel suryanya. Kontroler seperti ini dapat dibangun, misalnya, dengan menggunakan mikrokontroler 8031. Kontroler ini tidak sederhana, karena terdiri dari bagian perangkat keras dan bagian perangkat lunak. Biasanya, paket sistem sel surya yang lengkap belum termasuk kontroler untuk menggerakkan panel surya secara otomatis supaya sinar matahari jatuh tegak lurus. Karena itu, kontroler macam ini cukup mahal.

Ada beberapa alasan mengapa harga sel surya terbilang sangat mahal dibandingkan dengan listrik yang dihasilkan oleh pembangkit konvensional:

1. Pertama, sel surya mengandalkan bahan silikon sebagai material penyerap cahaya matahari. Dan harga silikon ini meningkat seiring dengan permintaan industri semikonduktor ditambah dengan suplai bahan baku silikon yang terbatas. Silikon yang dipakai sebagai bahan dasar chip di dunia mikroelektronika/semikonduktor ini semakin dibutuhkan mengingat adanya peningkatan tajam untuk produksi peralatan elektronika mulai dari komputer, monitor, televisi dsb. Hal ini diperparah dengan jenis sel surya yang paling banyak dipasarkan di dunia yakni sel surya jenis silikon sehingga sel surya secara langsung harus berkompetisi dengan industri lain untuk mendapatkan bahan baku silikon.
2. Kedua, perlu digaris bawahi bahwa harga listrik konvensional sebagai bahan perbandingan harga listrik sel surya ialah harga setelah mendapat subsidi. Subsidi ini dimaksudkan agar listrik dapat menjangkau segala lapisan masyarakat, sedangkan sel surya sebaliknya, tidak mendapat subsidi atau dukungan yang membuat harga sel surya terasa mahal. Sebagai perbandingan, di negara-negara yang sudah mapan memanfaatkan sel surya, pemerintah negara-negara tersebut sudah memberlakukan segala program kebijakan

agar sel surya dapat memasyarakat semisal subsidi, kredit pembelian, feed-in-tariff dan sebagainya. Sebagai contoh di Korea Selatan, harga sel surya yang dibeli oleh konsumen setempat mampu ditekan hingga 70% sekitar US\$ 3 hingga 4 per Watt-nya.

Ada beberapa toko di bilangan Jakarta yang menyediakan produk berikut perangkat penunjang sel surya. Beberapa toko memasarkan sel surya dengan harga Rp. 5 Juta/50 Watt modul sel surya. Harganya mengikuti harga pasaran internasional kira-kira US\$ 10/Watt.

### **Photovoltaic**

Pengertian photovoltaic sendiri merupakan proses merubah cahaya menjadi energi listrik. Oleh karena itu bidang penelitian yang berkenaan dengan energi surya ini sering juga dikenal dengan penelitian photovoltaic. Kata photovoltaic sendiri sebenarnya berasal dari bahasa Yunani "photos", yang berarti cahaya dan "volta" yang merupakan nama ahli fisika dari Italia yang menemukan tegangan listrik. Sehingga secara bahasa dapat diartikan sebagai cahaya dan listrik photovoltaic.

Efek photovoltaic pertama kali berhasil diidentifikasi oleh seorang ahli Fisika berkebangsaan Prancis, Alexandre Edmond Becquerel pada tahun 1839. Atas prestasinya dalam menemukan fenomena photovoltaic ini, Becquerel mendapat Nobel fisika pada tahun 1903 bersama dengan Pierre dan Marrie Curie. Baru pada tahun 1883 divais solar sel pertama kali berhasil dibuat oleh Charles Fritts.

Charles Fritts saat itu membuat semikonduktor Selenium yang dilapisi dengan lapisan emas yang sangat tipis sehingga berhasil membentuk rangkaian seperti hubungan semikonduktor tipe p dan tipe n. Pada saat itu efisiensi yang didapat baru sekitar 1 %. Pada perkembangan berikutnya seorang peneliti bernama Russel Ohl dikenal sebagai orang pertama yang membuat paten tentang

divais solar sel modern. Efisiensi divais solar sel dan harga pembuatan solar sel merupakan masalah yang paling penting untuk merealisasikan solar sel sebagai sumber energi alternatif.

### **Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)**

Cara kerja sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan menggunakan Grid-Connected panel sel surya Photovoltaic untuk perumahan : . Modul sel surya Photovoltaic merubah energi surya menjadi arus listrik DC. Arus listrik DC yang dihasilkan ini akan dialirkan melalui suatu inverter (pengatur tenaga) yang merubahnya menjadi arus listrik AC, dan juga dengan otomatis akan mengatur seluruh sistem. Listrik AC akan didistribusikan melalui suatu panel distribusi indoor yang akan mengalirkan listrik sesuai yang dibutuhkan peralatan listrik. Besar dan biaya konsumsi listrik yang dipakai di rumah akan diukur oleh suatu Watt-Hour Meters.

Komponen utama sistem surya fotovoltaik adalah modul yang merupakan unit rakitan beberapa sel surya fotovoltaik. Untuk membuat modul fotovoltaik secara pabrikasi bisa menggunakan teknologi kristal dan thin film. Modul fotovoltaik kristal dapat dibuat dengan teknologi yang relatif sederhana, sedangkan untuk membuat sel fotovoltaik diperlukan teknologi tinggi.

Modul fotovoltaik tersusun dari beberapa sel fotovoltaik yang dihubungkan secara seri dan paralel. Biaya yang dikeluarkan untuk membuat modul sel surya yaitu sebesar 60% dari biaya total. Jadi, jika modul sel surya itu bisa diproduksi di dalam negeri berarti akan bisa menghemat biaya pembangunan PLTS. Untuk itulah, modul pembuatan sel surya di Indonesia tahap pertama adalah membuat bingkai (frame), kemudian membuat laminasi dengan sel-sel yang masih diimpor. Jika permintaan pasar banyak maka pembuatan sel dilakukan di dalam negeri. Hal ini karena teknologi pembuatan sel surya dengan bahan silikon single dan poly cristal secara teoritis sudah dikuasai.

Dalam bidang fotovoltaik yang digunakan pada PLTS, Indonesia ternyata telah melewati tahapan penelitian dan pengembangan dan sekarang menuju tahapan pelaksanaan dan instalasi.

Teknologi ini cukup canggih dan keuntungannya adalah harganya murah, bersih, mudah dipasang dan dioperasikan dan mudah dirawat. Sedangkan kendala utama yang dihadapi dalam pengembangan energi surya fotovoltaik adalah investasi awal yang besar dan harga per kWh listrik yang dibangkitkan relatif tinggi, karena memerlukan subsistem yang terdiri atas baterai, unit pengatur dan inverter sesuai dengan kebutuhannya.

Bahan sel surya sendiri terdiri kaca pelindung dan material adhesive transparan yang melindungi bahan sel surya dari keadaan lingkungan, material anti-refleksi untuk menyerap lebih banyak cahaya dan mengurangi jumlah cahaya yang dipantulkan, semikonduktor P-type dan N-type (terbuat dari campuran Silikon) untuk menghasilkan medan listrik, saluran awal dan saluran akhir (terbuat dari logam tipis) untuk mengirim elektron ke perabot listrik.

Cara kerja sel surya sendiri sebenarnya identik dengan piranti semikonduktor dioda. Ketika cahaya bersentuhan dengan sel surya dan diserap oleh bahan semikonduktor, terjadi pelepasan elektron. Apabila elektron tersebut bisa menempuh perjalanan menuju bahan semi-konduktor pada lapisan yang berbeda, terjadi perubahan sigma gaya-gaya pada bahan. Gaya tolakan antar bahan semikonduktor, menyebabkan aliran medan listrik. Dan menyebabkan elektron dapat disalurkan ke saluran awal dan akhir untuk digunakan pada perabot listrik.

### **PLTS di Indonesia**

Memperhatikan kesuksesan Arab Saudi dalam mengaplikasikan pembangkit listrik PV sebagai pensuplai energi listrik untuk penerangan terowongan,

Indonesia dapat pula meniru kesuksesan tersebut bila adanya keseriusan dari pemerintah Indonesia di bidang ini. Penduduk Indonesia yang berjumlah sekitar 220 juta, sebagian besar tinggal di pedesaan dan masih banyak yang belum mendapatkan akses terhadap energi listrik. Sehingga perlu suatu kebijakan yang dapat mendorong penyediaan energi khususnya listrik bagi masyarakat pedesaan.

Pemerintah Indonesia telah berupaya untuk menyediakan energi bagi masyarakat pedesaan terutama listrik. Pemerintah telah mencanangkan program listrik masuk desa bahkan program listrik bertenaga sumber daya lokal seperti tenaga surya. Namun semua itu belum cukup, karena masih banyak daerah pedesaan terutama di daerah terpencil yang belum terjangkau karena sulitnya medan dan besarnya biaya dan investasi yang diperlukan.

Penerapan PLTS oleh BPPT dimulai dengan pemasangan 80 unit PLTS (Solar Home System, Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Lampu Penerangan Rumah) di Desa Sukatani, Jawa Barat pada tahun 1987. Setelah itu pada tahun 1991 dilanjutkan dengan proyek Bantuan Presiden (Banpres Listrik Tenaga Surya masuk Desa) untuk pemasangan 3.445 unit SHS di 15 propinsi yang dinilai layak dari segi kebutuhan (tidak terjangkau oleh PLN), kemampuan masyarakat setempat (pembayaran dengan cara mencicil) dan persyaratan teknis lainnya.

Program Banpres Listrik Tenaga Surya Masuk Desa yang telah memperoleh sambutan sangat menggembirakan dari masyarakat pedesaan dan telah terbukti dapat berjalan dengan baik akan dijadikan model guna implementasi Program Listrik Tenaga Surya untuk Sejuta Rumah.

Program ini juga merupakan salah upaya untuk mencapai target Pemerintah dalam melistriki seluruh pedesaan dan daerah terpencil di Indonesia dengan ratio elektrifikasi nasional di atas 75 %. Besarnya biaya investasi untuk per unit PLTS

ini mendorong BPPT mencari sumber dana pembiayaan serta membuat pola pengelolaan dan pendanaan. Pola ini terus berubah sejalan dengan kebijakan Pemerintah yang berlaku.

Semenjak tahun 2005, Pemerintah optimis terhadap program-program energi yang dirancangnya melalui Blueprint Pengelolaan Energi Nasional. Banyak jenis energi baru dan terbarukan (EBT) mulai dinyatakan untuk dikelola secara resmi dan serius di tataran nasional. Salah satunya energi surya, dimana merupakan salah satu perhatian pemerintah dalam meningkatkan aplikasi energi alternatif di Indonesia. Energi surya difokuskan untuk memenuhi kebutuhan energi pada sektor Pembangkitan Tenaga Listrik serta menangani kebutuhan energi Rumah Tangga dan Bangunan Komersial.. Pemerintahpun telah membuat Roadmap Energi Surya untuk mendeskripsikan target-target spesifik dalam mewujudkan keinginan negara ini.

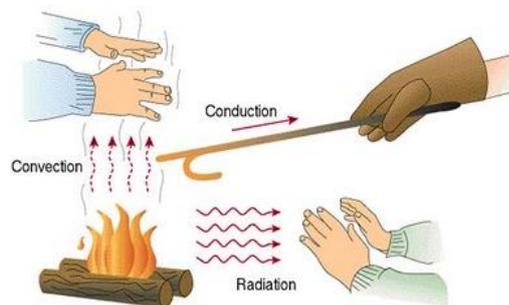
Kondisi bumi kita kian lama kian mengesankan karena tercemarnya lingkungan dari efek rumah kaca (greenhouse effect) yang menyebabkan global warming, hujan asam, rusaknya lapisan ozon hingga hilangnya hutan tropis. Semua jenis polusi itu rata-rata akibat dari penggunaan bahan bakar fosil seperti minyak bumi, uranium, plutonium, batu bara dan lainnya yang tiada hentinya. Padahal kita tahu bahwa bahan bakar dari fosil tidak dapat diperbaharui, tidak seperti bahan bakar non-fosil.

Dengan kondisi yang sudah sedemikian memprihatinkan, gerakan hemat energi sudah merupakan keharusan di seluruh dunia. Salah satunya dengan hemat bahan bakar dan menggunakan bahan bakar dari non-fosil yang dapat diperbaharui seperti tenaga angin, tenaga air, energi panas bumi, tenaga matahari, dan lainnya. Duniapun sudah mulai merubah tren produksi dan penggunaan bahan bakarnya, dari bahan bakar fosil beralih ke bahan bakar non-fosil, terutama tenaga surya yang tidak terbatas.

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) akan lebih diminati karena dapat digunakan untuk keperluan apa saja dan di mana saja : bangunan besar, pabrik, perumahan, dan lainnya. Selain persediaannya tanpa batas, tenaga surya nyaris tanpa dampak buruk terhadap lingkungan dibandingkan bahan bakar lainnya. Di negara-negara industri maju seperti Jepang, Amerika Serikat, dan beberapa negara di Eropa dengan bantuan subsidi dari pemerintah telah diluncurkan program-program untuk memasyarakatkan listrik tenaga surya ini. Tidak itu saja di negara-negara sedang berkembang seperti India, Mongol promosi pemakaian sumber energi yang dapat diperbaharui ini terus dilakukan.

## 2.2. Prinsip perpindahan panas secara konduksi, konveksi dan radiasi

Gambar 2. 1 | Perpindahan panas konveksi, radiasi dan konduksi

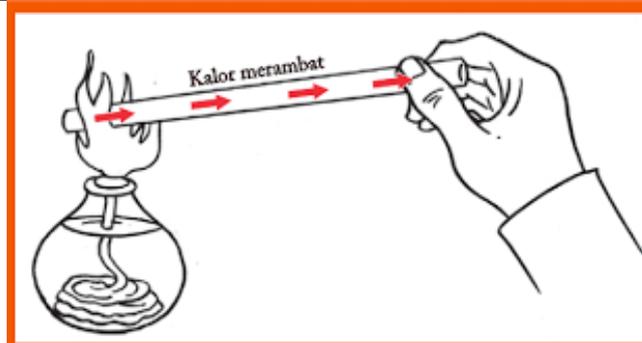


### Pengertian perpindahan panas konveksi, radiasi dan konduksi

Pernahkah anda berfikir apa yang menyebabkan air dalam panci diletakkan diatas kompor bisa mendidih? Tentu hal tersebut bisa terjadi karena adanya perubahan kalor (panas) dari kompor (api) menuju panci kemudian diteruskan ke air. Sebagaimana yang kita ketahui bahwa suhu didih air adalah 100 derajat celcius, maka air baru akan mendidih setelah suhunya mencapai 100°C. Ada beberapa cara bagi kalor (panas) untuk berpindah yakni ada 3 cara, apa sajakah cara tersebut? Cara tersebut yakni: Konduksi, radiasi dan Konveksi.

## 1. Konduksi

Gambar 2. 2 Perpindahan panas secara konduksi



Pada konduksi perpindahan energi panas (kalor) tidak di ikuti dengan zat perantaranya. Misalnya saja anda menaruh batang besi membara ke batang besi lain yang dingin. Anda tidak akan melihat besi membara itu bergerak namun tiba-tiba besi yang semula dingin akan menjadi panas. Atau dengan contoh yang lebih simpel, yakni satu logam panjang yang dipanaskan. Satu ujung logam panjang yang di beri nama A dipanaskan maka beberapa saat kemudian ujung yang lain (kita sebut ujung B) juga akan ikut panas. Pemanfaatan Konduksi dalam kehidupan sehari-hari sendiri bisa dengan mudah kita temukan, misalnya saja saat memasak air maka kalor berpindah dari api (kompor) menuju panci dan membuat air mendidih.

## 2. Radiasi

Gambar 2. 3 Perpindahan panas secara radiasi

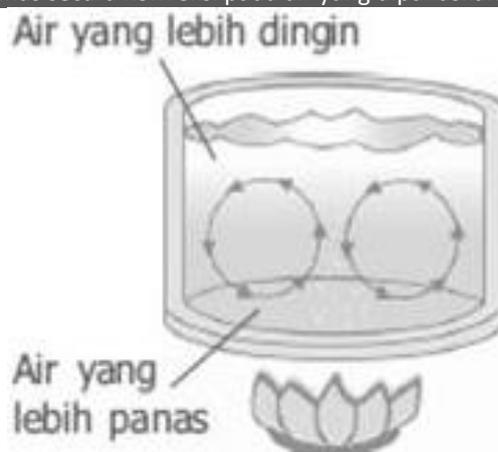


Merupakan proses terjadinya perpindahan panas (kalor) tanpa menggunakan zat perantara. Perpindahan kalor secara radiasi tidak membutuhkan zat perantara, contohnya anda bisa melihat bagaimana matahari memancarkan panas ke bumi dan api yang memancarkan hangat ke tubuh anda. Kalor dapat di radiasikan melalui bentuk gelombang cahaya, gelombang radio dan gelombang elektromagnetik. Radiasi juga dapat dikatakan sebagai perpindahan kalor melalui media atau ruang yang akhirnya diserap oleh benda lain.

Contoh radiasi dalam kehidupan sehari-hari dapat anda lihat saat anda menyalakan api unggun, anda berada di dekat api unggun tersebut dan anda akan merasakan hangat. Satu lagi, pernahkah anda memegang candi prambanan di siang hari? Menurut anda apa yang membuat candi tersebut hangat saat siang hari? Ya karena mendapat radiasi panas dari matahari.

### 3. Konveksi

Gambar 2. 4 Perpindahan panas secara konveksi pada air yang dipanaskan



Merupakan perpindahan kalor (panas) yang disertai dengan berpindahnya zat perantara. Konveksi sebenarnya mirip dengan Induksi, hanya saja jika Induksi adalah perpindahan kalor tanpa disertai zat perantara sedangkan konveksi merupakan perpindahan kalor yang di ikuti zat perantara. Contoh konveksi dalam kehidupan sehari-hari dapat anda lihat pada proses pemasakan air, apakah anda

tau apa yang terjadi saat air dimasak? Saat air dimasak maka air bagian bawah akan lebih dulu panas, saat air bawah panas maka akan bergerak ke atas (dikarenakan terjadinya perubahan masa jenis air) sedangkan air yang diatas akan bergerak kebawah begitu seterusnya sehingga keseluruhan air memiliki suhu yang sama. Selain itu contoh konveksi yang lain juga dapat anda temui pada ventilasi ruangan dan cerobong asap.

Sekian semoga membawa manfaat bagi anda. Panas (kalor) memang sangat bermanfaat bagi manusia, namun jika tidak bisa dimanfaatkan dengan benar maka bisa saja justru bisa merugikan. Semua itu tergantung bagaimana cara kita menggunakan dan mengadakan. Jangan lupa baca pengertian Global warming (pemanasan global) dan bagaimana cara mengatasinya, yang juga masih seputar panas.

### **2.3. Prinsip konversi energi matahari menjadi panas pada peralatan pemanas (pemanas air dan pengering)**

Bagaimana Pemanas Air Tenaga Surya Bekerja ?

Pemanas air tenaga surya bekerja berdasarkan dua fenomena:

Warna hitam penyerap panas, dan air panas mengalir ke atas.

Sistem ini sangat sederhana dan bagian yang bergerak hanyalah air itu sendiri.

Permukaan Selektif

Type dari suatu sistem yang dipasang tergantung pada penggunaan air dan kondisi udara luar. Permukaan yang dicat hitam dapat ditingkatkan dengan menggunakan permukaan 'selektif'. Permukaan absorber diproses melalui dua tahap, dengan lapisan nickel dan lapisan akhir menggunakan black chrome. Kinerja dari black chrome sangat superior karena kemampuannya menyerap dan menahan energi matahari. Permukaan selektif digunakan untuk kondisi dingin, berawan untuk mengatasi radiasi matahari yang rendah.

a. Prinsip Thermosiphon Langsung

Pada absorber yang diisi air dingin, pada waktu matahari memanaskan kolektor, air panas mengalir keatas masuk kedalam tangki. Air dingin turun kebagian bawah kolektor. Matahari memanaskan air tersebut di dalam kolektor, dan sirkulasi berlangsung terus menerus. Prinsip ini disebut efek Thermosiphon. Makin besar beda temperatur air, makin cepat aliran air panas ke tangki. Pada waktu tidak ada sinar matahari, maka efek Thermosiphon berhenti, dan air disimpan dalam tangki, tetapi panas karena adanya isolasi tangki yang tebal dan masif.

b. Prinsip Thermosiphon Dengan Heat Exchanger

Pada daerah dengan temperatur mencapai titik beku. Sistem konvensional dengan Open Circuit tidak cocok karena air beku akan mengembang dan memecah pipa pada absorber yang memerlukan biaya perbaikan yang tinggi dan tidak ditanggung sebagai garansi oleh pabrikan. Solahart mengembagkan dan mem-paten-kan sistem Heat Exchanger yang unik yang dikenal dengan nama 'Jacketed Solar Water Heater'. Design ini meng-eliminir kemungkinan kerusakan tersebut. Jacket dipasang sekeliling silinder penyimpanan dan dihubungkan dengan absorber. Prinsip Thermosiphon yang sama berproses pada sistem ini. Panas yang dihasilkan kemudian ditransfer ke air yang disimpan dalam tangki.

c. Booster Pemanas Air Tenaga Surya

Jumlah air yang dipanaskan oleh matahari bervariasi pada kondisi iklim suatu daerah. Bahkan pada waktu kondisi berawan dan hujan, tetap ada sejumlah energi matahari yang diserap oleh absorber. Ada beberapa daerah di dunia dimana Pemanas Air Tenaga Surya memenuhi kebutuhan air panas tanpa memakai booster. Tetapi, bagi kebanyakan orang, booster diperlukan untuk menutupi kekurangan radiasi matahari pada musim dingin atau hujan.

Booster listrik adalah yang paling umum dipakai, walaupun booster yang paling efisien dan bersih adalah gas booster buatan Solahart. Apapun jenis booster yang dipakai, thermostat akan mengontrol secara otomatis penggunaan energi booster. Pada gas booster, penyalan api sepenuhnya otomatis. Dengan booster listrik atau gas, pemakai dapat mengatur pemakaiannya pada saat biayanya lebih murah.

d. Pemanasan Kembali Air

Apabila semua air panas pada Solahart habis dipakai, maka diperlukan hanya sebentar untuk memanaskan kembali. Waktu pemanasan tergantung pada sinar matahari dan jenis booster. Dari temperatur 20 C, booster listrik memerlukan kira-kira satu jam untuk menghasilkan air panas untuk shower pada 45 C. Umumnya gas booster lebih cepat. Pemanasan kembali akan lebih cepat pada saat matahari mencapai puncaknya (jam 9.00 pagi sampai dengan jam 3.00 sore). Apabila air panas dipakai pada pagi hari, maka matahari akan memanaskan kembali air dingin. Faktor ini menghemat biaya dan menjamin lingkungan yang bersih.

### **Prinsip Dasar Pengeringan**

Proses pengeringan pada prinsipnya menyangkut proses pindah panas dan pindah massa yang terjadi secara bersamaan (simultan). Pertama-tama panas harus ditransfer dari medium pemanas ke bahan. Selanjutnya setelah terjadi penguapan air, uap air yang terbentuk harus dipindahkan melalui struktur bahan ke medium sekitarnya. Proses ini akan menyangkut aliran fluida di mana cairan harus ditransfer melalui struktur bahan selama proses pengeringan berlangsung. Jadi panas harus disediakan untuk menguapkan air dan air harus mendifusi melalui berbagai macam tahanan agar supaya dapat lepas dari bahan dan berbentuk uap air yang bebas. Lama proses pengeringan tergantung pada bahan yang dikeringkan dan cara pemanasan yang digunakan.

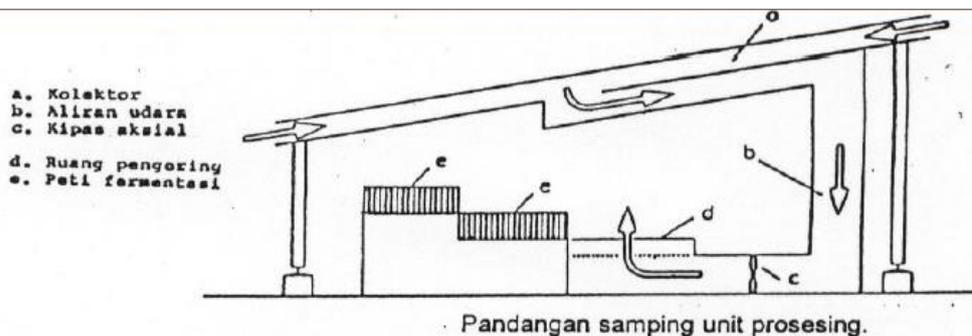
### Pengeringan sederhana (dengan cara penjemuran)

Penjemuran adalah usaha pembuangan atau penurunan kadar air suatu bahan untuk memperoleh tingkat kadar air yang seimbang dengan kelembaban nisbi udara atmosfer.

### Rumah Pengering Surya

- atap seluas 100 m<sup>2</sup> dan berfungsi juga sebagai kolektor matahari. Udara masuk ke kolektor sehingga menjadi panas. Dengan menggunakan kipas angin (blower), udara panas tersebut kemudian "ditarik" dan dihembus ke tempat pengering. Pemasangan atap dibuat dengan kemiringan 10° pada arah utara-selatan.
- Rumah pengering ini dirancang untuk memeroses 2-3 ton biji kakao basah, menggunakan 4 buah blower aksial.
- unit ini mampu berfungsi dengan efektif. Satu siklus pengolahan berlangsung selama 5 hari. Dengan pengoperasian tungku pada malam hari, waktu pengeringan lebih singkat yaitu sekitar 36-44 jam.

Gambar 2.5 Rumah pengering menggunakan energi sinar matahari



### 2.4. Prinsip konversi energi matahari menjadi listrik

Sel-sel surya yang biasa kita lihat pada kalkulator, panel surya di atap rumah, atau pada satelit komunikasi, merupakan modul fotovoltaik. Desain sel surya pertama kali dibuat oleh Charles Fritts pada 1883 dengan cara melapisi semikonduktor Selenium dengan lapisan emas ultratipis. Sel surya generasi pertama ini hanya memiliki tingkat efisiensi sebesar 1 persen.

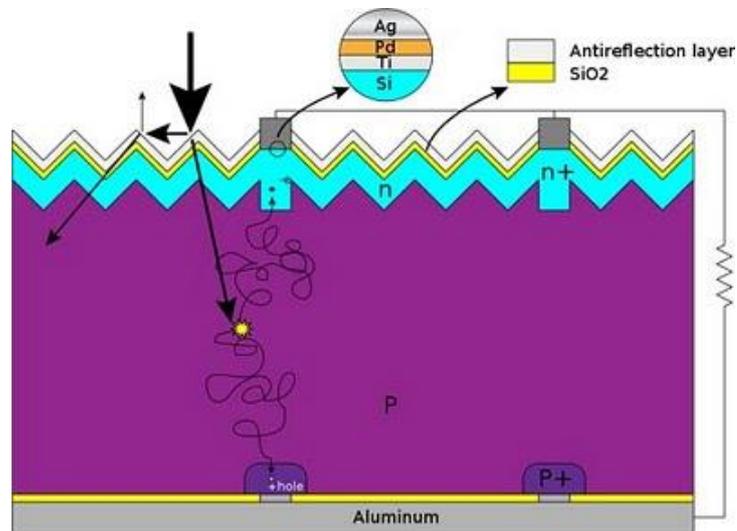
Untuk meningkatkan efisiensi, sel-sel PV modern dibuat dengan material khusus, antara lain silikon. Pada 1954, **Darryl Chapin** dan **Cal Fuller**, dua ilmuwan dari *Bell Labs*, menemukan bahwa material silikon yang di-*dope* dengan beberapa zat pencampur akan menghasilkan material yang sangat sensitif terhadap cahaya. Penemuan ini menghasilkan sel surya pertama yang dapat digunakan secara praktis (dapat diterapkan untuk penggunaan sehari-hari), dengan efisiensi konversi sinar matahari menjadi listrik sekitar enam persen.

Momentum penemuan material baru dengan tingkat efisiensi yang lebih baik oleh Darryl Chapin dan Cal Fuller mendorong sejumlah negara memberi pendanaan bagi penelitian-penelitian yang bertujuan mengembangkan teknologi sel surya. Salah satu hasilnya adalah peningkatan efisiensi konversi hingga 15 persen. Penggunaan pertama panel surya untuk kepentingan masyarakat secara langsung adalah di Americus, sebuah kawasan pedesaan dan kota kecil yang terisolir di negara bagian Georgia. Pembangkit listrik tersebut digunakan untuk sumber energi bagi sistem relai telepon setempat. Program tersebut sukses dan berjalan lancar selama bertahun-tahun.

#### **Prinsip kerja panel surya**

**Secara sederhana, cara kerja panel surya PV dalam mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik dapat dirangkum ke dalam tiga urutan proses konversi:**

Gambar 2. 6 Proses konversi cahaya matahari menjadi energi listrik



1. Ketika foton yang terdapat pada sinar matahari mengenai sel-sel PV pada panel surya, sebagian akan diserap oleh material semikonduktor (silikon). Energi dari foton yang diserap itu dengan demikian juga ditransfer kepada semikonduktor.
2. Elektron-elektron yang terkena tumbukan energi foton akan terlepas dari atom, membuat mereka mengalir secara bebas dan dengan demikian menciptakan arus listrik. Komposisi dan desain khusus pada sel-sel PV mengarahkan elektron-elektron tersebut agar mengalir sesuai jalur yang dikehendaki.
3. Kontak/penghubung logam pada bagian atas dan bawah sel-sel surya menyalurkan keluar listrik arus searah (*direct current, DC*) yang dihasilkan untuk digunakan sesuai kepentingan.

Secara detil, proses yang terjadi sesungguhnya jauh lebih rumit. Namun ketiga urutan langkah di atas menggambarkan secara sederhana apa yang terjadi di dalam sebuah panel surya ketika mereka bekerja keras mengubah sinar matahari menjadi listrik yang bermanfaat buat kepentingan manusia.

### Efisiensi dan *energy payback* dari panel surya

Sinar matahari memang gratis, namun untuk mengubahnya menjadi listrik tidak gratisan. Untuk mengetahui apakah proses konversi sinar matahari menjadi listrik dengan panel surya itu layak secara ekonomis atautkah sekadar teknologi yang membuang-buang duit, waktu, dan pikiran, digunakanlah parameter *energy payback*.

*Energy payback* - atau dikenal juga sebagai *harvesting ratio* - adalah periode *recovery* alias pemulihan energi yang dibelanjakan selama proses pembuatan sistem energi. Panel surya modern merupakan *net energy producer*, artinya panel surya tersebut selama masa pakainya memproduksi energi dalam jumlah yang lebih besar dibanding jumlah energi yang dipakai untuk proses pembuatannya.

Teknologi fotovoltaik mengalami kemajuan secara signifikan sehingga modul PV modern saat ini memiliki *energy payback* antara 1 - 4 tahun (tergantung pada tipe dan tempat panel itu digunakan). Teknologi *thin film* bahkan secara signifikan mampu memperpendek waktu *energy payback* menjadi kurang dari satu tahun dengan masa pakai 20 hingga 30 tahun. Ini artinya biaya yang anda keluarkan untuk membeli instalasi panel surya akan kembali dalam waktu kurang dari satu tahun. Tentu yang dimaksud biaya kembali di sini bukan dalam bentuk uang *cash*, melainkan berupa penghematan biaya tagihan atau biaya lain yang biasa anda keluarkan jika berlangganan listrik biasa.

Gambar 2. 7 Fotovoltaik atap rumah



*First Solar Inc*, sebuah perusahaan pembuat panel surya Amerika Serikat, telah mampu menurunkan biaya pembuatan panel surya hingga \$1 per watt. Walau demikian, menurut *Popular Mechanic*, komponen biaya pembuatan hanya memiliki andil kurang dari setengah biaya instalasi panel surya secara keseluruhan. Untuk dapat meraih *grid parity*(tingkat kelayakan ekonomi yang sama dengan listrik konvensional), biaya pembuatan harus bisa ditekan setidaknya hingga \$0.65 to \$0.70 per watt, dan biaya instalasi lain tidak boleh lebih dari \$1 per watt. Target ini diharapkan dapat dicapai pada 2012.

Panel surya - walau telah mengalami peningkatan yang signifikan dalam teknologinya - sejauh ini masih belum mampu bersaing dengan sumber energi konvensional. Masih lebih mudah, murah, dan fleksibel bagi kebanyakan orang untuk memilih berlangganan listrik ke PLN daripada menginstal panel surya di atap rumahnya. Namun kita harus memiliki pola pikir jangka panjang. Di masa mendatang permintaan akan semakin meningkat. Tingkat efisiensi modul surya akan semakin tinggi seiring penelitian untuk mencari material dan teknologi yang lebih baik.

Ketika dapat diproduksi secara massal, harga akan cenderung turun. Ketika teknologi sudah benar-benar siap dan *feasible*, akan semakin banyak orang di masa mendatang memilih menggunakan energi hijau, yakni energi yang dihasilkan dari sumber terbarukan dan proses yang tidak merusak lingkungan.

#### **D. Aktivitas Pembelajaran**

1. Peserta diklat membaca uraian materi.
2. Peserta mengerjakan lembar kerja.

**Lembar kerja:**



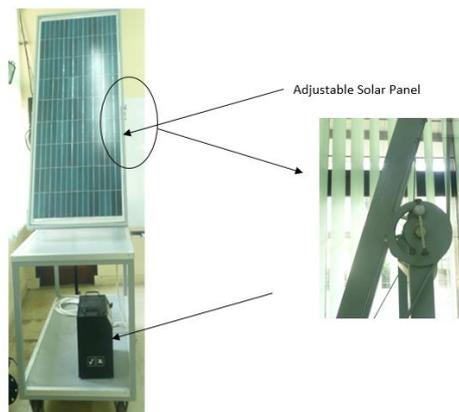
## Pemasangan Dan pengoperasian Adjustable SHS



### I. Tujuan Pembelajaran

- Peserta diklat dapat memasang solar house dengan panel yang dapat diatur.
- Peserta diklat dapat mengoperasikan solar house dengan panel surya yang dapat diatur.
- Peserta diklat menemukan posisi yang tepat untuk memperoleh daya optimal.

Gambar 2. 8 Adjustable Panel Surya



Gambar 2. 9 Mini Generator Set



## II. Alat/Bahan

- a. Panel Surya dapat disetel
- b. Mini Generator Set
- c. Beban Berupa Temperatur dan Frekuensi Counter
- d. Busur derajat

## III. Langkah Kerja

- a. Letakkan Panel Surya pada tempat yang terkena sinar matahari/sumber cahaya.
- b. Sambungkan keluaran dari panel ke 12V DC INPUT-OUTPUT mini generator set
- c. Hubungkan Beban AC ke output 220V.
- d. Nyalakan Saklar
- e. Pertahankan sumber cahaya tetap.
- f. Pasang beban maksimum atau dalam kondisi pengisian ACCU kosong
- g. Buat panel surya tegak lurus sumber cahaya
- h. Ukur Berapa arus dan tegangan dari panel surya.
- i. Aturlah/putar panel surya
- j. Isi tabel berikut:

Delta Sudut	Arus	Tegangan	Beban
0/Tegak Lurus			
10			
20			
30			
45			
60			
-10			
-20			

-30			
-45			
-60			

**Pertanyaan praktek.**

- ✓ Dapatkah kita menggunakan beban DC dari mini generator set?
- ✓ Dari hasil percobaan kondisi mana yang menghasilkan daya max?
- ✓ Dari percobaan apa pengaruh sudut terhadap daya output?
- ✓ Adakah formula/ persamaan antara sudut dengan daya yang dihasilkan?

3. Peserta mengerjakan tes formatif.
4. Setelah dapat mengerjakan LK dan tes formatif dengan benar melanjutkan kegiatan belajar berikutnya.

**E. Rangkuman**

Sel surya ialah sebuah alat yang tersusun dari material semikonduktor yang dapat mengubah sinar matahari menjadi tenaga listrik secara langsung.

Efisiensi didefinisikan sebagai perbandingan antara tenaga listrik yang dihasilkan oleh divais solar sel dibandingkan dengan jumlah energi yang diterima dari pancaran sinar matahari.

Menurut Wilson Wenas total intensitas penyinaran perharinya di Indonesia mampu mencapai 4500 watt hour per meter persegi yang membuat Indonesia tergolong kaya sumber energi matahari.

Sistem sel surya yang digunakan di permukaan bumi terdiri dari panel sel surya, rangkaian kontroler pengisian (charge controller), dan aki (batere) 12 volt yang *maintenance free*.

Harga sel surya terbilang sangat mahal dibandingkan dengan listrik yang dihasilkan oleh pembangkit konvensional karena sel surya mengandalkan bahan silikon sebagai material

penyerap cahaya matahari, harga listrik konvensional sebagai bahan perbandingan harga listrik sel surya ialah harga setelah mendapat subsidi.

Photovoltaic adalah proses merubah cahaya menjadi energi listrik.

Konduksi adalah perpindahan energi panas (kalor) tidak di ikuti dengan zat perantaranya.

Radiasi adalah proses terjadinya perpindahan panas (kalor) tanpa menggunakan zat perantara.

Konveksi adalah perpindahan kalor (panas) yang disertai dengan berpindahnya zat perantara

## **F. Tes Formatif**

1. Efisiensi sel surya adalah perbandingan antara ....
  - a. Tegangan listrik dan energi sinar matahari
  - b. Arus listrik dan energi sinar matahari
  - c. Tenaga listrik dan energi sinar matahari
  - d. Energi sinar matahari dan luas penampang
  
2. Peralatan listrik yang mengubah listrik DC dari sel surya menjadi listrik AC adalah ....
  - a. Inverter
  - b. Travo
  - c. Charger
  - d. Photovoltaic
  
3. Suatu logam panjang yang dipanaskan, Satu ujung logam panjang dipanaskan maka beberapa saat kemudian ujung yang lain juga akan ikut panas, ini disebut perpindahan panas ....
  - a. Radiasi

- b. Konduksi
  - c. Konveksi
  - d. Kohesi
4. Proses pemasakan air bagian bawah akan lebih dulu panas, saat air bawah panas maka akan bergerak ke atas, sedangkan air yang diatas akan bergerak kebawah sehingga keseluruhan air memiliki suhu yang sama, ini disebut perpindahan panas ...
- a. Radiasi
  - b. Konduksi
  - c. Konveksi
  - d. Kohesi
5. Matahari memancarkan panas ke bumi, ini disebut perpindahan panas ....
- a. Radiasi
  - b. Konduksi
  - c. Konveksi
  - d. Kohesi

## **G. Kunci Jawaban**

1. c
2. a
3. b
4. c
5. a

## KEGIATAN PEMBELAJARAN 3 : RADIASI PANAS DAN MATAHARI

### A. Tujuan

Setelah menyelesaikan modul ini, Peserta diklat diharapkan dapat

1. Melaksanakan pendataan pemanfaatan energi matahari dalam kehidupan sehari-hari.
2. Melaksanakan pengukuran potensi energi matahari suatu wilayah.
3. Menentukan spesifikasi pemanas air tenaga matahari.
4. Menentukan spesifikasi pembangkit listrik tenaga surya.

### B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Indikator pencapaian kompetensi, peserta mampu memahami dan menguasai teknik konversi energi tentang radiasi dan panas matahari.

### C. Uraian Materi

#### 3.1. Pendataan Pemanfaatan Energi Matahari Dalam Kehidupan Sehari-Hari

Gambar 3.1 Energi sinar matahari



Tenaga matahari telah dimanfaatkan di banyak belahan dunia dan jika dieksplotasi dengan tepat, energi ini berpotensi mampu menyediakan kebutuhan konsumsi energi dunia saat ini dalam waktu yang lebih lama. Matahari dapat digunakan secara

langsung untuk memproduksi **listrik tenaga matahari** atau untuk memanaskan bahkan untuk mendinginkan. Ada banyak cara untuk memanfaatkan energi dari matahari. Tumbuhan mengubah sinar matahari menjadi energi kimia dengan menggunakan fotosintesis. Kita memanfaatkan energi ini dengan memakan dan membakar kayu.

Bagimanapun, istilah “**tenaga surya**” mempunyai arti mengubah sinar matahari secara langsung menjadi panas atau energi listrik untuk kegunaan kita. Dua tipe dasar **listrik tenaga matahari** adalah “sinar matahari” dan “photovoltaic” (photo-cahaya, voltaic=tegangan) Photovoltaic tenaga matahari: melibatkan pembangkit listrik dari cahaya. Rahasia dari proses ini adalah penggunaan bahan semi konduktor yang dapat disesuaikan untuk melepas elektron, partikel bermuatan negative yang membentuk dasar listrik.

Bahan semi konduktor yang paling umum dipakai dalam sel photovoltaic adalah silikon, sebuah elemen yang umum ditemukan di pasir. Semua sel photovoltaic mempunyai paling tidak dua lapisan semi konduktor seperti itu, satu bermuatan positif dan satu bermuatan negatif. Ketika cahaya bersinar pada semi konduktor, lading listrik menyeberang sambungan diantara dua lapisan menyebabkan listrik mengalir, membangkitkan arus DC. Makin kuat cahaya, makin kuat aliran listrik.

Sistem photovoltaic tidak membutuhkan cahaya matahari yang terang untuk beroperasi. Sistem ini juga membangkitkan listrik di saat hari mendung, dengan energi keluar yang sebanding ke berat jenis awan. Berdasarkan pantulan sinar matahari dari awan, hari-hari mendung dapat menghasilkan angka energi yang lebih tinggi dibandingkan saat langit biru sedang yang benar-benar cerah.

Saat ini, sudah menjadi hal umum piranti kecil, seperti kalkulator, menggunakan solar sel yang sangat kecil. Photovoltaic juga digunakan untuk menyediakan listrik di wilayah yang tidak terdapat jaringan pembangkit tenaga listrik. Penggunaan sel photovoltaic sebagai desain utama oleh para arsitek semakin meningkat. Sebagai

contoh, atap ubin atau slites solar dapat menggantikan bahan atap konvensional. Modul film yang fleksibel bahkan dapat diintegrasikan menjadi atap vaulted, ketika modul semi transparan menyediakan percampuran yang menarik antara bayangan dengan sinar matahari.

Sel photovoltaic juga dapat digunakan untuk menyediakan tenaga maksimum ke gedung pada saat hari di musim panas ketika sistem AC membutuhkan energi yang besar, hal itu membantu mengurangi beban maksimum elektrik. Baik dalam skala besar maupun skala kecil photovoltaic dapat mengantarkan tenaga ke jaringan listrik, atau dapat disimpan dalam selnya.

#### **Pembangkit Listrik Tenaga Panas Matahari**

Kaca-kaca besar mengkonsetrasikan cahaya matahari ke satu garis atau titik. Panas yang dihasilkan digunakan untuk menghasilkan uap panas. Panasnya, tekanan uap panas yang tinggi digunakan untuk menjalankan turbin yang menghasilkan listrik. Di wilayah yang disinari matahari, Pembangkit Listrik Tenaga matahari dapat menjamin pembagian besar produksi listrik.

Berdasarkan proyeksi dari tingkat arus hanya 354MW, pada tahun 2015 kapasitas total pemasangan pembangkit tenaga panas matahari akan melampaui 5000 MW. Pada tahun 2020, tambahan kapasitas akan naik pada tingkat sampai 4500 MW setiap tahunnya dan total pemasangan kapasitas tenaga panas matahari di seluruh dunia dapat mencapai hampir 30.000 MW- cukup untuk memberikan daya untuk 30 juta rumah.

#### **Pemanas dan Pendingin Tenaga Matahari**

Panas tenaga matahari menggunakan panas matahari secara langsung. Pengumpul panas matahari diatap rumah dapat menyediakan air panas untuk rumah, dan sangat membantu menghangatkan rumah. Sistem panas matahari berdasarkan prinsip sederhana yang telah dikenal selama berabad-abad: matahari memanaskan air yang

mengisi bejana gelap. Teknologi tenaga panas matahari yang ada di pasar saat ini sangat efisien dan bisa diandalkan. Saat ini pasar menyediakan tenaga matahari untuk aplikasi dengan cakupan luas, dari pemanas air domestik dan pemanas ruangan di perumahan dan gedung-gedung komersial, sampai pemanas kolam renang, tenaga matahari-pendingin, proses pemanasan industri dan memproses air menjadi tawar.

Saat ini produksi pemanas air panas domestik merupakan aplikasi paling umum untuk tenaga panas matahari. Di beberapa negara hal ini telah menjadi sarana yang umum digunakan oleh gedung tempat tinggal. Tergantung pada kondisi dan konfigurasi sistem, kebutuhan air panas dapat disediakan oleh tenaga matahari hingga 100% . Sistem yang lebih besar dapat ditambahkan untuk menutupi bagian penting dari kebutuhan energi untuk pemanas ruangan. Ada dua tipe teknologi: Tabung vakum-penyedot di dalam tabung vakum menyedot radiasi dari matahari dan memanaskan cairan di dalam, seperti di panel tenaga matahari datar.

Tambahan radiasi diambil dari reflektor di belakang tabung. Bentuk bundar tabung vakum membuat cahaya matahari dari berbagai sudut dapat mencapai penyerap secara langsung. Bahkan di saat mendung, ketika cahaya datang dari banyak sudut pada saat bersamaan, tabung vakum kolektor tetap dapat efektif. Kolektor solar panel datar- pada dasarnya merupakan kotak yang ditutupi kaca yang ditaruh di atap seperti cahaya langit. Di dalam kotak terdapat serangkaian tabung pemotong dengan sirip pemotong terpasang. Seluruh struktur dilapisi substansi hitam yang didesain untuk menangkap sinar matahari. Sinar ini memanaskan air dan campuran bahan anti beku, yang beredar dari kolektor turun ke pemanas air di bawah tanah.

Pendingin tenaga matahari: Pendingin tenaga matahari menggunakan sumber energi panas untuk menghasilkan dingin dan /atau mengurangi kelembaban udara dengan cara yang sama dengan lemari pendingin atau AC konvensional. Aplikasi ini cocok dengan energi panas matahari, sejalan dengan meningkatnya permintaan pendingin ketika panas matahari banyak. Pendingin tenaga matahari telah sukses

didemonstrasikan. Penggunaan skala besar dapat diharapkan di masa depan, sejalan dengan berkurangnya biaya teknologi ini, terutama untuk sistem skala kecil.

### 3.2. Pengukuran Potensi Energi Matahari Suatu Wilayah

Gambar 3.2 Solar power meter



Solar power adalah sebuah alat untuk menguji, mengukur intensitas energi surya. Energi surya sendiri merupakan energi yang didapat dengan mengubah energi panas surya (matahari) melalui perangkat lain menjadi sumber daya energi dalam bentuk lain. Energi surya sendiri menjadi salah satu sumber daya energi selain air, uap, angin, biogas, batu bara, dan minyak bumi.

Teknik pemanfaatan energi matahari mulai muncul pada tahun 1839, ditemukan oleh A.C. Becquerel. Dimana beliau menggunakan kristal silikon untuk mengkonversi radiasi matahari, namun sampai tahun 1955 metode itu belum banyak dikembangkan. Selama kurun waktu lebih dari satu abad itu, sumber energi

yang banyak digunakan adalah minyak bumi dan batu bara, seiring waktu kebutuhan akan sumber daya energi makin meningkat maka dibutuhkan alternatif sumber energi selain yang sudah ada. Perangkat alat uji **Solar Power meter** adalah inovasi dalam industri test & measurement sebagai alat ukur untuk tenaga matahari ini atau perangkat solar cell.

Pada tahun 1958 Upaya untuk pengembangan kembali cara memanfaatkan energi matahari muncul Kembali. Sel silikon yang dipergunakan untuk mengubah energi surya menjadi sumber daya mulai diperhitungkan sebagai metode baru, karena dapat digunakan sebagai sumber daya bagi satelit angkasa luar, dan alternatif yang bisa di kembangkan untuk peralatan yang lain. Namun Saat ini penggunaan **Solar Power Meter** sudah sangat dibutuhkan mengingat sudah sangat pentingnya mencari alternatif sumber daya energi lain yaitu sumber daya tenaga matahari (solar cell) seperti sumber daya tenaga matahari milik Jerman ini.

Gambar 3. 3 *Solar power*



**Solar Power meter** atau perangkat yang menguji tenaga surya, dimana sumber tenaga matahari ini dikonversi dari sinar matahari menjadi listrik, baik secara langsung dengan menggunakan photovoltaic (PV), atau langsung menggunakan concentrated solar power (CSP) atau tenaga surya terkonsentrasi.

**Solar Power meter** dapat di aplikasikan untuk berbagai kebutuhan terkait dengan aplikasi solar cell yang dimiliki seperti mengukur tingkat radiasi matahari, untuk penelitian tenaga surya, aplikasi pada bidang fisika maupun laboratorium, dan masih banyak yang lainnya.

### **Intesitas Radiasi Surya**

Karena adanya perubahan letak matahari terhadap bumi maka intensitas radiasi surya yang tiba di permukaan bumi juga berubah-ubah. Maka berkaitan dengan hal tersebut di atas radiasi surya yang tiba pada suatu tempat di permukaan bumi dapat kita bedakan menjadi 3 jenis.

Ketiga jenis radiasi itu adalah

1. Radiasi Langsung (*direct radiation*)

Intensitas radiasi langsung atau sorotan per jam pada sudut masuk normal.

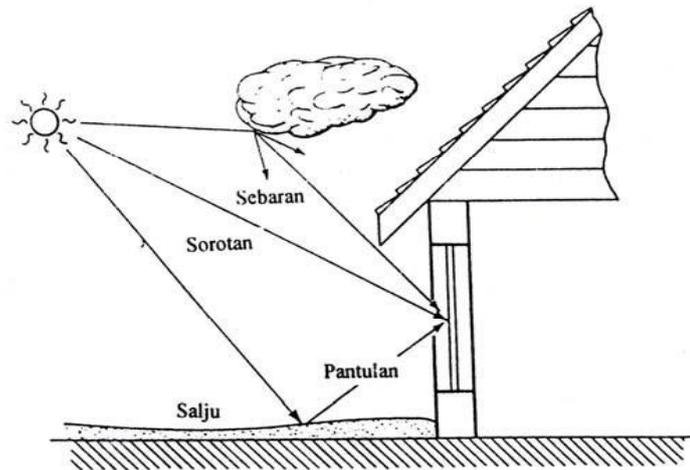
2. Radiasi Sebaran (*diffuse radiation*)

Radiasi sebaran yang disebut juga radiasi langit (*sky radiation*), adalah radiasi yang dipancarkan ke permukaan penerima oleh atmosfer, dan karena itu berasal dari seluruh bagian hemisfer langit. Radiasi sebaran (langit) didistribusikan merata pada hemisfer (disebut distribusi isotropik). Radiasi Pantulan.

Selain komponen radiasi langsung dan sebaran, permukaan penerima juga mendapatkan radiasi yang dipantulkan dari permukaan yang berdekatan, jumlah radiasi yang dipantulkan tergantung dari reflektansi  $\rho$  (albedo) dari permukaan

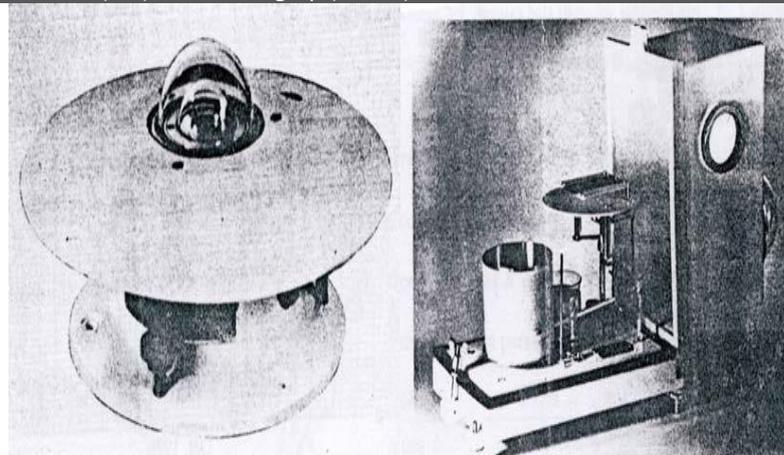
yang berdekatan itu, dan kemiringan permukaan yang menerima .Radiasi yang dipantulkan per jam, juga disebut radiasi pantulan.

Gambar 3. 4 Jenis-jenis radiasi



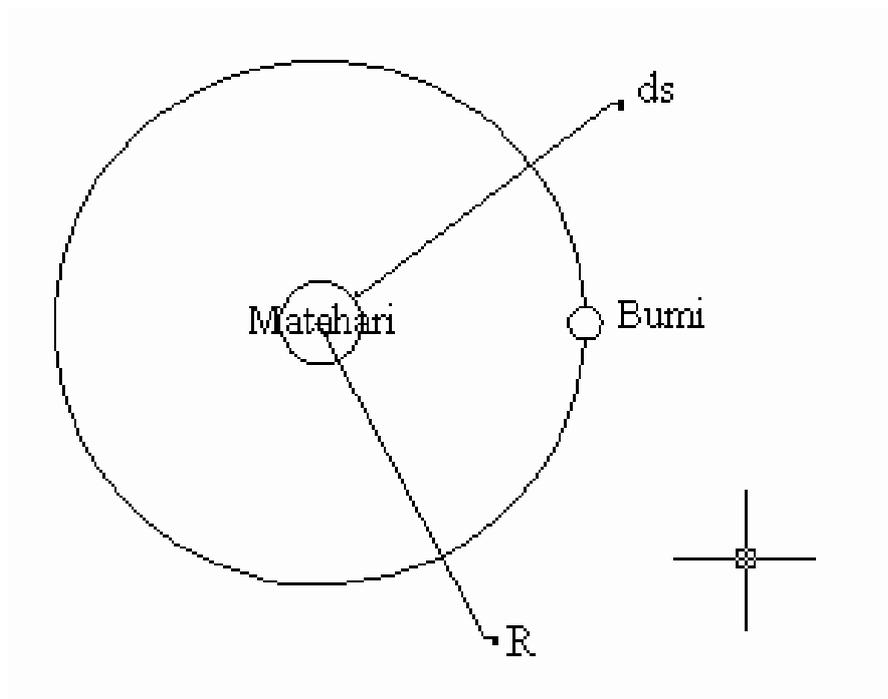
Indonesia yang terletak di daerah tropis memiliki keadaan cuaca yang cukup berawan sehingga porsi radiasi hambur cukup besar. Alat yang digunakan untuk melakukan pengukuran terhadap besarnya radiasi global di sebut Piranometer. Alat ini mengukur besarnya radiasi matahari yang datang dan segala arah. Sedangkan untuk mengukur radiasi langsung kita menggunakan alat yang disebut Piranograp.

Gambar 3. 5 Piranometer (kiri) dan Piranograp (kanan)



Lapisan luar dari matahari yang disebut fotosfer memancarkan suatu spektrum radiasi yang kontinu. Untuk pembahasan ini cukup dianggap matahari sebagai sebuah benda hitam, sebuah radiator sempurna pada 5762 K. Dalam ilmu fotovoltaik dan studi mengenai permukaan tertentu, distribusi spektral adalah penting.

Gambar 3. 6 Bola Surya



Dimana :

$ds$  = Diameter matahari

$R$  = Jarak rata-rata matahari – bumi

Radiasi yang dipancarkan oleh permukaan matahari,  $E_s$ , adalah sama dengan hasil perkalian konstanta Stefan-Bolzman, pangkat empat temperature permukaan absolut  $T_s^4$  dan luas permukaan  $ds^2$ , Dengan garis tengah matahari  $1,39 \times 10^9$  m, temperatur permukaan matahari 5762 K, dan jarak rata-rata antara matahari dan

bumi sebesar  $1,5 \times 10^{11}$  m, maka fluksa radiasi persatuan luas dalam arah yang tegak lurus pada radiasi tepat diluar atmosfer bumi adalah =  $1353 \text{ W/m}^2$  .

Radiasi surya yang diterima pada satuan luasan di luar atmosfer tegak lurus permukaan matahari pada jarak rata-rata antara matahari dengan bumi disebut konstanta surya adalah  $1353 \text{ W/m}^2$  dikurangi intensitasnya oleh penyerapan dan pemantulan atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Ozon di atmosfer menyerap radiasi dengan panjang gelombang pendek (ultraviolet), karbondioksida dan uap air menyerap sebagian radiasi dengan panjang gelombang yang lebih panjang (inframerah). Selain pengurangan radiasi bumi yang langsung atau sorotan oleh penyerapan tersebut, masih ada radiasi yang dipancarkan oleh molekul-molekul gas, debu, dan uap air dalam atmosfer sebelum mencapai bumi sebagai radiasi sebaran, Pengukuran berikutnya terjadi apabila permukaan penerima radiasi itu tidak pada kedudukan tegak-lurus sorotan radiasi yang masuk.

**Tabel 3. 1** Satuan lain untuk Konstanta Surya

Konstanta Surya ( $G_{sc}$ )
$1353 \text{ W/m}^2$
$429 \text{ Btu}/(\text{hr}.\text{ft}^2)$
$116.4 \text{ Langley/hr}$
$4.871 \text{ MJ/m}^2.\text{hr}$

(Sumber "Teknologi Rekayasa Surya", Diterjemahkan oleh Prof. Wiranto Arismunandar)

Konstanta surya (G) adalah konstanta yang digunakan sebagai dasar acuan untuk mengetahui besarnya intensitas radiasi surya sebelum mengalami penurunan karena berbagai macam hambatan dalam perjalanannya menuju permukaan bumi. Hambatan yang timbul itu adalah seperti, ketika radiasi surya melewati lapisan-lapisan atmosfer, itu terjadinya yang mempengaruhi posisi matahari, posisi dan letak permukaan pada bumi, dan kondisi-kondisi lainnya.

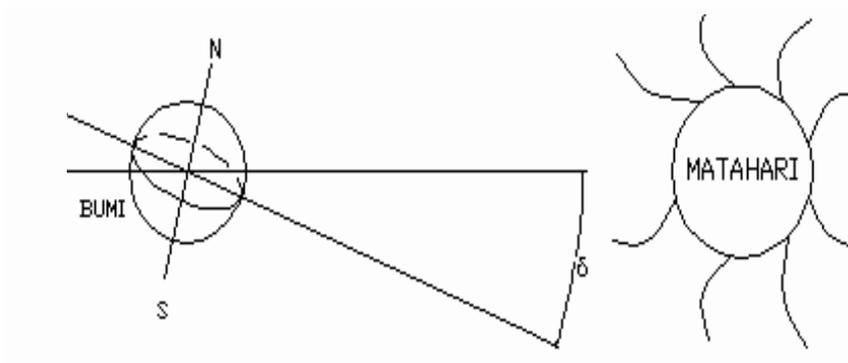
Dari tabel diatas memuat konstanta surya dalam satuan lain. Satuan *langley* sama dengan  $1 \text{ kalori/cm}^2$ , adalah satuan yang umumnya dapat dijumpai dalam literatur mengenai radiasi surya, dimana  $1 \text{ kalori} = 4,187 \text{ Joule}$ , maka  $1 \text{ langley} = 1 \text{ kalori/cm}^2 = 0,04187 \text{ MJ/m}^2$ , suatu faktor konversi yang sering digunakan.

### ***Intensitas Radiasi Surya Pada Bidang Permukaan***

Bumi berevolusi pada sumbunya selama 365 hari, bumi juga berrotasi pada sumbunya selama satu hari. Selama berevolusi dan berrotasi pada sumbunya.

**Gambar 3. 7** Deklinasi matahari, posisi pada musim panas

bumi mengalami kemiringan terhadap sumbu vertikalnya sebesar  $23,5^\circ$



(Sumber “Tekhnologi Rekayasa Surya”, Diterjemahkan oleh prof. Wiranto Arismunandar

Besarnya sudut yang dialami bumi terhadap sumbu vertikalnya di sebut deklinasi. Dan deklinasi inilah yang mempengaruhi terjadinya distribusi sinar matahari dan energi panas surya pada bidang permukaan bumi. Bila hasil perkalian intensitas surya yang diterima bumi dengan cosinus sudut sinar datang, maka besarnya laju energi yang diterima oleh suatu permukaan di bumi dengan luasan persegi.

### ***Data Radiasi Matahari di Wilayah Indonesia***

Bedasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari beberapa lokasi di Indonesia, radiasi surya di Indonesia dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- Untuk Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan variasi bulanan sekitar 10 %.
- Untuk Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar 5,1 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan variasi bulanan 9 %.
- Dengan demikian, kecepatan angin rata-rata di Indonesia sekitar 4,8kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan variasi bulanan 9 %.

Catatan :

Pada tengah hari yang cerah radiasi sinar matahari di bumi mampu mencapai nilai 1000 W/m<sup>2</sup> = 1 kW/m<sup>2</sup> = 100mW/cm<sup>2</sup>.

**Tabel 3. 2 Radiasi Penyinaran Matahari di Indonesia Pebruari 2008**

WILAYAH	POTENSI RADIASI	VARIASI BULANAN
Kawasan Barat Indonesia (KBI)	Per hari 4,5 kWh/m <sup>2</sup>	10 %
Kawasan Timur Indonesia (KTI)	Per hari 5,1 kWh/m <sup>2</sup>	9 %
Rata-Rata Wilayah Indonesia	4,5 – 4,8 kWh/m <sup>2</sup> /hari	9,5 %

(sumber "<http://theindonesiannoor.com/index2.html>".)

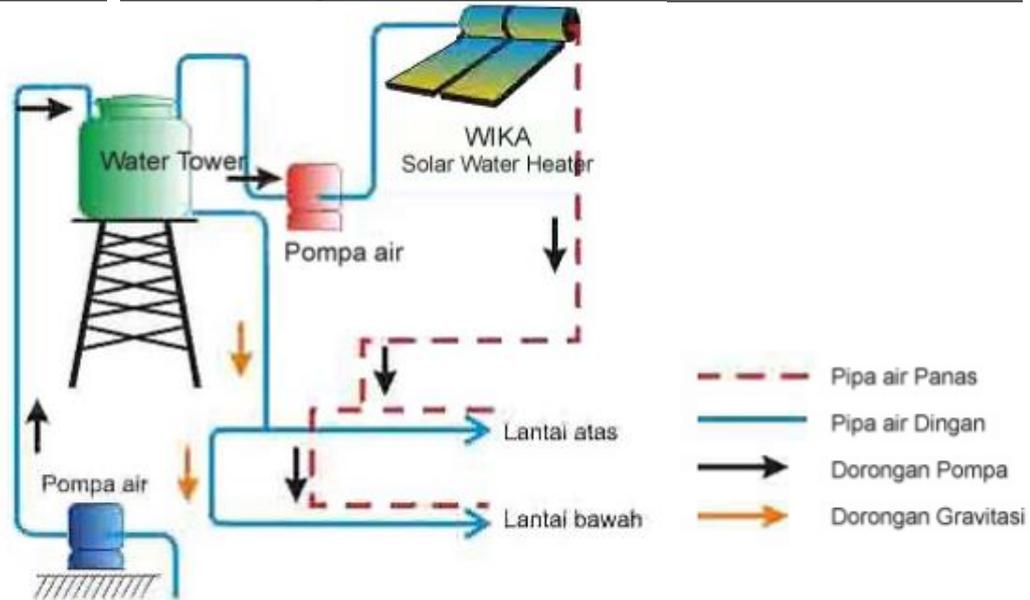
Kemudian diadakan suatu pendekatan Intensitas radiasi surya (GT) yang diterima oleh permukaan atmosfer bumi sesuai tanggal dan bulan sebagai waktu pelaksanaan, sehingga pada akhirnya radiasi surya yang tiba pada permukaan bumi akan berkurang.

(sumber "Tekhnologi Rekayasa Surya". Diterjemahkan oleh prof. Wiranto Arismunandar)

Konstanta surya ( $4500 \text{ W/m}^2$ ). (sumber tabel 3.2) n: Jumlah hari, dihitung mulai 1 januari.

### 3.3. Penentuan Spesifikasi Pemanas Air Tenaga Matahari

Gambar 3.8 Pemanas air tenaga matahari



Indonesia memiliki banyak potensi energi terbarukan, salah satunya tenaga surya (matahari) yang bersih dan ramah lingkungan. Keberuntungan letak geografis, dimana Indonesia terletak di garis katulistiwa, sehingga Indonesia mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar  $4,8 \text{ kWh/m}^2$  per hari di seluruh wilayah Indonesia. Dalam kondisi puncak atau posisi matahari tegak lurus, sinar matahari yang jatuh di permukaan panel surya di Indonesia seluas satu meter persegi akan mampu mencapai 900 hingga 1000 Watt. Dan yang lebih menakjubkan lagi, total intensitas penyinaran tenaga surya perharinya di Indonesia mampu mencapai 4500 watt hour per meter persegi yang membuat Indonesia tergolong kaya sumber energi matahari ini."

### 3.4. Penentuan Spesifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Secara ekonomi pemanfaatan listrik fotovoltaik di Indonesia dewasa ini lebih sesuai untuk kebutuhan energi yang kecil pada daerah terpencil dan terisolasi. Meskipun pembangkit fotovoltaik skala sangat besar pernah dibangun di luar negeri yang memberikan energinya langsung kepada jaringan listrik. Namun secara finansial kelihatannya belum layak untuk dibangun di Indonesia.

Keuntungan utama yang menarik dari sistem Energi Tenaga Surya Fotovoltaik (SESF) ini adalah:

1. Sistem bersifat modular.
2. Pemasangannya mudah.
3. Kemungkinan desentralisasi dari sistem.
4. Tidak diperlukan transportasi dari bahan bakar.
5. Tidak menimbulkan polusi dan kebisingan suara.
6. Sistem memerlukan pemeliharaan yang kecil.
7. Kesederhanaan dari sistem, sehingga tidak perlu pelatihan khusus bagi pemakai/pengelola.
8. Biaya operasi yang rendah.

Sistem Fotovoltaik atau secara baku dinyatakan sebagai Sistem Energi Surya Fotovoltaik (SESF) adalah suatu sistem yang memanfaatkan energi surya sebagai sumber energinya. Konsep perancangan SESF dapat dilakukan dengan berbagai pendekatan tergantung pada kebutuhannya, misalnya untuk:

1. Catudaya langsung ke beban
2. Sistem DC dengan baterai
3. Sistem arus bolak-balik (AC) tanpa baterai
4. Sistem AC dengan baterai

Secara umum SESF terdiri dari subsistem sebagai berikut:

1. Subsistem Pembangkit

Merupakan bagian utama pembangkit listrik yang terdiri dari satu atau lebih rangkaian modul fotovoltaik.

2. Subsistem Penyimpan/Baterai

Merupakan bagian SESF yang berfungsi sebagai penyimpan listrik (baterai/accu). Subsistem penyimpanan listrik pada dasarnya diperlukan untuk SESF yang dirancang untuk operasi malam hari atau SESF yang harus memiliki kehandalan tertentu.

3. Subsistem Pengaturan & Pengkondisi Daya

Berfungsi untuk memberikan pengaturan, pengkondisian daya (misal: merubah ke arus bolak balik), dan / atau pengamanan sedemikian rupa sehingga SESF dapat bekerja secara efisien, handal dan aman.

4. Subsistem Beban

5. Bagian akhir dari penggunaan SESF yang mengubah listrik menjadi energi akhir, seperti: lampu penerangan, televisi, tape / radio, lemari pendingin dan pompa air.

### Sel Surya

Sel Surya atau sel fotovoltaik berasal dari bahasa Inggris "*photo voltaic*". Kata *Photovoltaic* berasal dari dua kata "*photo*" berasal dari kata Yunani yakni "*phos*" yang berarti cahaya; dan kata "*volt*" adalah nama satuan pengukuran arus listrik yang diambil dari nama penemu Alessandro Volta (1745-1827), sebagai pionir dalam mempelajari teknologi kelistrikan.

Jadi secara harfiah "*photovoltaic*" mempunyai arti Cahaya-Listrik, dan itu yang dilakukan Sel Surya yaitu merubah energi cahaya menjadi listrik, penemunya Edmond Becquerel dan kawan-kawan pada abad ke 18.

### Proses Konversi Energi pada Sel Surya

Apabila suatu bahan semikonduktor seperti misalnya bahan silikon diletakkan dibawah penyinaran matahari, maka bahan silikon tersebut akan melepaskan sejumlah kecil listrik yang biasa disebut efek fotolistrik.

Yang dimaksud efek fotolistrik adalah pelepasan elektron dari permukaan metal yang disebabkan penumbukan cahaya. Efek ini merupakan proses dasar fisis dari fotovoltaik merubah energi cahaya menjadi listrik.

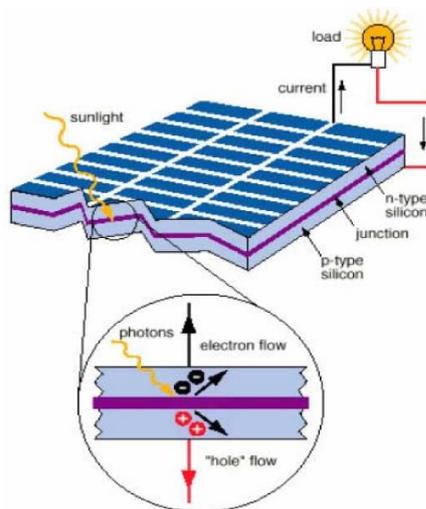
Cahaya matahari terdiri dari partikel-partikel yang disebut sebagai “photons” yang mempunyai sejumlah energi yang besarnya tergantung dari panjang gelombang pada “solar spectrum”.

Pada saat photon menumbuk sel surya maka cahaya tersebut akan dipantulkan atau diserap atau mungkin hanya diteruskan. Cahaya yang diserap membangkitkan listrik. Pada saat terjadinya tumbukan energi yang dikandung oleh photon ditransfer pada elektron yang terdapat pada atom sel surya yang merupakan bahan semikonduktor.

Dengan energi yang didapat dari photon, elektron melepaskan diri dari ikatan normal bahan semikonduktor dan menjadi arus listrik yang mengalir dalam rangkaian listrik yang ada.

Dengan melepaskan dari ikatannya, elektron tersebut menyebabkan terbentuknya lubang atau “hole”.

Gambar 3.9 Konversi cahaya matahari menjadi listrik



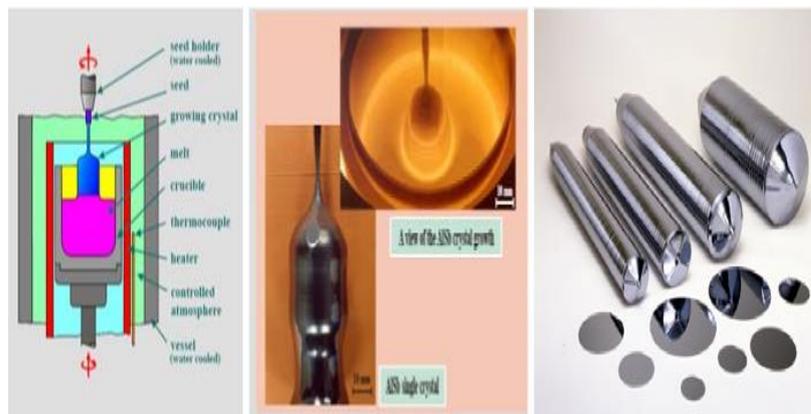
Jenis-jenis Sel Surya

Ber macam-macam teknologi telah diteliti oleh para ahli di dunia untuk merancang dan membuat sel fotovoltaik yang lebih baik, murah, dan efisien diantaranya adalah:

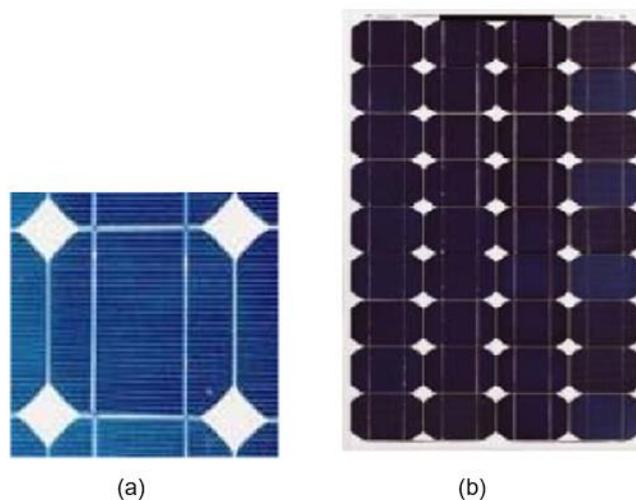
1. Generasi pertama Kristal (Single Crystal)

Konfigurasi normal untuk Sel Fotovoltaik terdiri *p-n Junction* Mono Kristal Silikon material mempunyai kemurnian yang tinggi yaitu 99,999%. Ditumbuhkan dengan sistem yang paling terkenal Metode Czochralski dapat dilihat di gambar.2, hasil berbentuk silinder dengan panjang 12cm, diameter tertentu 2 – 5inch, alat pemotong yang terbaru adalah gergaji yang mampu memotong dua sisi sekaligus dengan kapasitas 4000 wafer per-jam.

Gambar 3. 10 | Metoda Penumbuhan Kristal Mono Czochralski dan Produk Ingot



Gambar 3. 11 | (a) Sel surya Single Kristal; (b) modul surya single Kristal



Efisiensi sel surya jenis Single Kristal Silikon mempunyai efisiensi konversi yang cukup tinggi yaitu sekitar 16% sampai dengan 17%.

## 2. Generasi Kedua Kristal (Polikristal)

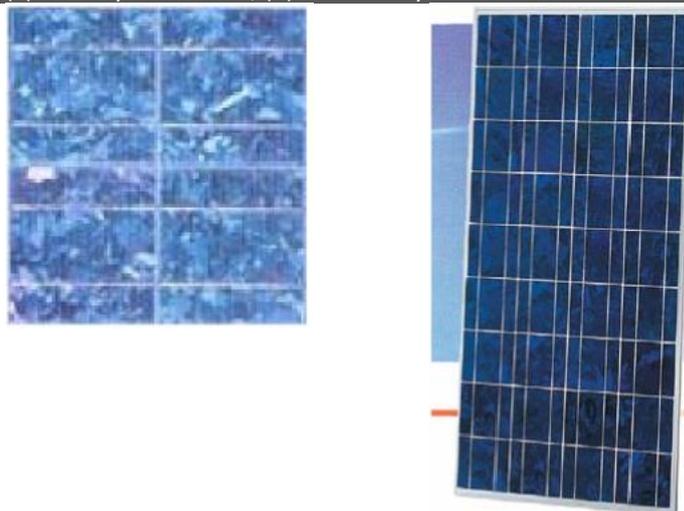
Material Mono Kristal harga per kilogram masih mahal, untuk menurunkan harga material, dikembangkan material lain yang disebut Polikristal.

Pembuatan wafer dengan material ini menggunakan Metode Casting (gambar 9), kemudian dipotong dengan ukuran 40 x 40 cm<sup>2</sup>. Efisiensi modul fotovoltaik polikristal yang komersial mencapai 12% s/d 14%.

Gambar 3. 12 Metoda *Casting* Pembuatan Bahan Polikristal



Gambar 3. 13 (a) Sel Surya Polikristal; (b) Modul Surya Polikristal



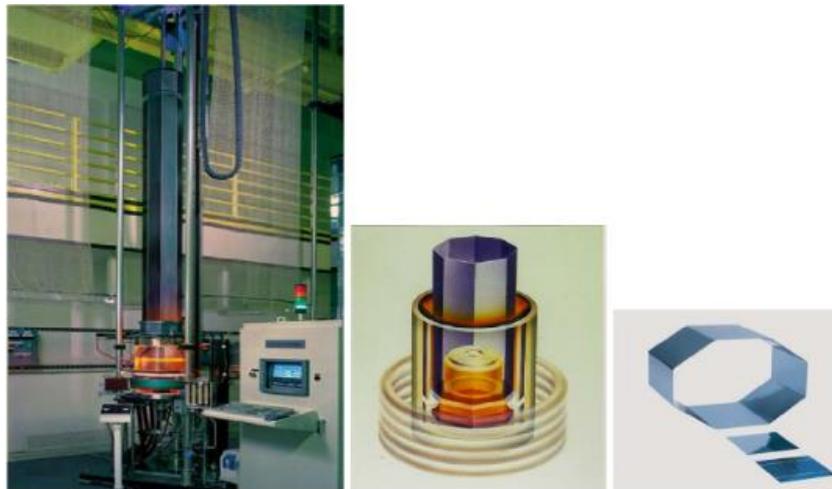
(a)

(b)

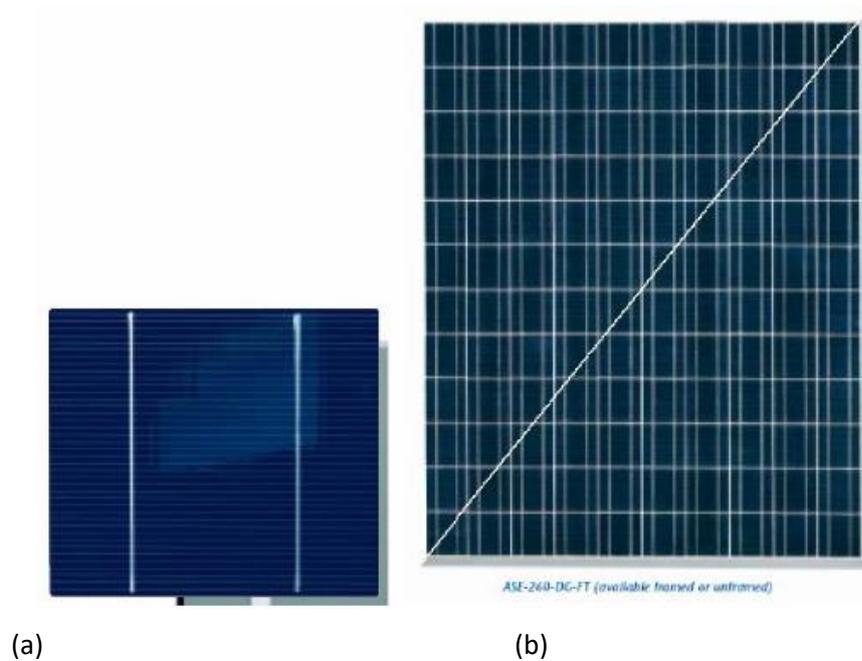
3. Generasi Ketiga, EFG *the Edge Defined Film Growth Ribbon*

Proses ini menumbuhkan wafer Mono Kristal seperti pita langsung dari cairan silikon dengan menggunakan pita kapiler, dapat menghasilkan dengan lebar 5 – 10cm. Pada proses ini penumbuhan terjadi 5 m/menit dengan ketebalan 250 – 350mikrometer, dengan efisiensi 13%.

Gambar 3. 14 | Proses Pembuatan EFG *the Edge Defined Film Growth Ribbon*



Gambar 3. 15 | (a) Modul dan (b) Sel Surya Jenis Polikristal dengan Metoda EFG



#### 4. Generasi ke Empat (Thin Film)

Generasi ke-empat Lapisan Tipis atau Thin Film, mempunyai ketebalan sekitar 10mm di atas substrat kaca/steel (baja) atau disebut advanced sel fotovoltaiik. Tipe yang paling maju saat ini adalah Amorphous Silicon dengan Heterojunction dengan *stack* atau tandem sel. Efisiensi Sel Amorphous Silicon berkisar 6% sampai dengan 9%.

Gambar 3. 16 Amorphous Silicon dengan *Heterojunction* dengan *Stack* atau Tandem Sel



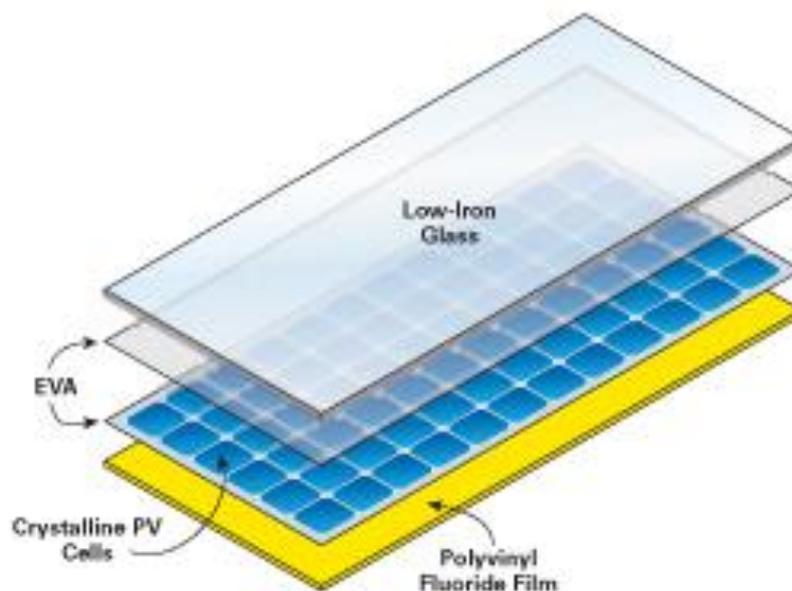
#### Degradasi dan Masa Kinerja Sel Surya

Pada umumnya modul surya mampu bertahan 20 hingga 25 tahun, khususnya untuk modul mono-crystalline. Modul tipe ini dirancang untuk masa operasi 30 tahun pada saat perancangan dengan acuan kondisi *lab-test*. Sel-sel silikon itu sendiri tidak mengalami kerusakan atau degradasi bahkan setelah puluhan tahun pemakaian. Namun demikian, output modul akan mengalami penurunan dengan berjalannya waktu. Degradasi ini diakibatkan oleh dua faktor utama:

Rusaknya lapisan atas sel (*ethylene vinyl acetate-EVA*) dan lapisan bawah (*polyvinyl fluoride film*) secara perlahan-lahan, serta kerusakan secara alami EVA yang terjadi secara bertahap di antara lapisan gelas dan sel-sel itu sendiri.

Lapisan laminasi modul berfungsi melindungi modul dari uap air akibat kelembaban udara, meskipun tidak mungkin 100% kedap. Lapisan dirancang sedemikian rupa sehingga saat suhu modul naik, uap air yang masuk ke modul akan dikeluarkan kembali melalui peningkatan suhu.

Gambar 3. 17 | Konstruksi lapisan modul



Karena modul terekspos ke sinar matahari secara terus menerus, sinar ultraviolet (UV) mengakibatkan kerusakan materi laminasi secara perlahan, dari yang bersifat elastis menjadi plastik. Lambat laun uap air akan tetap terperangkap di dalam dan menyebabkan korosi pada koneksi sel, yang akan menjadi tahanan bagi koneksi antar sel dan menurunkan tegangan operasi modul. Dan seperti yang telah

disebutkan, timbulnya kerusakan alami secara perlahan antara lapisan gelas dan sel-sel silikon menyebabkan berkurangnya sinar matahari yang dapat diserap sel.

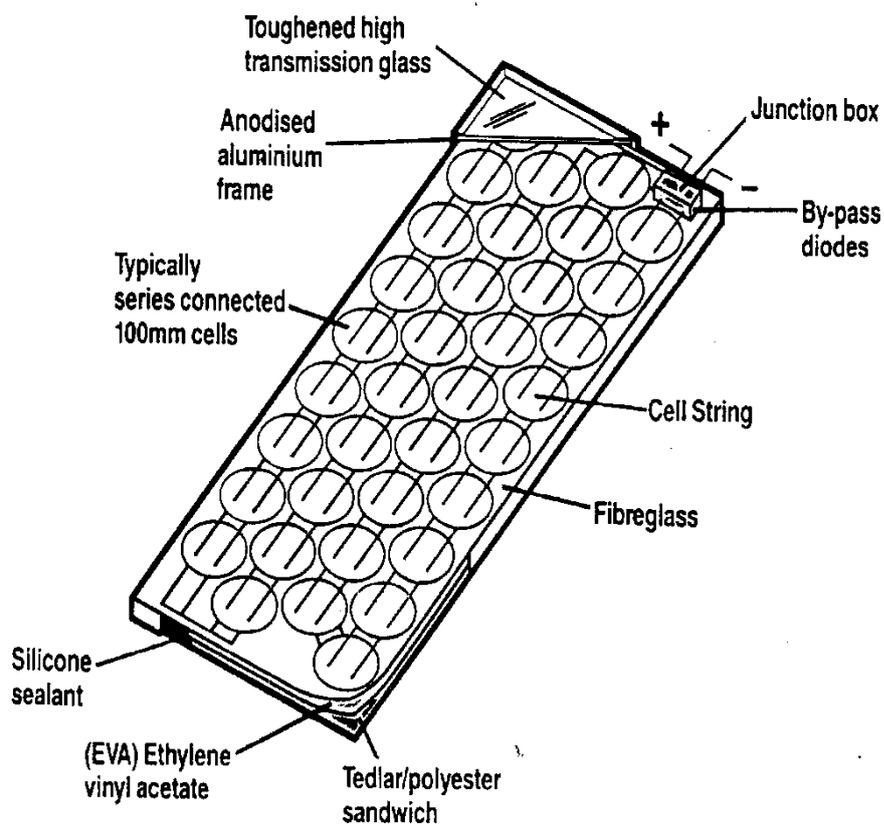
### 3.5. Modul Surya

Hubungan Sel Surya secara Seri dan Paralel

Satu sel surya fotovoltaik memberikan suatu tegangan sekitar 0,5V, ini jauh sangat rendah untuk pemakaian. Maka dari itu, sebuah modul fotovoltaik terdiri dari sejumlah sel fotovoltaik, yang dihubungkan secara seri (lihat gambar).

Konfigurasi standar adalah 36 atau 40 buah sel fotovoltaik dengan dimensi 10x10cm yang dihubungkan secara seri. Ini berarti bahwa akan terjadi suatu tegangan 18 V, yang cukup untuk mengisi sebuah baterai 12V nominal.

Gambar 3. 18 Konfigurasi sebuah modul fotovoltaik



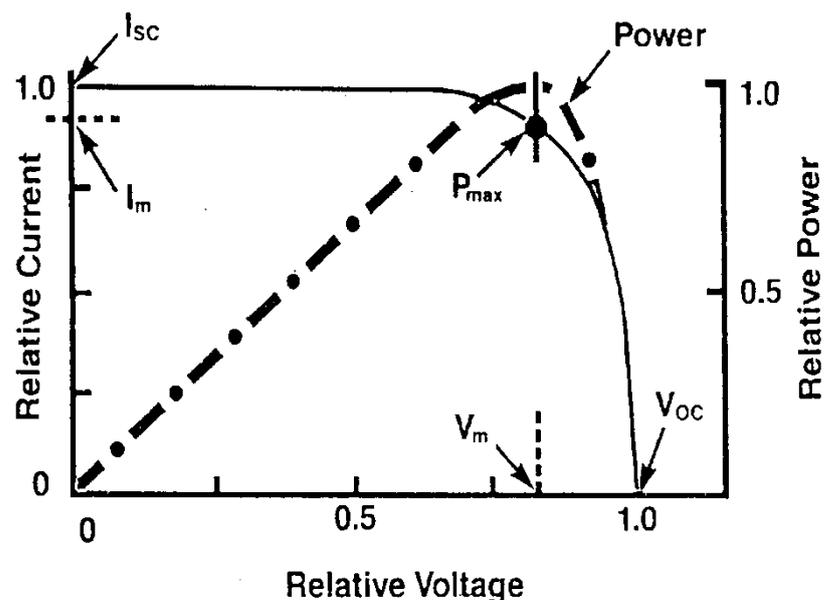
Sel Fotovoltaik yang dihubungkan secara seri dibungkus untuk membentuk sebuah kesatuan mekanik. Kesatuan seperti ini dinamakan sebuah modul fotovoltaik. Modul memberikan perlindungan yang layak terhadap pengaruh-pengaruh pengkaratan, hujan dan lain-lainnya.

Modul standar dapat dipergunakan untuk bermacam-macam pemakaian, juga untuk sistem-sistem dengan baterai atau tanpa baterai. Jika suatu aplikasi khusus memerlukan suatu tegangan / arus yang lebih tinggi yang akan dibekali oleh sebuah modul, maka modul dapat digabungkan secara seri, dan membentuk suatu susunan paralel untuk mendapatkan tegangan atau arus yang dibutuhkan.

#### Karakteristik Modul Fotovoltaik

Sifat-sifat listrik dari modul fotovoltaik biasanya diwakili oleh karakteristik arus tegangannya, yang mana disebut juga kurva I-V (lihat gambar 16). Kurva I-V dapat diukur menurut susunan peralatan seperti ditunjukkan dalam gambar 17. Kurva 17 menunjukkan arus yang diberikan oleh modul fotovoltaik ( $i_{mod}$ ), sebagai suatu fungsi dari tegangan modul fotovoltaik ( $V_{mod}$ ), pada suatu radiasi spesifik dan temperatur sel spesifik.

Gambar 3. 19 Kurva Arus-Tegangan dari sebuah modul surya

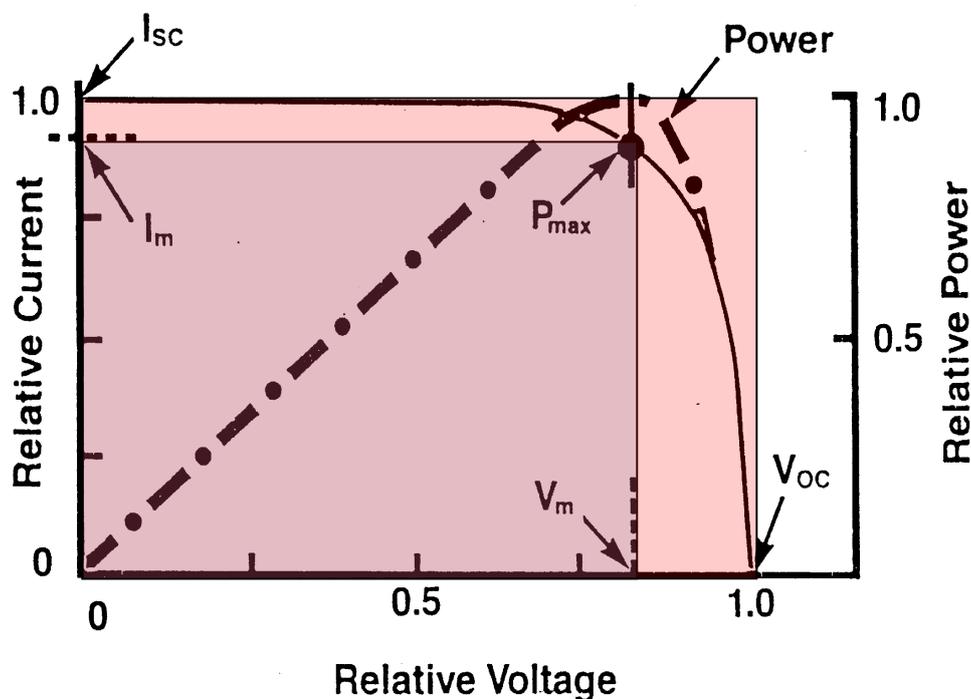


Jika sebuah modul fotovoltaik dikenai hubung singkat ( $V_{\text{mod}} = 0$ ), maka arus hubung singkat ( $I_{\text{sc}}$ ) mengalir. Pada keadaan rangkaian terbuka ( $I_{\text{mod}} = 0$ ), maka tegangan modul disebut tegangan terbuka ( $V_{\text{oc}}$ ). Daya yang dihasilkan modul fotovoltaik, adalah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

Rumus 1: Daya puncak yang dihasilkan modul fotovoltaik

$$P_{\text{max}} = V_m \times I_m \text{ (lihat gambar)}$$

Gambar 3. 20 Daya sebagai fungsi dari tegangan modul fotovoltaik dilukiskan dalam kurva I-V



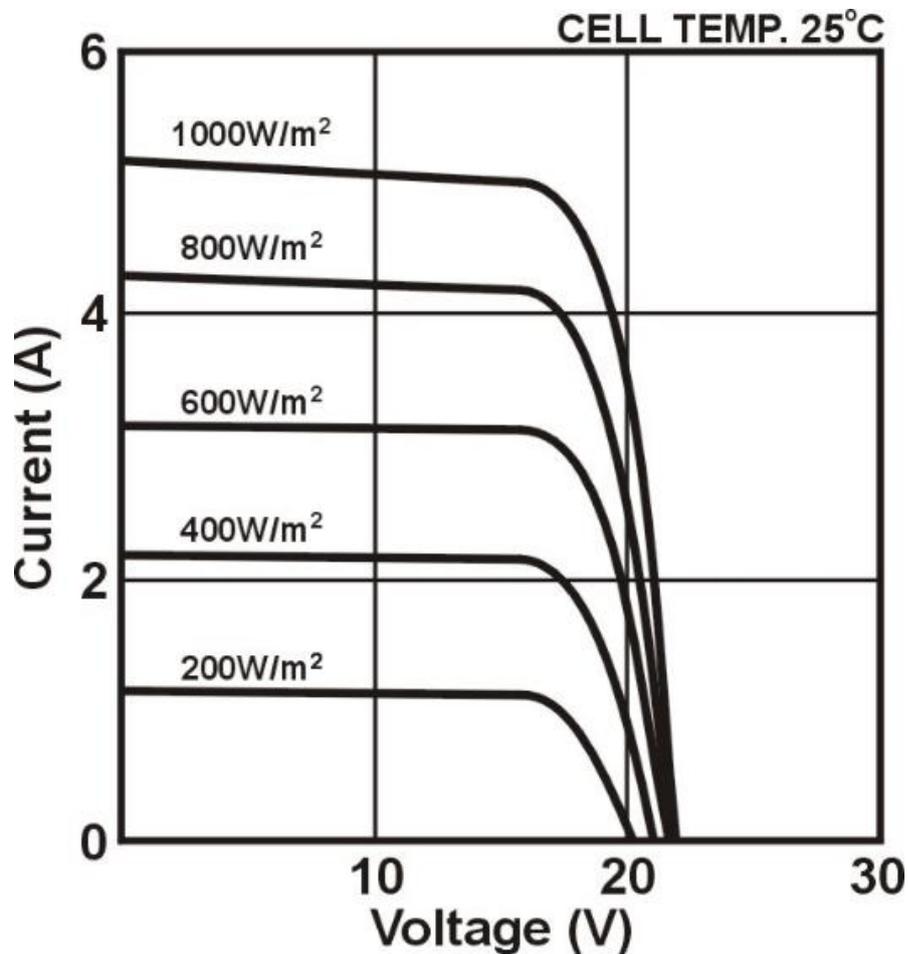
Jika tegangan dari modul ditambah, misalnya dengan menambah tahanan beban dan dimulai dari  $V_{\text{mod}} = 0$  (pada kondisi hubung singkat), maka daya dari modul bertambah dari nol sampai ke daya maksimum pada suatu tegangan tertentu.

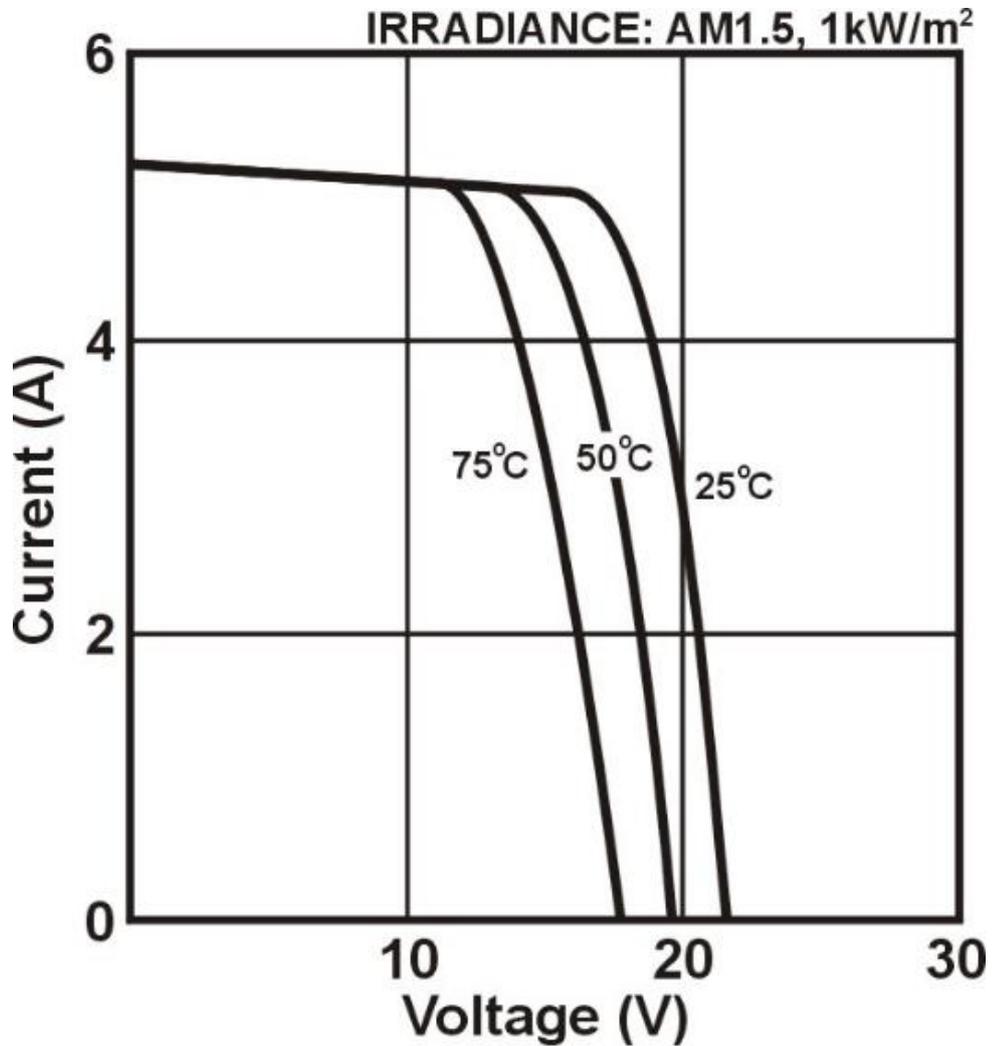
Jika tahananannya masih terus ditambah, setelah daya maksimum dicapai, maka daya berkurang menjadi nol pada tegangan terbuka ( $V_{\text{oc}}$ ). Pada nilai dimana modul memberikan daya maksimumnya disebut nilai daya maksimum, dan

dikarakteristikan dengan besaran tegangan nilai daya maksimum ( $V_{mp}$ ), daya nilai daya maksimum ( $P_{mp}$ ) dan arus nilai daya maksimum ( $I_{mp}$ ).

Sebagaimana disebutkan di muka, arus dari modul bergantung antara lain pada tingkat radiasi dan temperatur. Gambar 18 menunjukkan bahwa kurva I-V dari sebuah modul fotovoltaik pada berbagai macam tingkat radiasi. Kurva-kurva I-V pada berbagai macam temperatur sel ditunjukkan dalam gambar 19.

Gambar 3. 21 Kurva I-V dari sebuah modul fotovoltaik, pada berbagai radiasi matahari





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

Arus keluaran dari sebuah modul dalam hubungannya dengan sudut kemiringan.

Arus keluaran dari sebuah modul fotovoltaik bergantung pada besarnya radiasi surya yang diterima oleh modul. Keluaran total selama satu hari penuh dapat

dihitung secara sederhana dengan mengalikan arus dengan waktu selama modul itu dikenai sinar matahari. Keluaran modul surya diberikan sebagai ampere jam per hari.

Dengan mengarahkan modul fotovoltaik pada kemiringan tertentu, radiasi surya yang diterima dapat dioptimalkan untuk suatu kurun waktu satu tahun. Yang selanjutnya hal ini akan memperbesar keluaran tahunan rata-rata modul fotovoltaik. Secara umum, kemiringan modul disesuaikan dengan posisi lintang lokasi penempatan.

#### Array atau Rangkaian Modul Surya

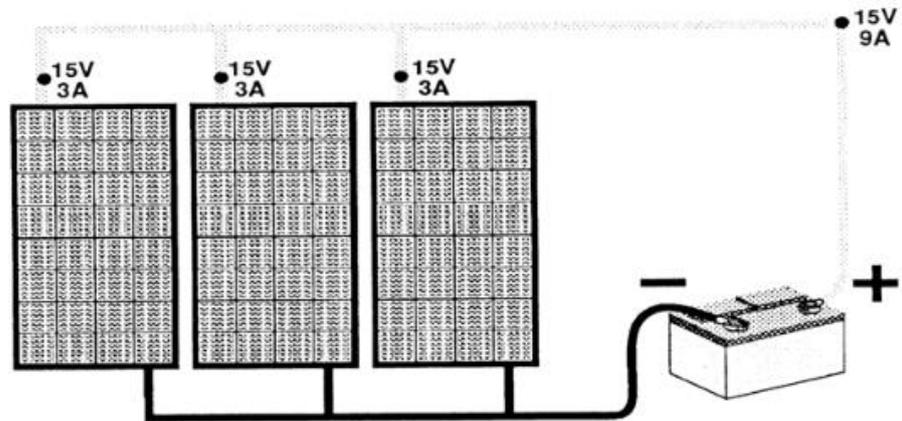
Sistem-sistem fotovoltaik atau lebih dikenal dengan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dibuat berdasarkan kebutuhan catu daya dan sistem tegangan yang diinginkan oleh beban. Untuk membuat rangkaian modul surya dilakukan dengan cara menghubungkan modul surya secara seri dan paralel.

#### Hubungan Paralel Modul Surya

Untuk mendapatkan arus listrik yang lebih besar dari pada keluaran arus listrik dari setiap modul surya, maka modul surya dihubungkan secara paralel, dengan cara menghubungkan kutub-kutub yang sama (kutub negatif saling dihubungkan dan kutub positif juga saling dihubungkan), seperti terlihat pada gambar 22.

Apabila masing-masing modul surya mempunyai tegangan kerja 15 Volt dan menghasilkan arus listrik sebesar masing-masing 3 Amper, kemudian ketiganya dihubungkan secara paralel maka akan didapatkan arus listrik total sebesar 9 Ampere sedangkan tegangan total akan sama dengan tegangan masing-masing modul surya yaitu 15 Volt.

Gambar 3. 23 Tiga buah modul surya duhubungkan secara paralel<sup>1</sup>

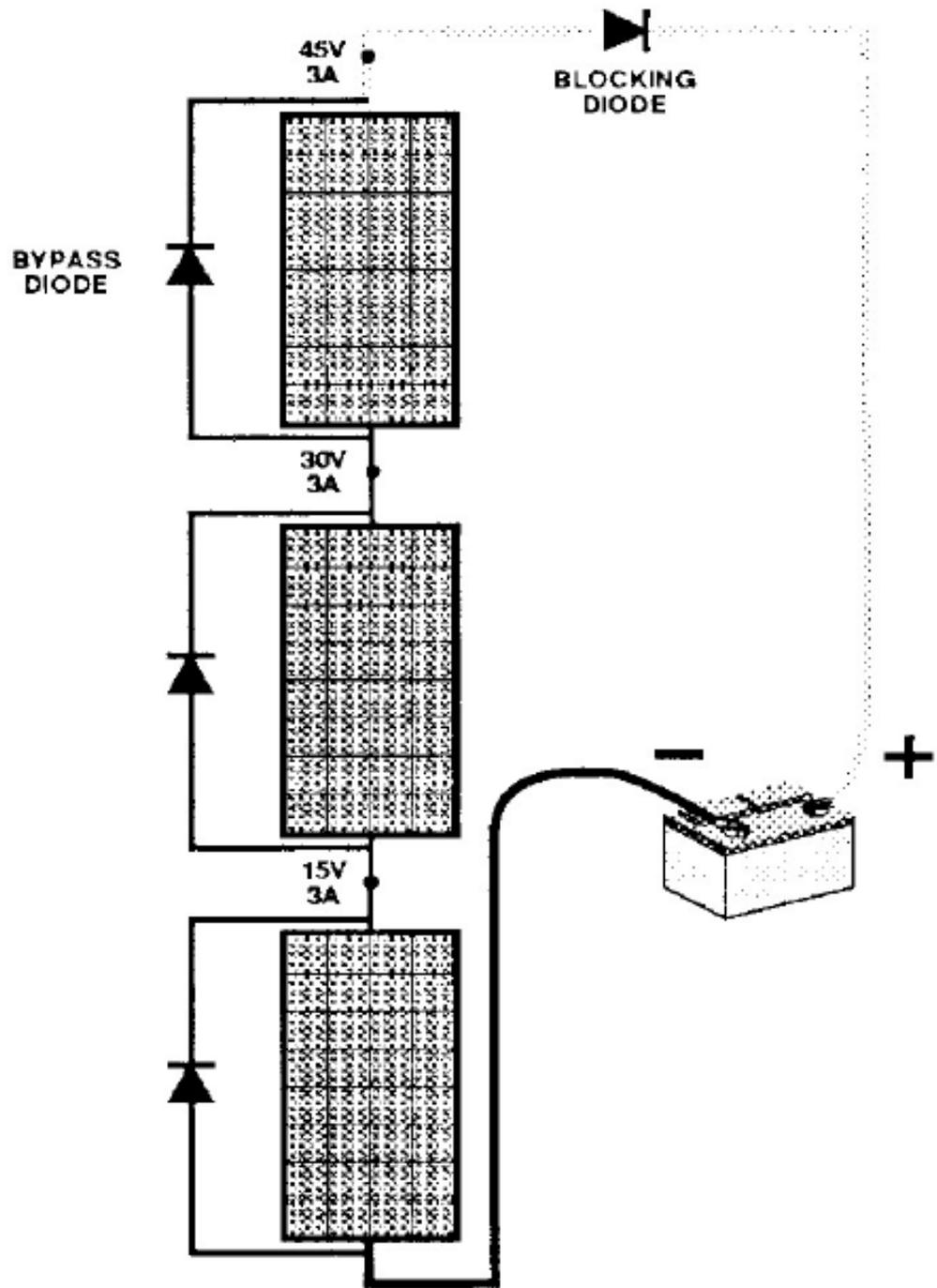


#### Hubungan Seri Modul Surya

Untuk mendapatkan tegangan yang diinginkan modul surya dihubungkan secara seri yaitu dengan cara menghubungkan kutub positif dan kutub negatif seperti terlihat pada gambar 23.

Tegangan total yang didapatkan dengan cara menghubungkan seri tiga buah modul masing–masing mempunyai tegangan 5 Volt adalah merupakan jumlah yaitu 15 Volt, tetapi arus listrik total yang dihasilkan adalah sama dengan masing arus setiap modul yaitu 3 Ampere.

Gambar 3. 24 Tiga buah modul surya dihubungkan secara seri



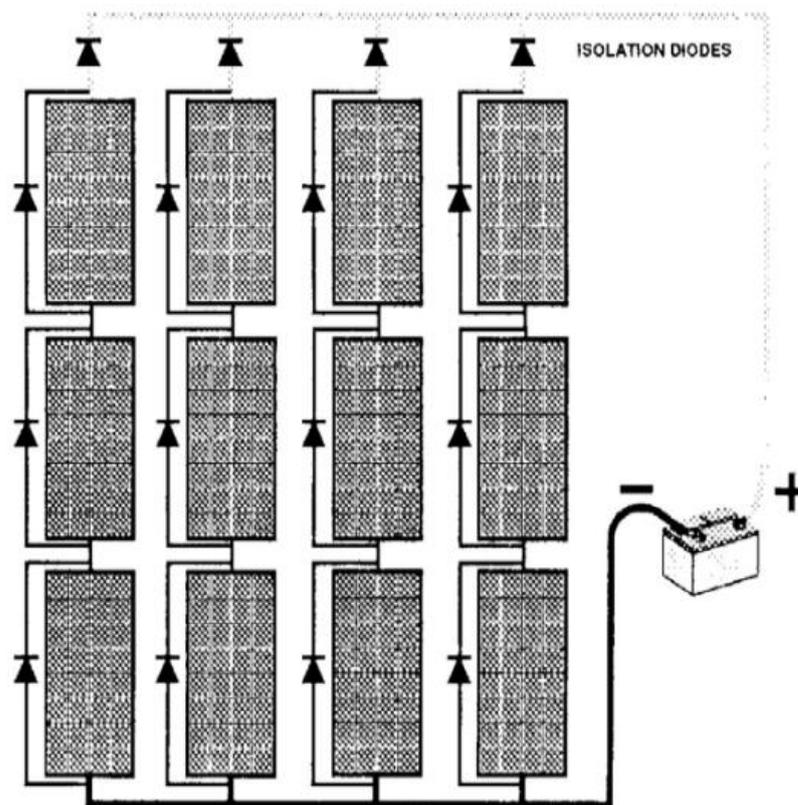
2

### Hubungan Seri-Paralel Modul Surya

Untuk mencatu daya sistem-sistem PLTS yang diinginkan, maka perlu untuk menggabungkan sejumlah modul surya secara seri maupun paralel seperti terlihat pada gambar 24. Pada gambar terlihat bahwa array atau rangkaian modul surya untuk menacatu daya sistem terdiri dari 3 buah modul surya yang dihubungkan secara seri dan 4 buah modul surya yang dihubungkan secara paralel.

Tegangan kerja sistem tersebut adalah 15 Volt dan arus listrik yang dibutuhkan adalah sebesar 12 Ampere.

Gambar 3. 25 Array atau Rangkaian Modul Surya

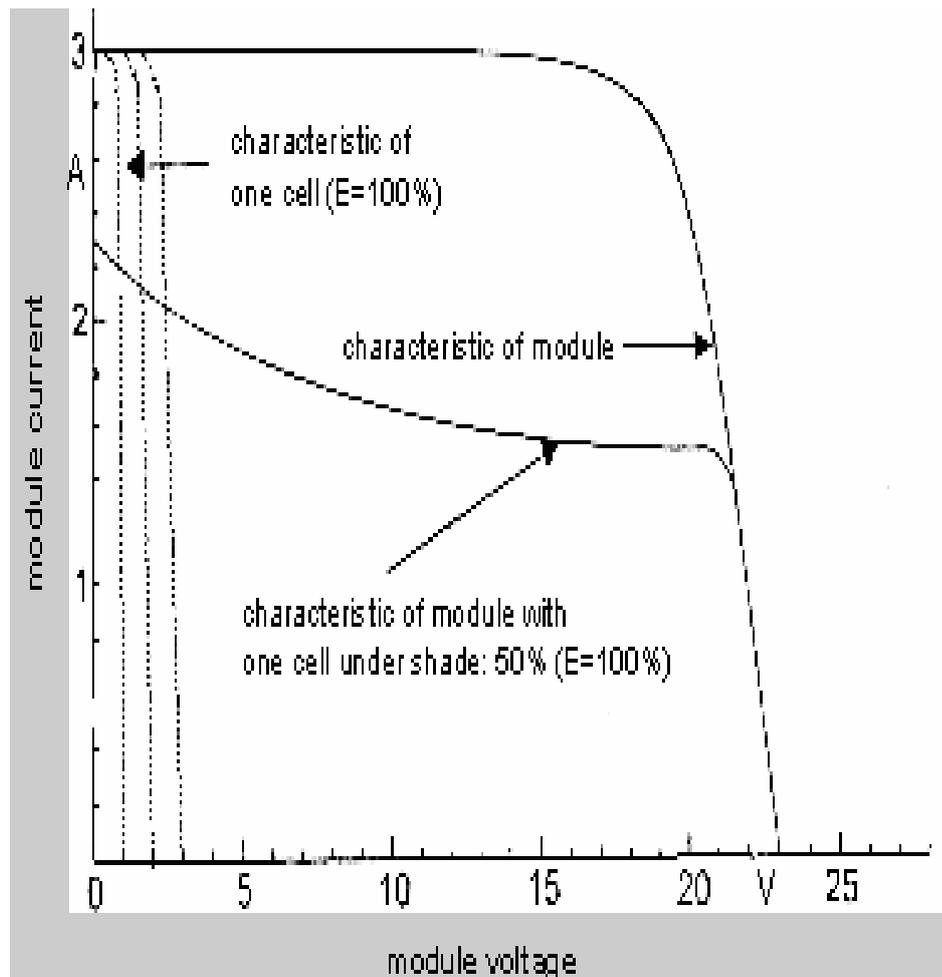


### Efek bayangan (Shading Effect)

---

Keluaran listrik yang dibangkitkan sel surya juga bergantung pada efek bayangan atau shading effect, yaitu kemungkinan terhalangnya modul surya akibat bayangan suatu benda yang mengakibatkan berkurangnya sinar matahari yang dapat diterima oleh modul.

Gambar 3. 26 Karakteristik Arus-Tegangan akibat *shading effect*



Problem yang umum timbul akibat efek bayangan antara lain:

- Berkurangnya luasan daya dari keluaran daya nominal, karena insolasi berkurang sehingga *photo-current* dari matahari pun berkurang. Arus tiap sel menurun, karena sel disusun secara seri.

- Stress akibat panas yang tidak merata pada permukaan modul akan meningkatkan suhu pada sel secara dramatis, sehingga timbul *overheating* pada sel-sel tertentu.

Gambar 25 mengilustrasikan berkurangnya luasan keluaran daya akibat efek bayangan sebagai rugi-rugi sebesar 50% terhadap keluaran daya nominal 100%.

#### Hot-Spot

Hotspot atau efek hotspot adalah suatu akibat dari pembuangan energi karena suatu kondisi dimana salah satu sel didalam suatu modul fotovoltaik diteduhi oleh suatu benda sehingga tidak mendapatkan pencahayaan matahari. Efek ini dapat merusak sel fotovoltaik dengan hebat. Efek ini biasanya menciptakan suatu bekas berupa area berwarna putih pada sel fotovoltaik.

Sebagian atau seluruh energi, yang dibangkitkan oleh sel-sel yang diterangi oleh sinar matahari akan dibuang berupa panas yang tinggi pada sel-sel yang diteduhi atau tidak mendapatkan sinar matahari.

Agar mencegah sel-sel fotovoltaik dirusak oleh efek hotspot, maka dioda by-pass dihubungkan secara parallel dengan sejumlah sel-sel fotovoltaik yang dihubungkan secara seri, sedemikian sehingga hanya sebagian energi yang dibangkitkan modul fotovoltaik akan dibuang di dalam sel-sel fotovoltaik yang diteduhi tersebut.

### 3.6. Alat Pengatur Baterai

Sebagaimana telah dijelaskan pada perancangan sistem Fotovoltaik bahwa didalamnya terdapat suatu komponen penting yang sering disebut dengan berbagai nama, antara lain: BCU (*battery control unit*), BCR (*battery charge regulator*) atau SCR (*solar charge coltroller*), yang intinya adalah untuk mengamankan baterai. Istilah BCR akan digunakan didalam dokumen ini.

BCR didisain dengan menggunakan komponen elektronik, oleh karena itu disini juga dikemukakan beberapa komponen elektronik utama yang digunakan pada BCR tersebut. Pada sistem Fotovoltaik (atau yang dikenal dengan istilah PLTS = Pembangkit Listrik Tenaga Surya) berskala besar, BCR merupakan suatu Kontrol Panel yang didalamnya terdapat pusat pengkabelan (*wiring*) sistem, BCR itu sendiri yang kemungkinan juga diperlengkapi dengan '*hardware*' untuk manajemen energi, inverter dan beberapa fungsi lain seperti proteksi sistem, indikator dan kadang-kadang pencatatan data (*recording*) sistem.

Untuk PLTS berskala kecil, BCR dapat berbentuk suatu kotak, yang tentunya tetap mempunyai fungsi yang sama yang diperlukan pada sistem tersebut.

Jenis-jenis BCR diklasifikasikan terhadap bagaimana cara pemutusan hubungan antara Fotovoltaik dengan Baterai, yaitu yang dikenal sebagai pemutusan terhadap tegangan batas atas (*end-of charge*) dari suatu baterai.

### Fungsi BCR

Fungsi BCR antara lain:

- Mengatur transfer energi dari modul PV --> baterai --> beban, secara efisien dan semaksimal mungkin;
- Mencegah baterai dari:
  - *Overcharge* : pemutusan pengisian (*charging*) baterai pada tegangan batas atas, untuk menghindari '*gasing*', yang dapat menyebabkan penguapan air baterai dan korosi pada grid baterai;
  - *Underdischarge* : pemutusan pengosongan (*discharging*) baterai pada tegangan batas bawah, untuk menghindari pembebanan berlebih yang dapat menyebabkan sulfasi baterai;
- Membatasi daerah tegangan kerja baterai;
- Menjaga/memperpanjang umur baterai;
- Mencegah beban berlebih dan hubung singkat;

- Melindungi dari kesalahan polaritas terbalik;
- Memberikan informasi kondisi sistem pada pemakai.

#### Overcharge

*Overcharge* adalah suatu pengisian (*charging*) arus listrik kedalam baterai (*Accu*) secara berlebihan. Apabila pengisian dilakukan dengan alat *charger* (*charging Accu*) yang biasa dikenal dipasaran, maka pengisian akan berhenti sendiri jika arus dari '*charging accu*' sudah mencapai angka nol (tidak ada arus pengisian lagi), dimana ini berarti baterai sudah penuh.

Pengisian arus listrik dengan Fotovoltaik (PV) kedalam baterai tidak sama dengan '*charging accu*' tersebut, hal ini disebabkan karena arus listrik yang dihasilkan Fotovoltaik bisa besar, bisa juga kecil tergantung dari radiasi matahari dan pengisian ini terus berlangsung selama ada radiasi matahari, tidak mau tahu apakah baterai tersebut sudah penuh atau belum. Oleh karena itu perlu alat untuk menghentikan pengisian arus listrik kedalam baterai, jika baterai sudah mencapai kondisi penuh.

Alat ini dalam Sistem Fotovoltaik kita kenal sebagai BCR. Contoh lain yang mempunyai fungsi sama dengan BCR ataupun '*charging accu*' ini, yaitu pada kendaraan bermotor (mobil atau motor) dimana alat ini dikenal sebagai "*Cut-Out*" atau dalam istilah pasaran atau bengkel mobil dikenal sebagai "*Ket-Ot*".

Pemutusan arus pengisian baterai dilakukan pada saat baterai telah terisi penuh. Hal ini dapat dipantau (diketahui) melalui pengukuran tegangan baterai, yaitu baterai dikatakan penuh, jika tegangan baterai (untuk sistem 12V) telah mencapai sekitar antara 13,8 s/d 14,5 volt (tergantung dari jenis baterai dan kebutuhan sistem) dan baterai akan "*gasing*" (mengeluarkan gelembung-gelembung gas), jika tegangan baterai telah mencapai sekitar antara 14,5 s/d 15,0 volt. Oleh karena itu apabila tegangan baterai telah

mencapai sekitar 13,8 – 14,5 volt, maka pengisian arus listrik tersebut harus segera diputuskan.

Untuk kondisi tertentu (yaitu untuk keperluan “ekualisasi”), baterai dapat diputuskan pengisiannya, jika tegangan baterai telah mencapai sekitar 14,5 – 15,0 Volt.

Pemutusan arus pengisian pada umumnya dilakukan secara elektronik oleh alat atau sistem kontrol BCR yang secara otomatis akan memutuskan pengisian arus listrik, jika baterai telah mencapai tegangan untuk kondisi penuh tersebut.

Pemutusan arus ini adalah untuk mencegah agar apabila baterai terlalu sering mencapai kondisi “*gassing*” akan menyebabkan penguapan air baterai dan korosi (karatan) pada grid baterai.

#### Underdischarge

*Underdischarge* adalah pengeluaran (pelepasan) arus listrik dari baterai secara berlebihan sehingga baterai menjadi kosong sama sekali (habis ampernya). Dapat dijelaskan lebih jauh disini yaitu BCR pada sistem Fotovoltaik, berbeda dengan “*Cut-Out*” yang ada pada mobil atau motor dimana disini “*Cut-Out*” tidak mempunyai sistem atau kontrol untuk menghentikan/memutuskan pengeluaran arus yang terus menerus apabila baterai telah mencapai kondisi minimum (kosong), hal ini dapat dimengerti tentunya karena apabila mobil tersebut bergerak/hidup, maka akan selalu terjadi pengisian arus listrik kedalam baterai oleh “Dynamo-Amper”, sehingga baterai tidak pernah kosong, sekalipun baterai dipakai untuk menyalakan lampu, A/C, tape-radio, dll; asal “dynamo-amper” tersebut tidak rusak/berfungsi dengan baik dan baterainya-pun tidak lemah (tidak “Swak” dalam istilah bengkel mobil). Sedangkan dalam sistem Fotovoltaik, dimana tentunya tidak ada “dynamoamper” dan hanya tergantung dari radiasi

matahari, maka apabila baterai tersebut dipakai terus menerus untuk menyalakan beban (lampu, tape-radio, dll) terutama pada malam hari, maka hal ini akan menyebabkan baterai berangsur-angsur mulai menuju kosong dan apabila tidak ada penambahan arus listrik kedalam baterai tersebut. Juga, jika pemakaian beban cukup besar dan terus menerus atau tidak dibatasi, maka baterai akan menjadi kosong sama sekali (habis ampernya). Kondisi ini disebut sebagai "*underdischarge*". Untuk mencegah terjadinya "*underdischarge*", maka digunakan alat atau sistem kontrol elektronik pada BCR yang secara otomatis akan memutuskan atau menghentikan pengeluaran arus listrik dari baterai tersebut.

Hal ini dapat dipantau/diketahui dari tegangan baterai, yaitu baterai akan mencapai kondisi minimum (hampir kosong Ampernya), jika tegangan baterai telah mencapai sekitar 11,4 s/d 11,7 volt. Oleh karena itu apabila tegangan baterai telah mencapai sekitar 11,4 – 11,7 volt, maka penggunaan arus listrik dari baterai harus dihentikan atau hubungan beban ke baterai harus segera diputuskan.

Hal ini adalah untuk mencegah apabila baterai terlalu sering mencapai kondisi kosong akan menyebabkan sulfasi baterai sehingga baterai akan cepat menjadi rusak.

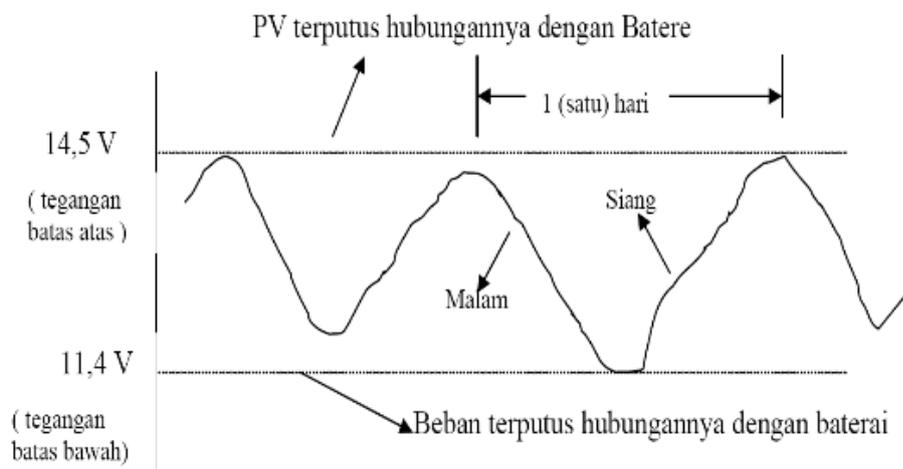
#### Daerah tegangan kerja baterai

Daerah tegangan kerja baterai adalah daerah tegangan dimana sistem Fotovoltaik masih mampu menyalakan beban. Untuk Sistem tegangan 12 volt, maka daerah tegangan kerja baterai adalah antara 11,4 volt - 14,5 volt. Biasanya dalam pemakaian sehari-hari harus diusahakan agar pemakaian beban jangan sampai menyebabkan teganan baterai mencapai 11,4 Volt, karena apabila mencapai titik tegangan tersebut, beban akan segera dimatikan secara otomatis. Untuk pemakaian beban sehari-hari sebaiknya

lihat contoh cara pemakaian beban seperti yang disajikan pada perancangan sistem.

Adapun grafik turun dan naik tegangan baterai terhadap pemakaian beban dan pengisian arus listrik melalui Fotovoltaik dapat digambarkan seperti gambar 26.

Gambar 3. 27 Grafik tegangan baterai terhadap pemakaian beban dan pengisian arus listrik melalui fotovoltaik



#### Beban Berlebih dan Hubung Singkat

Beban berlebih adalah suatu pemakaian beban yang melebihi kapasitas maksimum output BCR. Sebagai contoh, jika kapasitas maksimum output BCR adalah 10 amper, maka apabila pemakaian beban melebihi 10 amper, dikatakan beban berlebih, dan biasanya BCR mempunyai proteksi/pencegahan yang secara otomatis akan memutuskan beban, jika terjadi adanya beban berlebih tersebut.

Hubung singkat terjadi akibat adanya hubungan langsung antara polaritas positif (+) dengan polaritas negatif (-) dari suatu sumber tegangan. Dalam hal ini terminal positif beban (beban +) dan terminal negatif beban (beban -) pada BCR juga merupakan suatu sumber tegangan yang akan mensuplai daya listrik ke beban.

Kemungkinan hubung singkat tersebut dapat saja terjadi akibat terhubungnya terminal positif dan negatif beban pada BCR melalui suatu benda logam yang bersifat sebagai konduktor, misalnya obeng, kawat konduktor, kunci pas, dll; atau mungkin juga terjadi hubungan langsung antara kabel positif dengan kebel negatif pada kabel yang menuju beban (ujung-ujung kabel tersebut tersambung langsung).

Pada kondisi hubung singkat ini terjadi arus yang sangat besar, maka apabila BCR tidak dilindungi dengan proteksi hubung singkat, tentunya akan terjadi kerusakan pada komponen elektronik yang ada didalam BCR tersebut.

Untuk sistem yang sederhana perlindungan hubung singkat ini dapat dilakukan dengan menggunakan sikring pengaman (fuse), tetapi untuk sistem yang di dalamnya terdapat komponen elektronik yang sensitif sekali terhadap pengaruh arus hubung singkat, maka diperlukan suatu rangkaian elektronik khusus yang mampu memberi perlindungan terhadap terjadinya hubung singkat.

Pada umumnya rangkain elektronik untuk proteksi hubung singkat ini adalah sama dengan rangkaian elektronik untuk proteksi arus beban lebih.

Untuk BCR yang mempunyai kapasitas arus output maksimum yang cukup besar, kejadian hubung singkat harus dihindari secepat mungkin, karena apabila hubung singkat ini kejadiannya cukup lama, maka ada kemungkinan komponen elektronik yang ada didalam BCR rusak juga.

Polaritas terbalik

Polaritas terbalik dapat terjadi pada:

1. Terbaliknya hubungan antara PV dengan BCR.
2. Terbaliknya hubungan antara Baterai dengan BCR.

### 3. Terbaliknya hubungan antara BCR dengan beban.

BCR yang ber-mutu baik, akan mempunyai perlindungan terhadap kerusakan BCR akibat terjadinya polaritas terbalik untuk hubungan PV-BCR (Point 1) dan polaritas terbalik untuk hubungan Baterai-BCR ( Point 2), sedangkan untuk hubungan BCR-Beban, proteksi polaritas terbaliknya berada pada beban yang bersangkutan.

Perlindungan terhadap polaritas terbalik untuk hubungan PV – BCR adalah dilakukan dengan membrikan suatu “Blocking-Diode”, yang sekaligus merupakan pencegahan arus balik (“reverse current”) dari baterai menuju PV, sedangkan perlindungan polaritas terbalik untuk hubungan Baterai-BCR, harus dilengkapi dengan beberapa tambahan komponen atau rangkaian elektronik.

#### Pemberian Informasi Kondisi Sistem ke Pemakai

Informasi kondisi sistem yang diberikan kepada pemakai dapat berupa suara yaitu seperti misalnya suara Alarm atau suatu nyala Lampu seperti yang kita kenal pada BCR yaitu lampu LED (Light Emitting Diode). Informasi ini diberikan untuk memberi peringatan atau pemberitahuan kepada pemakai bahwa sistem berada di luar kondisi operasi; sistem berada dalam kondisi operasi ataupun sistem berada dalam kondisi “emergency”.

#### Kriteria Penting BCR

Kriteria yang penting perlu diperhatikan untuk pemilihan BCR antara lain adalah:

- Fungsi pengaman dan kinerjanya terpenuhi;
- Handal (tidak mudah rusak);
- Pabrikasi sederhana; serta
- Harga yang memadai.

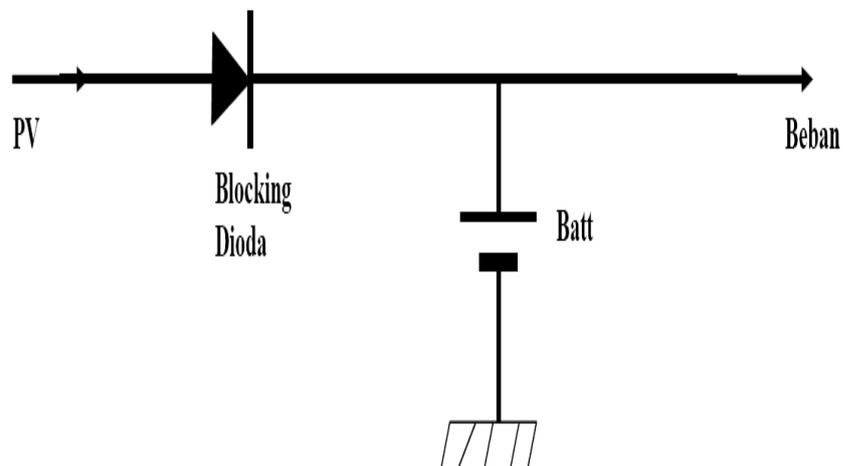
### Tipe BCR

Tipe-tipe BCR diklasifikasikan berdasarkan cara pemutusan hubungan antara PV dengan baterai, antara lain sebagai berikut:

- Direct Connection
- On - Off Regulation:
  - a. Seri
  - b. Paralel
  - c. PWM (*Pulse Width Modulation*)
- Two-step Regulation
- Multistep
- MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)

#### Direct Connection

Gambar 3. 28 Rangkaian BCR tipe *Direct Connection*



Pada tipe ini fotovoltaik terhubung langsung atau tidak menggunakan saklar pemutus pada tegangan batas atas. Untuk mencegah arus balik dari baterai ke PV, dipasang 'Blocking Diode'. Kemudian, untuk mencegah terjadinya overcharge, kapasitas PV, baterai, dan pemakaian energi beban harus

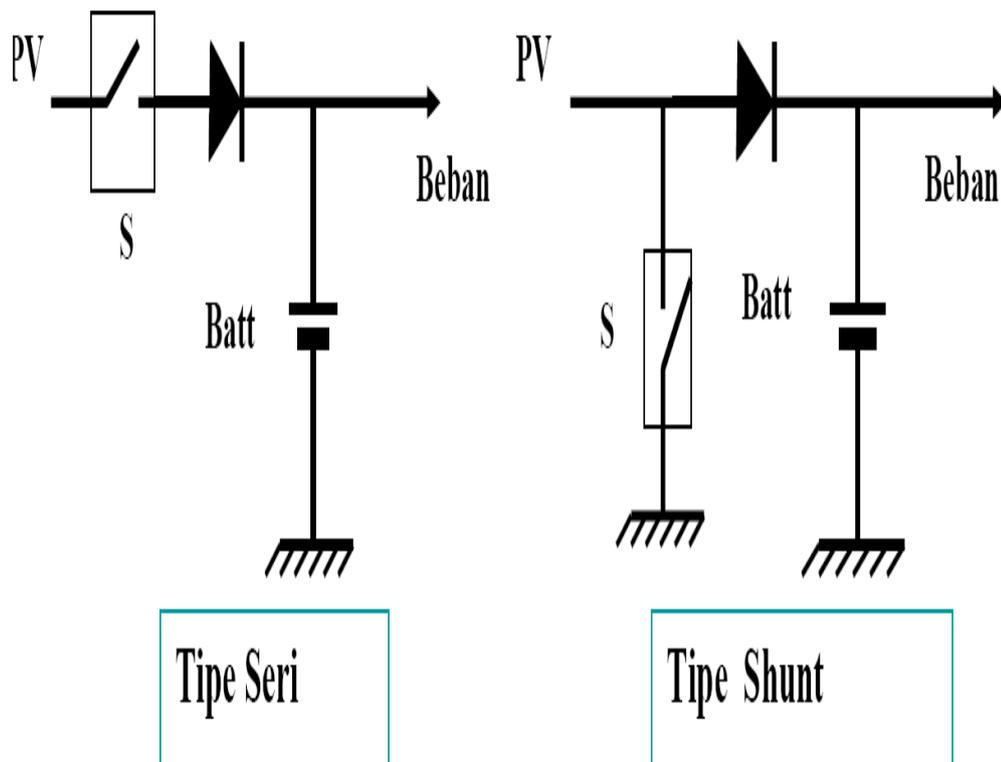
dihitung dengan tepat, sehingga tegangan kerja PV sesuai atau 'match' dengan daerah tegangan kerja baterai.

Tegangan terbuka modul PV ( $V_{oc}$ ) harus didisain sedemikian rupa sehingga pada saat baterai penuh, tegangan output PV hampir sama dengan tegangan baterai penuh. Biasanya  $V_{oc} = 16,5$  volt (1 modul terdiri dari 33 sel PV yang diseri). Tipe ini tergolong sederhana dan ekonomis.

Tipe ini hanya sesuai untuk lokasi yang temperaturnya tidak terlalu bervariasi, sehingga tegangan maksimum PV relatif konstan.

#### On-Off Regulator

Gambar 3. 29 Rangkaian BCR tipe *On-Off Regulator*

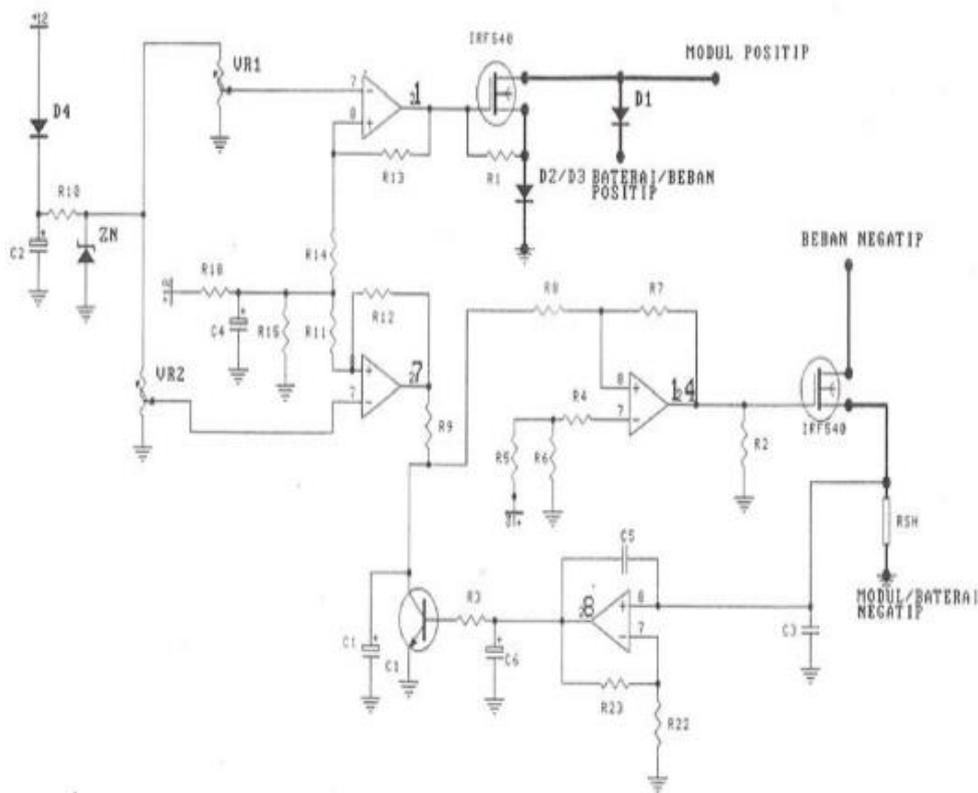


Hubungan PV dengan baterai akan terputus pada saat tegangan baterai telah mencapai batas atas, misalnya pada 14,2 volt.

Untuk tipe seri, pada saat 'cut-off',  $I_{pv} = 0$  dan  $V_{pv} = V_{oc}$  (saklar S terbuka). Sedangkan untuk tipe parallel, pada saat 'cut-off',  $I_{pv} = I_{sc}$  dan  $V_{pv} = 0$  (saklar S tertutup).

Pabrikasi tipe On-Off Regulator ini tergolong tidak terlalu rumit serta cukup handal apabila rancangan dan pabrikasinya baik. Tipe ini paling banyak dipasarkan.

Gambar 3. 30 Rangkaian BCR tipe *shunt*



### Two-Step Regulation

Blok diagram rangkaian dasar two-step regulation sama dengan blok diagram dari On-Off Regulation. Namun terdapat perbedaan prinsip kerja

terhadap buka – tutup nya Saklar S. Apabila tegangan baterai pada saat belum mencapai tegangan dimana kapasitas baterai minimum, yaitu tegangan baterai masih lebih besar dari 11,4 volt ( $V_{bat} > 11,4$  volt) lalu baterai kembali diisi (di-charge) oleh fotovoltaiik, maka pengisian hanya berlangsung sampai kapasitas baterai penuh (misalnya  $V_{bat} = 14,2V$ ). Tegangan ini sekarang disebut sebagai tegangan “Floating” atau tegangan batas atas “normal”.

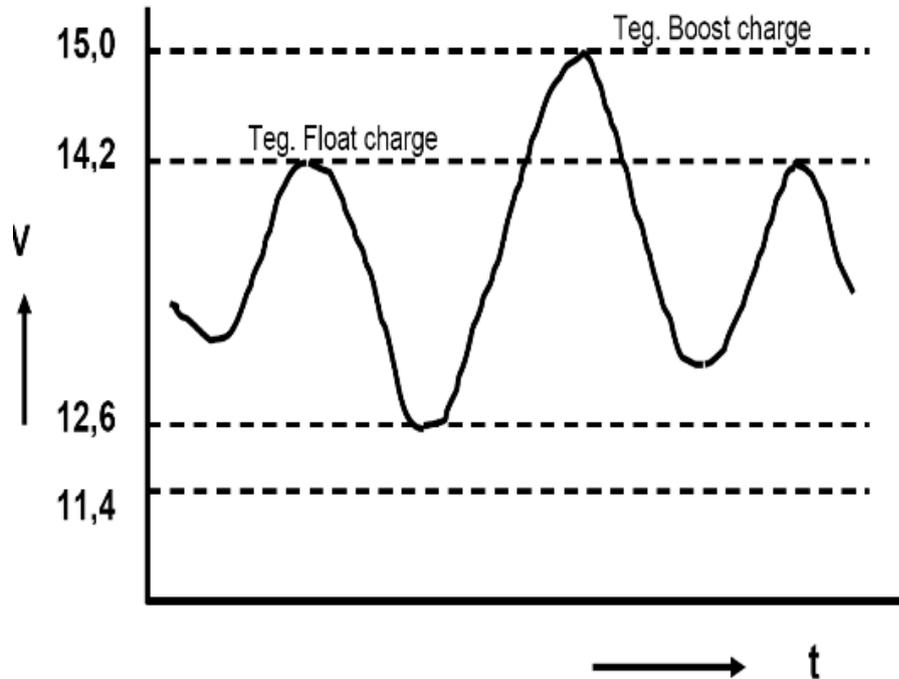
Tetapi apabila tegangan baterai, karena suatu hal terus turun, mencapai limit tegangan baterai minimum yaitu  $V_{bat} = 11,4$  Volt, maka pengisian baterai harus dilakukan sampai tegangan baterai mencapai tegangan “gassing” (yaitu misalnya  $V_{bat} = 15$  volt).

Batas tegangan baterai dimana pada saat pengisian kembali baterai menuju tegangan baterai “gassing”, tidak selalu harus menunggu sampai kapasitas baterai minimum. Pada beberapa BCR tegangan tersebut di-set sedikit lebih besar, yaitu sekitar 12,6 volt.

Contoh kejadian tegangan baterai pada kondisi “charge-discharge” untuk BCR jenis two-step regulation ini adalah seperti pada gambar dibawah ini. Di sini tegangan picu atau tegangan trigger baterai dimana baterai akan menuju pengisian sampai gasing di-set = 12,6 volt.

Gambar 3. 31

Tegangan baterai saat kondisi *Charge-Discharge* BCR tipe *Two-Step Regulation*



#### Multistep Regulator

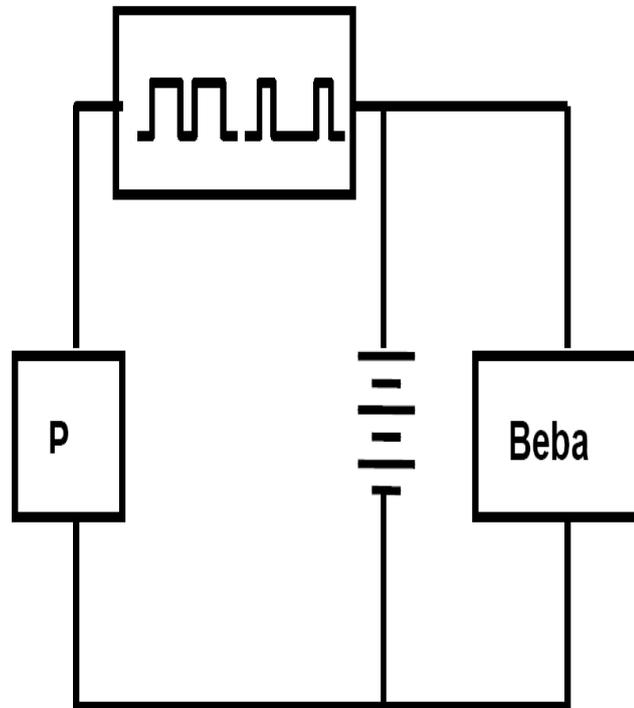
Tipe BCR ini menghubungkan/memutuskan PV array sedikit demi sedikit (satu string untuk setiap tahap) sesuai dengan kondisi baterai. Umumnya pemutusan/penghubungan PV dengan baterai dilakukan secara seri.

Proses pengisian mendekati kondisi yang ideal karena besarnya arus pengisian dapat diatur dari kondisi paling minimal (semua switch terbuka) hingga pengisian maksimal (semua switch tertutup).

Hanya sesuai untuk sistem PLTS berkapasitas besar yang terdiri dari dari banyak modul.

Disain dasar PWM

Gambar 3. 32 | Rangkaian PWM pada BCR



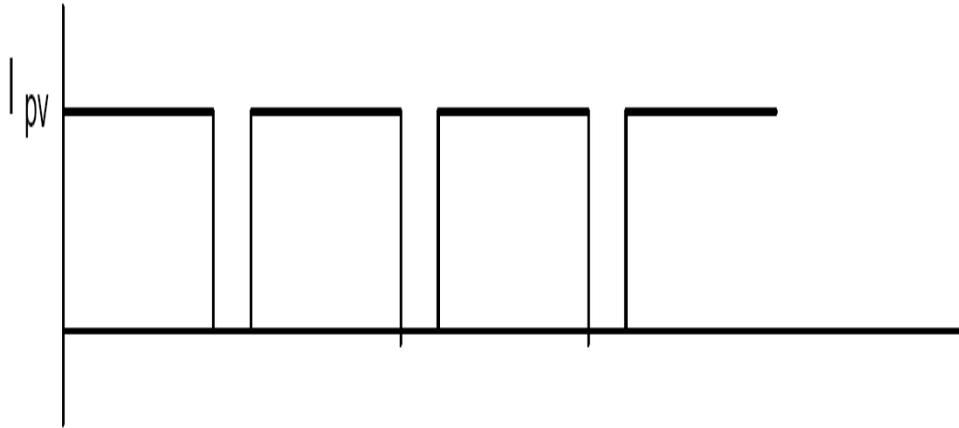
Pada saat baterai hampir penuh, terjadi pengisian (charging) yang terputus-putus atau dikenal dengan teknik PWM (Pulse Width Modulation). Proses pengisian baterai mendekati kondisi ideal, karena besar kecilnya arus pada saat pada saat baterai akan penuh diatur oleh lebar pulsa “on”.

Rangkaian BCR tipe ini lebih rumit, terutama karena PWM harus didisain sedemikian rupa sehingga tidak menimbulkan interferensi pada gelombang radio.

Bentuk- bentuk arus pengisian dengan PWM

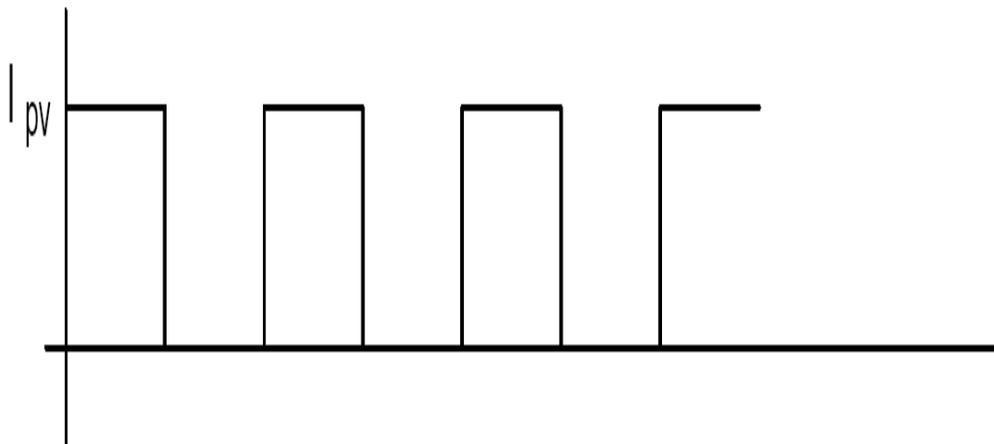
a) PWM mulai start (baterai hampir penuh)

Gambar 3. 33 Bentuk arus pengisian PV dengan PWM saat start



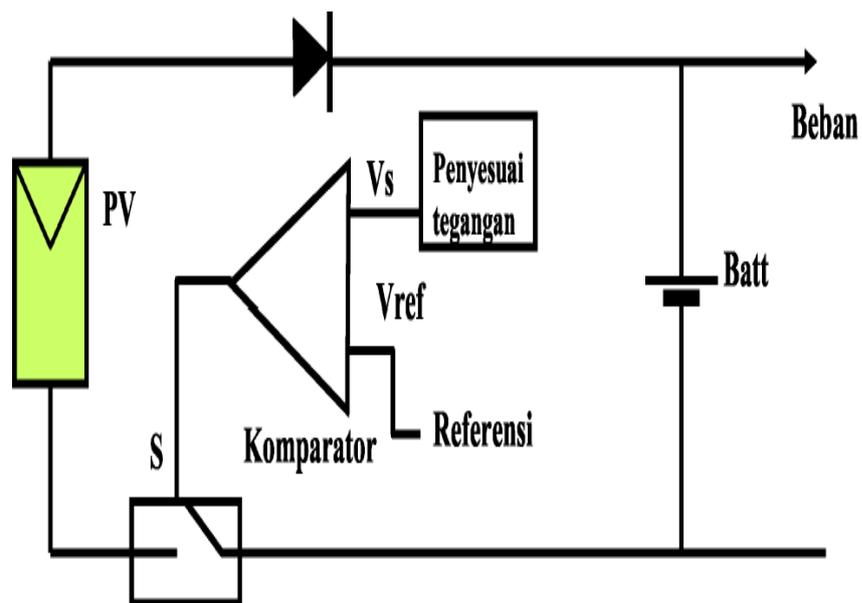
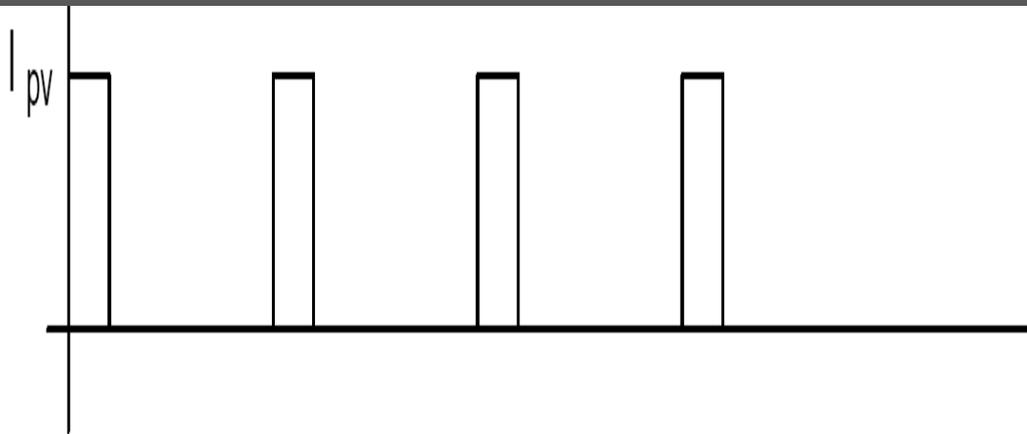
b) PWM 50 % 'duty cycle' (baterai penuh, tapi masih dapat diisi)

Gambar 3. 34 Bentuk arus pengisian PV dengan PWM 50% duty cycle



c) PWM 95 % 'duty cycle' (baterai penuh, sudah hampir tidak dapat diisi)

Gambar 3. 35 Rangkaian BCR dengan sistem kerja *On-Off regulator* jenis seri



Jika  $V_S < V_{ref}$ , maka komparator akan On dan memicu (trigger) switch elektronik S agar tetap On (Switch S tutup).

$V_S$  merupakan tegangan sensor yang mengikuti tegangan baterai, dan  $V_{ref}$  dibuat sedemikian rupa sehingga pada saat  $V_S = V_{ref}$ , komparator akan mendeteksi tegangan batas atasnya (sama dengan 14,2V). Jadi untuk  $V_{bat} <$

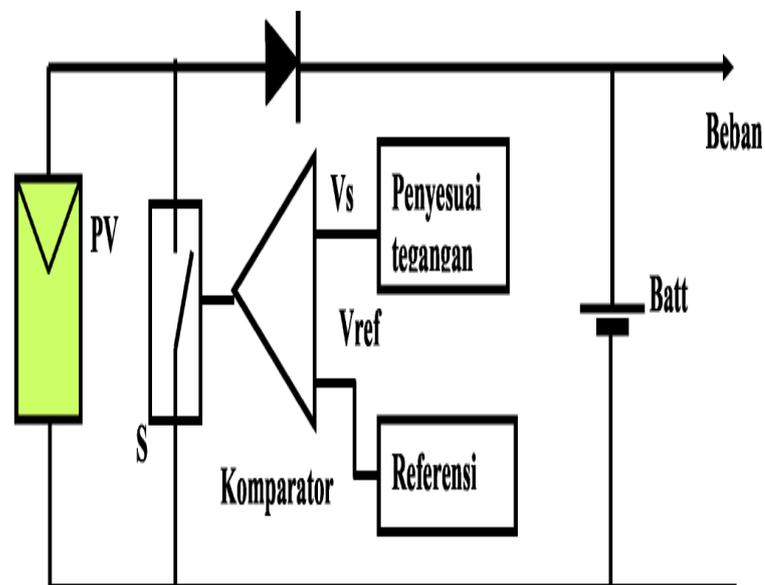
14,2V (yaitu  $V_S < V_{ref}$ ) switch S akan tutup (On), dan pada saat  $V_S \geq V_{ref}$  ( $V_{bat} \geq 14,2V$ ) switch S akan terbuka (off).

Pada beberapa jenis BCR, biasanya terdapat perbedaan antara tegangan 'cut-off' dengan tegangan rekoneksi-nya dimana dikenal sebagai tegangan 'hysteresis' pada komparator dan ini dapat di-desain pada rangkaian BCR-nya.

Keuntungan dengan cara ini adalah rugi daya pada saklar lebih rendah dibandingkan jenis shunt. Sedangkan kerugiannya bisa menimbulkan tegangan jatuh pada electronic switch S yang terpasang secara seri antara PV dengan baterai.

#### Sistem On-Off Regulator Jenis Shunt

Gambar 3. 36 Rangkaian BCR dengan sistem kerja *On-Off regulator jenis shunt*

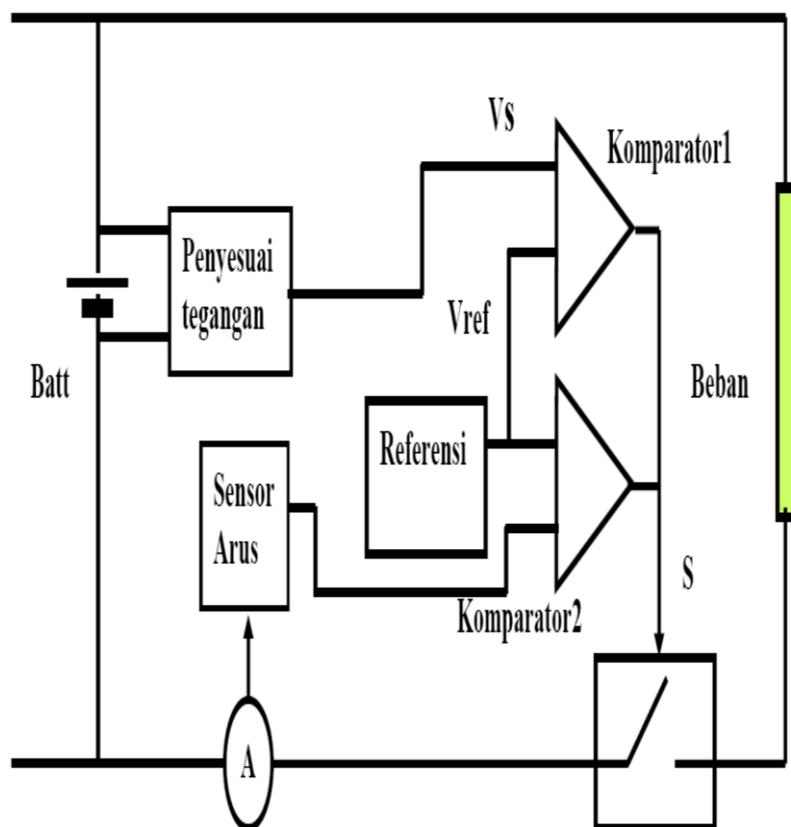


Jika  $V_S < V_{ref}$ , maka komparator akan Off dan electronic switch juga Off (Switch S terbuka).  $V_S$  merupakan tegangan sensor yang mengikuti tegangan

baterai, dan  $V_{ref}$  dibuat sedemikian rupa sehingga pada saat  $V_S = V_{ref}$ , komparator akan mendeteksi tegangan batas atasnya (sama dengan 14.2V). Jadi untuk  $V_{bat} < 14,2V$  (atau  $V_S < V_{ref}$ ) switch S akan terbuka (Off), dan pada saat  $V_S \geq V_{ref}$  ( $V_{bat} \geq 14.2$  volt ) switch S akan tertutup (on-off). Pada beberapa jenis BCR, biasanya terdapat perbedaan antara tegangan 'cut-off' dengan tegangan rekoneksi-nya dimana dikenal sebagai tegangan 'hysteresis' pada komparator dan ini dapat di-desain pada rangkaian BCR-nya.

#### Sistem On-Off pada Sisi Beban dan Proteksi Beban Lebih

Gambar 3. 37 Rangkaian BCR dengan sistem kerja *On-Off* pada sisi beban dan proteksi beban lebih



Komparator1 untuk pemutus/penghubung switch S terhadap tegangan baterai minimum (batas bawah) dan Komparator2 untuk pemutus/penghubung switch S terhadap proteksi beban lebih atau hubung singkat.

Bila tegangan baterai belum mencapai minimum, maka:  $V_S > V_{ref} \rightarrow$  Switch S tertutup  $\rightarrow$  beban terhubung. Bila tegangan baterai telah mencapai minimum, maka:  $V_S < V_{ref} \rightarrow$  Switch S terbuka  $\rightarrow$  beban terputus.

Untuk proteksi beban lebih atau hubung singkat, jika arus beban ( $I_b$ ), melebihi arus maksimum atau arus hubung singkat, maka sensor arus akan meng-input-kan suatu besaran tegangan ke Komparator2. Jika dibandingkan dengan tegangan  $V_{ref}$ , akan menyebabkan Komparator2 tersebut memberikan trigger ke Switch S untuk segera Off.

Pengkondisian Switch S terhadap batas tegangan baterai minimum dengan proteksi beban lebih adalah sebagai berikut:

- jika  $V_{bat} > V_{min}$  dan  $I_b < I_{max}$ , maka Switch S tertutup;
- jika  $V_{bat} \leq V_{min}$  dan  $I_b < I_{max}$ , maka Switch S terbuka;
- jika  $V_{bat} > V_{min}$  dan  $I_b > I_{max}$ , maka Switch S akan mengalami proses.

On-Off sedemikian rupa seakan-akan Switch S mempunyai kondisi terbuka (kondisi On-nya sangat cepat, sedangkan kondisi Off-nya sangat lambat). Jika  $V_{bat} \leq V_{min}$ , dan  $I_b > I_{max}$ , maka Switch S terbuka.

Memperlambat kondisi Switch S Off pada saat  $I_b > I_{max}$ , dapat dilakukan dengan membuat rangkaian 'delay'.

Tegangan batas atas BCR untuk beberapa tipe baterai

Tegangan batas atas tergantung dari tipe baterai. Untuk baterai dengan cairan asam-sulfat dan deep cycle, gassing masih diperbolehkan dalam jumlah yang kecil.

Pada baterai yang 'free maintenance', misalnya Gell dan AGM, proses gassing harus dihindari (tidak diperbolehkan).

Tabel 3. 3 Tegangan batas atas BCR

Tipe Baterai	Flooded Deep Cycle (V)	Flooded Maintenance Free (V)	Sealed Absorbed Glass Mat (V)	Sealed Gelled (V)
End-of-Charge for 12 volts*	14,4 - 14,8	14,1	14,2 - 14,4	14,0 - 14,2
End-of-Charge for one cell*	2,4 - 2,47	2,35	2,36 - 2,4	2,33 - 2,36

\*End-of-Charge Voltage: tegangan batas atas

### Spesifikasi BCR

Parameter-parameter penting dalam menentukan BCR antara lain arus, sistem tegangan, dan sistem proteksi. Parameter-parameter utama utama tersebut dan parameter pendukung lainnya adalah sebagai berikut:

1. Arus:
  - a. Arus input dan arus output maksimum
2. Sistem tegangan:
  - a. Tegangan nominal
  - b. Tegangan sistem maksimum, tegangan open circuit

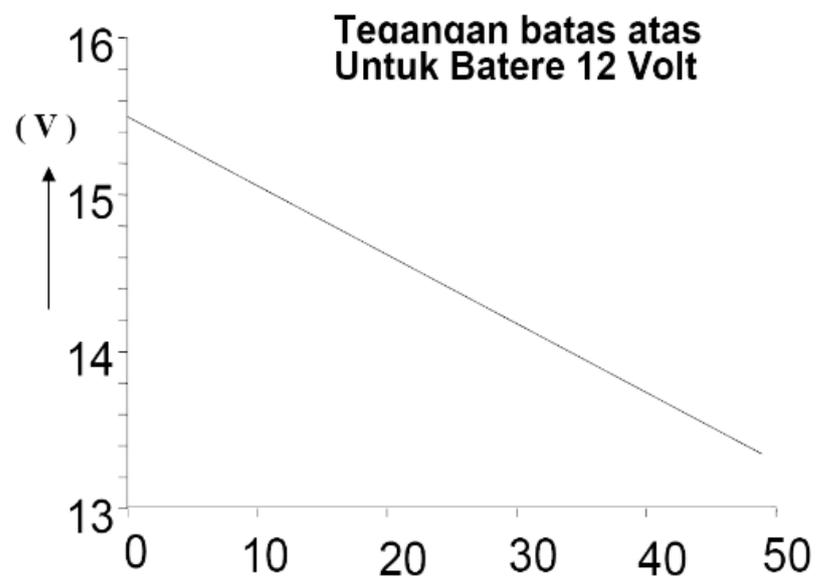
- c. Positif atau negatif ground
- 3. Sistem proteksi:
  - a. Beban lebih/hubung singkat
  - b. Arus balik (*Reverse current*)
- 4. Batasan tegangan *cut-off* & rekoneksi:
  - a. Tegangan batas atas (PV cut-off)
  - b. Tegangan bawah (beban cut-off)
- 5. Konsumsi daya:
  - a. Nominal
  - b. Konsumsi diri (*self-consumption*)
- 6. Tegangan jatuh:
  - a. Pada sisi PV - baterai (termasuk *blocking-diode*)
  - b. Pada sisi beban - baterai
- 7. Tambahan lain disain:
  - a. '*set point*' yang dapat diatur
  - b. Temperatur kompensasi
- 8. Pengaruh lingkungan:
  - a. Indoor dan Outdoor
  - b. Untuk aplikasi di laut (*marine*)
  - c. Penangkal petir
  - d. Temperatur ekstrim
  - e. Debu, serangga, perusak
- 9. Sistem Pengaman:
  - a. Sikring dan *circuit-breaker* (CB)
- 10. Pelayanan:
  - a. Kemudahan pemasangan
  - b. Keandalan
  - c. Garansi
- 11. Penggantian/suku cadang

### Kompensasi Temperatur

Pengaturan besarnya tegangan batas atas (*End-of-Charge Voltage*) berdasarkan pada temperatur baterai atau temperatur lingkungan. Tegangan batas atas akan turun, jika temperatur menjadi lebih panas. Sebaliknya, tegangan batas atas akan naik jika temperatur menjadi lebih dingin.

Temperatur Baterai (°C)

Gambar 3. 38 | Kurva tegangan batas atas untuk baterai 12 volt



Dengan demikian, tegangan batas atas harus diturunkan pada saat temperatur baterai panas, dan harus dinaikkan pada saat temperatur baterai dingin.

Kompensasi temperatur ini penting untuk tipe baterai '*sealed*'. Umumnya nilai perubahan tegangan Terhadap perubahan temperatur adalah  $-5 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}/\text{sel}$  baterai atau  $-30 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$  untuk baterai 12 volt.

**Tabel 3. 4** Battery State of Charge (kondisi tegangan sesuai kapasitas baterai)

State-of-Charge (%)	Specific Gravity	Tegangan Terbuka Voc (V)	Tegangan saat charging Vb (V)
100	1.265	12.86	13.8 - 14.7
90	1.250	12.60	-
80	1.235	12.52	-
70	1.225	12.44	-
60	1.210	12.36	12.5 - 13.0
50	1.190	12.28	-
40	1.175	12.20	11.4 - 11.7
30	1.160	12.10	-
20	1.145	12.00	11.1 - 11.2
10	1.130	11.85	< 11.0
0	1.120	11.70	-

### 3.7. Baterai

Salah satu komponen dalam Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fotovoltaik adalah komponen baterai, yang merupakan jantung sistem untuk bekerja pada malam hari.

#### Fungsi Baterai

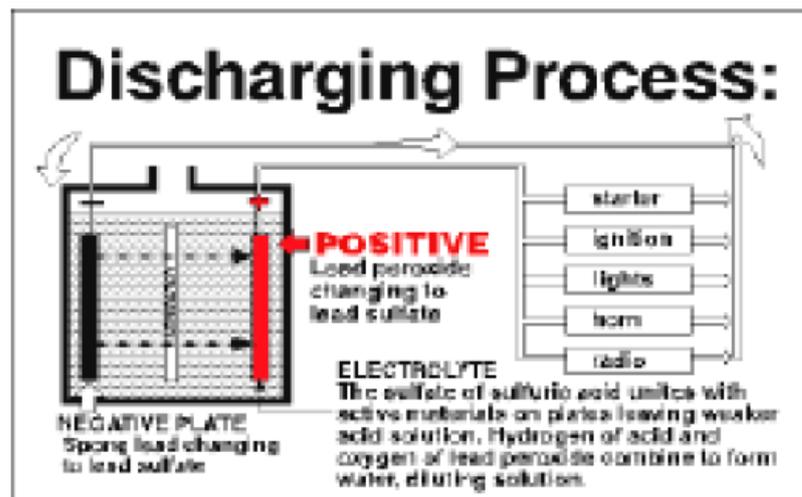
Baterai menyimpan energi listrik yang dihasilkan modul surya pada saat matahari bersinar, dan baterai akan mengeluarkan kembali energi listrik pada saat modul surya tidak dapat lagi menghasilkan energi listrik.

Pada kondisi normal baterai dipergunakan saat malam hari atau saat cuaca berawan, akan tetapi jika terjadi kondisi beban yang berlebih pada siang hari, baterai dapat dipergunakan menambah beban yang dihasilkan modul surya.

### Baterai Lead-Acid

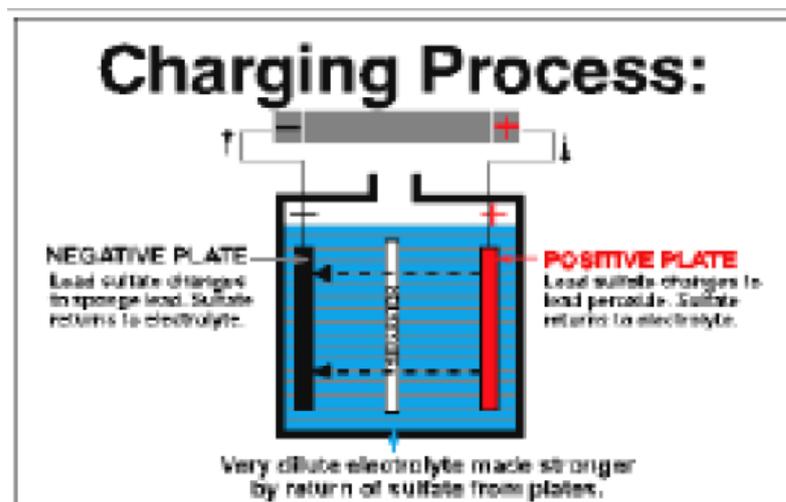
Baterai lead-acid adalah suatu alat yang memanfaatkan reaksi kimia untuk menyimpan energi listrik. Baterai lead-acid memanfaatkan kombinasi dari pelat timah (lead) dan elektrolit asam sulfat encer (acid) untuk mengubah energi listrik menjadi energi potensial kimia dan mengubahnya kembali menjadi energi listrik.

Gambar 3. 39 Proses *discharging*

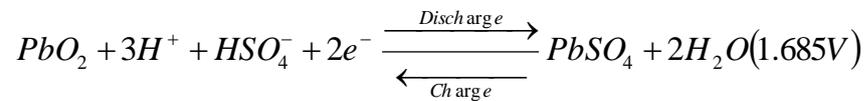


Baterai biasanya dibuat untuk keperluan tertentu yang spesifik/khusus, dalam hal ini dibedakan dari konstruksi yang dibuat untuk komponennya.

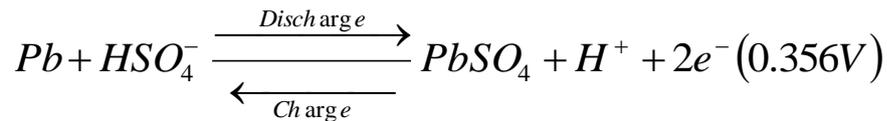
Gambar 3. 40 Proses *charging*



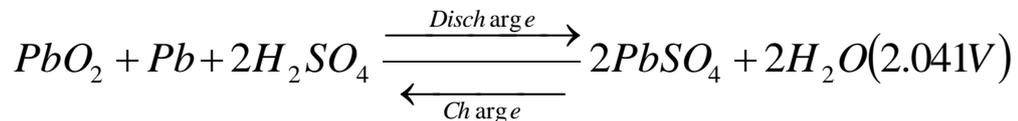
Rumus 2: Proses *Charge-Discharge* pada sisi positif elektroda



Rumus 3: Proses *Charge-Discharge* pada sisi negatif elektroda



Rumus 4: Proses *Charge-Discharge* untuk keseluruhan sel



Baterai Lead-Acid Berdasarkan Siklus

Secara umum terdapat dua macam baterai yang dibuat manufaktur yakni:

1. Baterai *Starting*;
2. Baterai *Deep-cycle*.

Baterai *Starting*

Baterai *Starting* dibuat untuk memungkinkan penyalaan mesin atau *starting engine*. Baterai *starting* memiliki banyak pelat tipis yang memungkinkan untuk melepaskan energi listrik yang besar dalam waktu yang singkat.

Baterai *starting* tidak dapat dipaksa untuk melepaskan energi listrik terlalu besar dalam selang waktu yang panjang, karena konstruksi pelat-pelat yang tipis akan cepat rusak pada kondisi tersebut.

Gambar 3. 41 | Baterai *Starting*



#### Baterai Deep-Cycle

Baterai Deep-Cycle dibuat dengan pelat lebih tebal yang memungkinkan untuk melepaskan energi listrik dalam selang waktu yang panjang. Baterai deep cycle tidak dapat melepaskan energi listrik secepat dan sebesar baterai starter, tetapi baterai ini dimungkinkan untuk dapat menyalakan mesin. Semakin tebal pelat baterai semakin panjang usia baterai yang diharapkan.

Gambar 3. 42 | Baterai *Deep-Cycle*



Berat suatu baterai merupakan salah satu indikator dari pelat yang digunakan dalam suatu baterai. Semakin berat suatu baterai untuk ukuran grup yang sama akan semakin tebal pelat baterai tersebut, dan semakin tahan terhadap pelepasan energi listrik secara berlebihan.

*Baterai Lead-Acid Berdasarkan Disain Kontener*

*Kontener baterai dibuat dalam beberapa macam konfigurasi:*

1. Flooded Cell
2. Sealed Cell/Valve Regulated Lead Acid (VRLA)

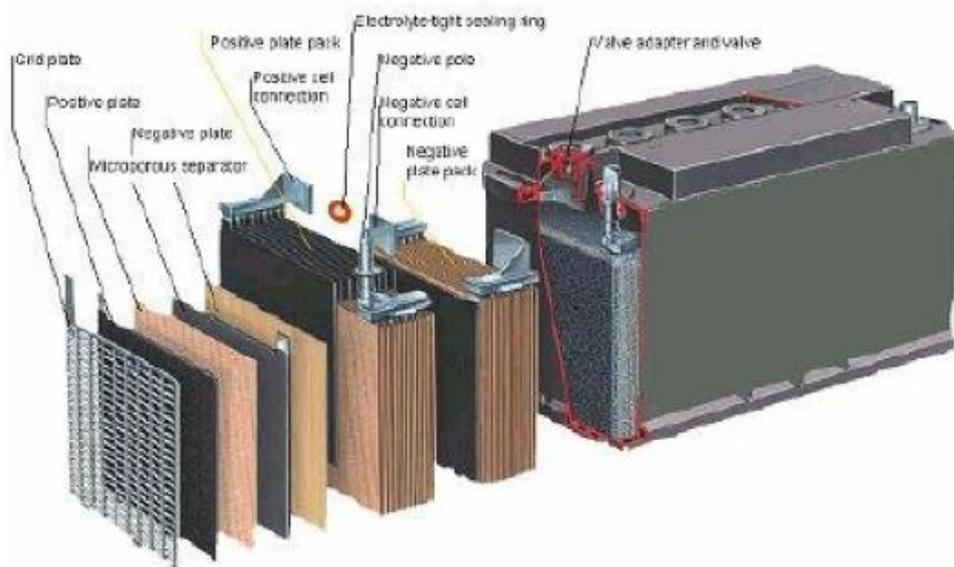
*Flooded Cell*

*Flooded Cell adalah disain kontener baterai, dimana elektrolit bebas tersedia dalam jumlah berlebih dan produk hasil elektrolisa air (gas H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>) dapat dikeluarkan secara bebas melalui ventilasi.*

*Kontener baterai Flooded Deep Cycle atau Flooded Starter biasanya mempunyai penutup sel yang memungkinkan untuk menambah air aki yang hilang karena terbentuknya Hidrogen dan Oksigen pada proses charging/pengisian.*

*Flooded Cell dimungkinkan untuk melakukan penambahan air yang hilang karena elektrolisa. Flooded Battery juga dikenal dengan nama Vented Cell.*

Gambar 3. 43 Konstruksi baterai flooded cell



### *Sealed Cell*

Sealed Cell adalah desain kontainer yang tertutup rapat dan dilengkapi dengan sebuah valve/ katub, yang akan terbuka jika tekanan gas hasil elektrolisa air melebihi suatu harga tekanan tertentu, untuk melepaskan gas keluar kontener. Kontener jenis ini lebih dikenal dengan VRLA (Valve Regulated Sealed Lead Acid).

Kontener Baterai VRLA tidak mempunyai penutup sel, dan bekerja pada tekanan konstan 1 sampai 4 psi. Tekanan ini akan membantu mengembalikan 99% Hidrogen dan Oksigen yang terbentuk pada proses charging/pengisian untuk kembali menjadi air.

Jadi pada baterai VRLA tidak memungkinkan untuk dilakukan penambahan air. Jenis VRLA yang paling umum digunakan adalah *Gelled VRLA* dan *AGM VRLA*.

Gambar 3. 44 *Sealed Cell* atau *Valve Regulated Lead Acid*



### Sel Baterai

Sel baterai adalah komponen individu terkecil dari sebuah baterai yang terdiri dari kontener dimana di dalamnya terdapat pelat timah dan tempat elektrolit bereaksi.

### Tegangan Sel

Tegangan sel berkisar antara 2,12 volt pada kondisi baterai penuh sampai dengan 1,75 volt pada kondisi baterai kosong. Semua baterai lead-acid beroperasi berdasarkan reaksi kimia yang sama.

Pada saat baterai mengeluarkan arus listrik/discharge, komponen aktif pada elektroda ( $PbO_2$  pada elektroda positif, dan  $Pb$  pada elektroda negatif) bereaksi dengan Asam Sulfat untuk membentuk Garam Sulfat dan Air. Sedangkan pada saat pengisian listrik/charge, garam sulfat pada kedua elektroda berubah kembali menjadi  $PbO_2$  pada elektroda positif,  $Pb$  pada elektroda negatif serta ion sulfat ( $SO_4$ ) kembali menjadi asam sulfat.

Tegangan nominal baterai bergantung pada jumlah sel yang dirangkai secara seri. Jadi baterai dengan tegangan nominal 12 volt tersusun secara seri dari 6 buah sel.

#### State of Charge

State of Charge (SOC) merupakan suatu ukuran seberapa penuhnya muatan listrik dalam baterai. Hubungan antara tegangan dengan SOC sangat bergantung pada temperatur baterai. Baterai dengan temperatur rendah akan memperlihatkan tegangan yang lebih rendah pada kondisi penuh dibandingkan dengan baterai dengan temperatur lebih tinggi.

Oleh karena itu beberapa regulator atau sistem charging dilengkapi dengan sensor temperatur pada sisi baterai.

#### Deep of Discharge

Deep of Discharge (DOD) merupakan suatu ukuran seberapa dalam/seberapa banyak muatan listrik telah dilepaskan/dikeluarkan dari sebuah baterai.

Jika baterai penuh atau 100% SOC, maka DOD baterai tersebut adalah 0%; sebaliknya jika baterai kosong atau 0% SOC maka DOD Baterai tersebut 100%.

Semakin dalam sebuah baterai muatannya dikeluarkan secara rata-rata maka semakin pendek usia baterai dan dinyatakan dalam Cycle Life.

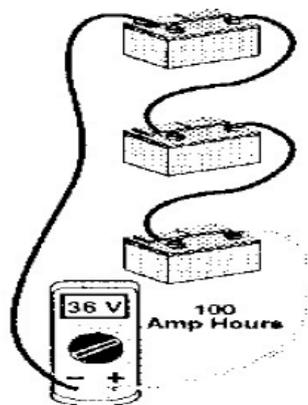
#### Kapasitas Baterai

Kapasitas suatu baterai dinyatakan dalam Ampere hour (Ah) atau Amper-Jam, yang merupakan suatu ukuran seberapa besar energi listrik yang dapat disimpan pada suatu tegangan nominal tertentu. Kapasitas suatu baterai bersifat aditif jika baterai dihubungkan secara paralel.

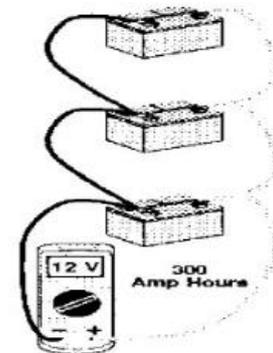
Jika tiga baterai dengan tegangan 12 volt dan kapasitas 100Ah dihubungkan secara seri, maka tegangan akan menjadi 36 volt sedangkan kapasitas tetap 100Ah (3600 watt-hour).

Jika tiga baterai dengan tegangan 12 volt dan kapasitas 100Ah dihubungkan secara paralel, maka tegangan akan tetap 12 volt sedangkan kapasitas menjadi 300Ah (3600 watt-hour).

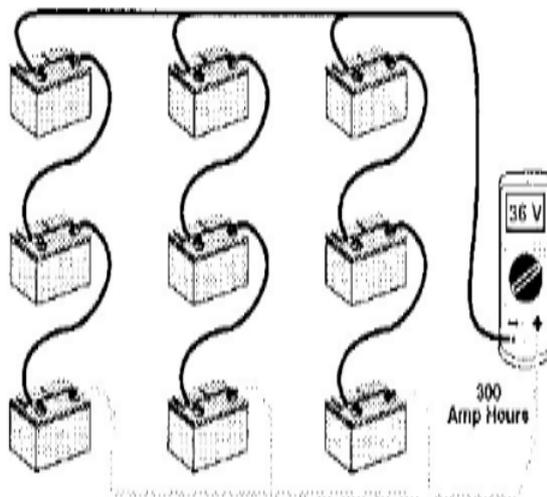
Gambar 3. 45 Hubungan baterai secara (a) seri; (b) paralel; (c) seri-paralel



(a)



(b)



(c)

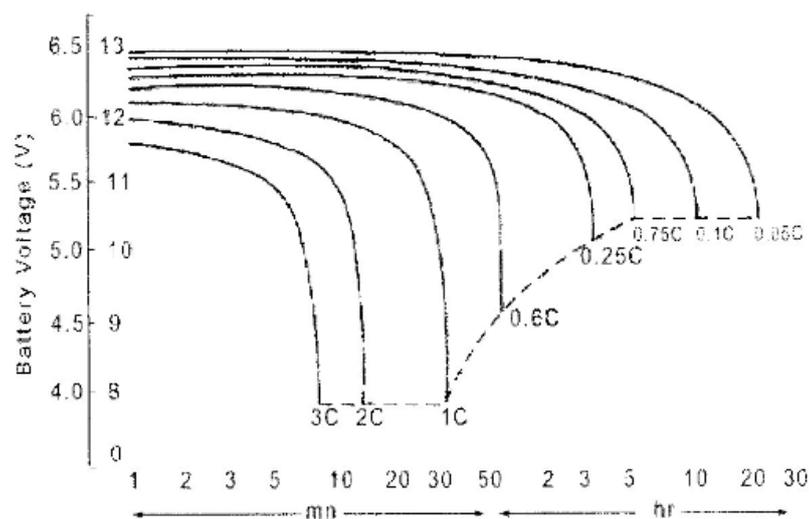
Karena baterai dalam proses pengisian dan pelepasan energinya bergantung pada reaksi kimia, maka kapasitas yang tersedia (*available capacity*) relatif terhadap kapasitas total akan bergantung kepada seberapa cepat pengisian dan pelepasan dilakukan, dimana keduanya merupakan reaksi-reaksi kimia yang berbeda arahnya.

Kapasitas total/kapasitas nominal biasanya diberi tanda C, yang merupakan ukuran seberapa besar energi yang dapat disimpan dalam baterai. Kapasitas yang tersedia biasanya lebih kecil dibanding dengan kapasitas total.

Umumnya kapasitas Amper-hour dari suatu baterai diukur pada suatu laju pengeluaran yang akan menyebabkan baterai habis/ kosong dalam 20 jam. (atau laju C/20 atau 0,05C ). Jika dilakukan pelepasan pada laju lebih besar dari C/20, akan didapatkan kapasitas tersedia yang lebih kecil dari C total.

Selain laju C/20, kapasitas nominal kadang-kadang dinyatakan dalam C/10, C/100 dan lainnya, tergantung pada laju dimana baterai akan digunakan.

Gambar 3. 46 Karakteristik baterai dalam kurva tegangan baterai vs laju *discharge*



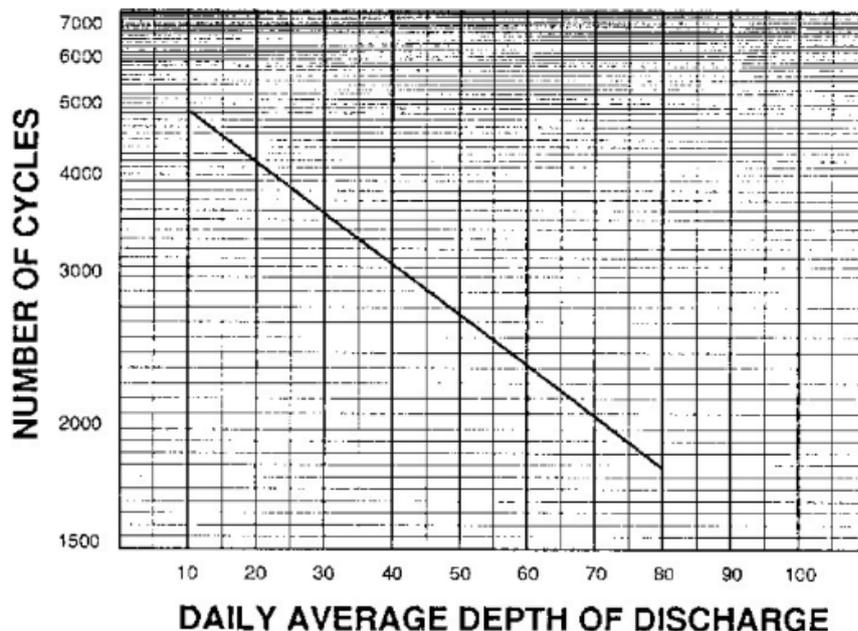
Siklus Baterai

Cycle atau Siklus, merupakan suatu interval yang meliputi satu perioda pengisian dan satu perioda pelepasan. Idealnya baterai selalu diisi/charge sampai dengan 100% SOC selama perioda pengisian pada tiap siklus. Sementara baterai dihindarkan digunakan atau discharge sampai dengan 0% SOC.

Suatu baterai dengan siklus dangkal atau Shallow Cycle dirancang hanya untuk melakukan pelepasan/discharge sebesar 10-25% DOD dari kapasitas total pada tiap siklusnya. Sedangkan baterai siklus dalam atau Deep-Cycle dirancang untuk dapat melakukan pelepasan/discharge sampai dengan 80% DOD dari kapasitas total pada tiap siklusnya.

Usia baterai jenis deep cycle, sangat dipengaruhi besarnya DOD pada tiap siklus. Semakin besar DOD akan semakin kecil jumlah siklus yang dapat dilalui baterai tersebut.

Gambar 3. 47 Siklus (*cycle life*) vs DOD baterai



Mekanisme Degradasi Baterai

Terdapat empat mekanisme degradasi/kerusakan utama yang dapat terjadi pada baterai yang dioperasikan dalam sistem tenaga surya:

1. Softening
2. Korosi grid
3. Sulfasi
4. Stratifikasi

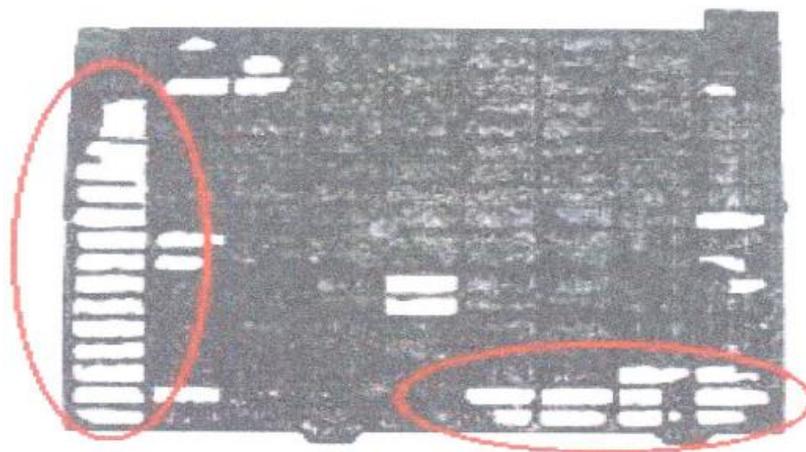
#### Softening

Jika baterai dioperasikan dalam siklus charge-discharge yang berulang-ulang, akan terjadi variasi volume (mengembang dan menyusut) dari komponen aktif pada pelat, variasi volume ini akan menyebabkan perubahan pada sifat-sifat bahan seperti daya kohesi, distribusi kristal dan ukuran kristal.

Perubahan-perubahan ini menyebabkan lemahnya ikatan antar kristal timah oksida sehingga terjadi softening atau rapuhnya komponen aktif. Konsekuensi pertama perubahan di atas adalah kehilangan kapasitas, akibat berkurangnya butiran komponen aktif yang ikut dalam reaksi kimia.

Akibat yang paling ekstrem adalah jika tidak adanya ikatan lagi antara bahan komponen aktif dengan grid, sehingga komponen aktif lepas dan jatuh ke dasar kontener. Proses ini dikenal juga dengan "shedding".

Gambar 3. 48 | Degradasi baterai akibat efek *Softening*

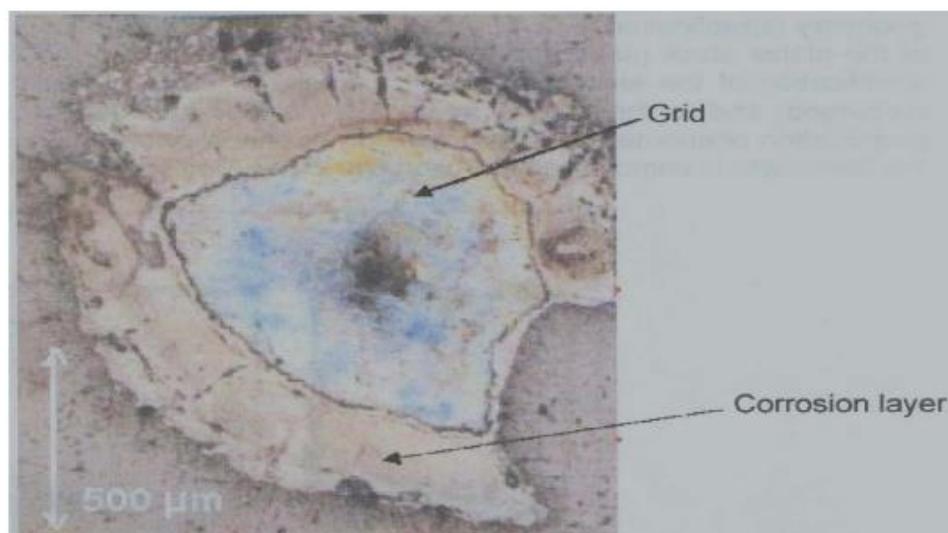


### Korosi Grid

Jika baterai lead-acid dalam kondisi bertegangan tinggi (saat akhir Charge atau Overcharge), oksigen yang terbentuk pada pelat positif cenderung untuk membentuk lapisan oksigen di antar muka grid dengan komponen aktif, sehingga grid teroksidasi membentuk lapisan korosi (karat). Lapisan korosi yang sama juga terjadi jika baterai dibiarkan dalam keadaan rangkaian terbuka untuk waktu yang lama.

Lapisan korosi bersifat resistif (tahanan) yang akan mempengaruhi penyaluran arus listrik hasil reaksi melalui grid. Konsekuensi dari adanya lapisan korosi ini diantaranya adalah, meningkatnya tahanan internal baterai, berkurangnya daya serap muatan listrik, menurunnya kapasitas baterai, serta menjadi rapuhnya grid.

Gambar 3. 49 | Degradasi baterai akibat efek korosi



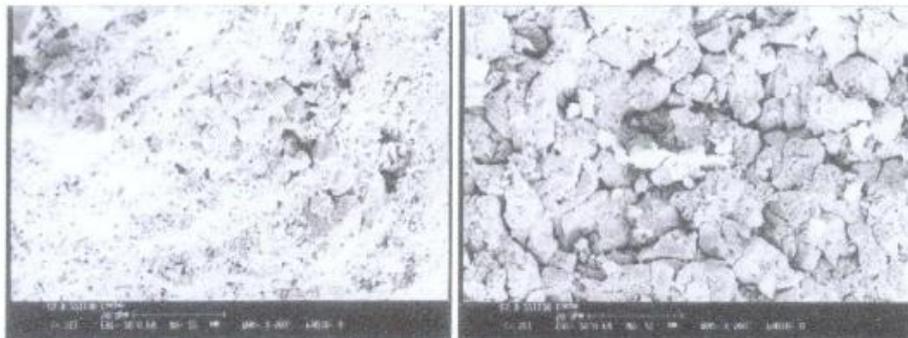
### Sulfasi

Kristal lead-sulphate terbentuk selama proses discharge dari baterai akibat reaksi antara timah dengan asam-sulfat.

Jika baterai dibiarkan pada keadaan SOC yang rendah, suatu proses rekristalisasi dari lead sulphate terjadi yang disebut dengan sulfasi, dan mempengaruhi karakteristik baterai. Kristal lead sulphat pada pelat positif dan negatif menjadi bertambah besar, dan cenderung memisahkan diri dari komponen aktif, sehingga sulit untuk diuraikan kembali menjadi komponen aktif dan asam sulfat saat dilakukan charging.

Konsekuensi dari proses ini adalah berkurangnya kapasitas baterai karena berkurangnya komponen aktif.

Gambar 3. 50 | Degradasi baterai akibat efek sulfasi

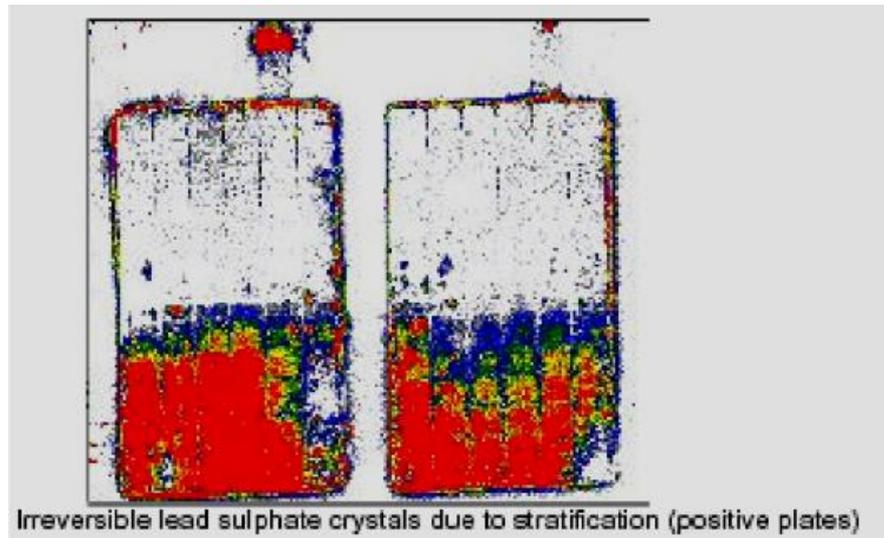


#### Stratifikasi Elektrolit

Stratifikasi elektrolit dalam baterai adalah terjadinya perbedaan konsentrasi asam sulfat, karena proses pengoperasian baterai. Asam sulfat terbentuk saat baterai dalam kondisi charging, mempunyai densitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan elektrolit secara keseluruhan, sehingga cenderung turun ke bagian dasar baterai. Gejala ini tampak jelas pada pengoperasian deep-discharge dan recharge, namun dengan melakukan overcharging stratifikasi ini dapat berkurang. Overcharge menghasilkan gelembung gas hidrogen dan oksigen akibat peristiwa elektrolisa air, gelembung-gelembung gas ini dapat mengaduk elektrolit sehingga konsentrasinya lebih homogen.

Konsekuensi dari stratifikasi adalah hilangnya kapasitas baterai, bagian bawah dari pelat cenderung terjadi suiphasi karena kurangnya recharge.

Gambar 3. 51 | Degradasi baterai akibat efek stratifikasi elektrolit



#### D. Aktivitas Pembelajaran

1. Peserta membaca uraian materi.
2. Kemudian mengerjakan lembar kerja dibawah ini:

	<b>MODUL DASAR ENERGI SURYA</b>	
<b>PENDAHULUAN</b>		

Pada buku petunjuk percobaan ini disajikan langkah-langkah penggunaan perangkat latih Solar Energy Demonstrator secara sistematis dan jelas dalam melaksanakan praktek yang meliputi :

LE01001 Solar Cell Unit

LE01002 Charge Control Unit

LE01003 Batery

LE01004 Inverter

LE01005 Aplikasi Sistem

Setiap nomor percobaan terdiri atas beberapa komponen yang telah disusun sedemikian rupa sehingga mempermudah pemakai untuk melakukan persiapan, proses dan mengambil suatu pengertian.

Komponen-komponen yang dimaksud terdiri dari :

**Nomor Percobaan**

Menunjukkan urutan percobaan yang ada pada buku ini.

**Judul Percobaan**

Memberikan gambaran arah dan penekakan percobaan yang akan dilakukan

1. Tujuan Percobaan

Memberikan petunjuk tentang sasaran yang akan dicapai atau perubahan tingkah laku yang diharapkan setelah melaksanakan kegiatan percobaan

2. Pendahuluan

Memberikan suatu gambaran pengetahuan awal sebagai bekal untuk melakukan suatu percobaan agar tidak terjadi kesalahan dalam menerjemahan hasil percobaan.

3. Peralatan

Terdiri atas dua jenis yaitu :

Utama : yang berarti peralatan tersebut adalah kelengkapan yang menyertai pesawat latih.

Pendukung : yang berarti peralatan tersebut sebagai penunjang dalam praktek namun tidak menyertai pesawat latih (tambahan yang harus disiapkan sendiri).

Kedua jenis peralatan tersebut merupakan kelengkapan yang harus disiapkan untuk melaksanakan suatu kegiatan percobaan

#### 4. Langkah Kerja

Merupakan petunjuk yang harus diikuti dalam proses melaksanakan suatu kegiatan praktek karena erat kaitannya dengan hasil yang akan dicapai.

#### 5. Evaluasi

Memberikan suatu gambaran tentang hasil praktek yang telah dilakukan sekaligus merupakan kontrol apakah percobaan yang dilakukan sudah dimengerti atau tidak.

Disamping hal-hal di atas, buku ini juga menyertakan gambar rangkaian masing-masing modul yang menyertai pesawat latih. Hal ini berguna untuk membantu pemakai dalam mempelajari komunikasi sistem digital lebih teknis serta berguna dalam hal perbaikan bila terjadi kerusakan pada pesawat latih Solar Energy Demonstrator ini.

### SOLAR CELL UNIT

#### Tujuan

Setelah melaksanakan percobaan ini diharapkan anda akan dapat :

1. Menjelaskan prinsip kerja *solar cell* / sel surya
2. Mengukur karakteristik tegangan dan arus sel surya

#### Pendahuluan

Pada saat ini energi listrik yang digunakan oleh manusia 90 % dihasilkan dari ketergantungan terhadap energi lain yang mengakibatkan biaya operasionalnya menjadi sangat tinggi dan pada saat proses pembuatannya mempunyai dampak lain baik positif maupun negatif terhadap lingkungan sekitar. Salah satu alternatif pemilihan sumber tenaga listrik yang mempunyai biaya operasional yang relatif murah dan pada saat ini sedang dikembangkan adalah sumber tenaga listrik yang mempergunakan energi surya dengan alasan teknis yaitu tidak berdampak negatif terhadap lingkungan sekitar, di samping sumber energi utama sebagai bahan yang diproses tidak memerlukan biaya (gratis), meskipun investasi awal yang diperlukan cukup tinggi. Dengan demikian sel surya adalah salah satu upaya alternatif yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit energi listrik yang menggunakan cahaya matahari sebagai bahan dasar utama.

Pada percobaan ini anda akan menyelidiki prinsip kerja dari sel surya dan mengukur karakteristik sel surya tersebut.

#### **Peralatan**

Utama : Modul Solar Cell PTE-029-01  
Volt meter PTE-029-08  
Ampere meter PTE-02907  
Pendukung : Kain / Benda Penutup

#### **Langkah Kerja**

1. Siapkan peralatan yang diperlukan
2. Rangkaian peralatan seperti Gambar 1.

Gambar 1



3. Hadapkan sel surya tegak lurus terhadap sinar matahari
4. Tutup permukaan modul sel surya dengan selembar kain hitam sehingga menutupi seluruh permukaan modul, amati dan catat tegangan modul pada Tabel 1.1.
5. Buka kain penutup modul dengan keadaan sinar matahari terik amati dan catat tegangan keluaran modul pada Tabel 1.1.

6. Sekarang halangi modul sel surya dengan menggunakan kain hitam dengan jarak 30 cm ke permukaan modul (lihat Gambar 1.2). Amati dan catat tegangan keluaran modul Tabel 1.1.
7. Ulangi langkah 6 tetapi ubah jaraknya menjadi 60 cm. Amati dan catat keluaran tegangan modul pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1.

Keadaan Sel Surya	Tegangan keluaran (Volt)
Tertutup kain	
Tanpa penutup	
Tertutup kain dengan jarak 30 cm	
Tertutup kain dengan jarak 60 cm	

Lepaskan kain penutup, sehingga cahaya matahari mengenai permukaan modul secara penuh.

#### Evaluasi

1. Apa yang dapat disimpulkan dari percobaan di atas ?
2. Jelaskan fungsi sel surya?
3. Hitung daya maksimum sel surya?

### Charge Control Unit

#### Tujuan

Setelah menjelaskan percobaan ini diharapkan anda akan dapat :

1. Menjelaskan prinsip kerja *Charge Control Unit*.
2. Mengukur karakteristik *Charge Control Unit*.

#### Pendahuluan

Besarnya sinar surya yang masuk ke dalam rangkaian *Solar Cell Unit* sangatlah mempengaruhi besar tegangan dan arus yang keluar pada terminal keluaran sel surya. *Charge Control Unit* berfungsi sebagai pembatas besarnya tegangan dan arus yang keluar



4. Tutup permukaan modul dengan kain hitam.
5. Amati dan catat kondisi LED, tegangan keluaran solar modul dan *charger control unit* pada Tabel 2.1.
6. Buka kain penutup perlahan-lahan sehingga seperdelapan permukaan modul sel surya terkena sinar matahari. Amati dan catat kondisi LED, tegangan keluaran sel surya dan *charger control unit* pada Tabel 2.1.
7. Ulangi langkah 5 untuk semua kondisi permukaan sel surya yang terkena sinar matahari mengikuti Tabel 2.1. Amati dan catat kondisi LED, tegangan keluaran sel surya dan *charger control unit* pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1.

Permukaan Sel Surya	Tegangan Keluaran Sel surya (Volt)	Tegangan keluaran Charger Control Unit (Volt)	Kondisi LED
Tertutup penuh			
Tersinari 1/8			
Tersinari 2/8			
Tersinari 3/8			
Tersinari 4/8			
Tersinari 5/8			
Tersinari 6/8			
Tersinari 7/8			
Tersinari penuh			

#### Evaluasi

1. Apakah fungsi utama dari *charger control unit* berdasarkan pengamatan anda ?
2. Berapa volt tegangan minimum yang keluar dari *charger control unit* berdasarkan pengamatan anda?  $V_{\min} = \dots\dots\dots V_{DC}$ .
3. Berapa volt tegangan minimum yang keluar dari *charger control unit* berdasarkan pengamatan anda?  $V_{\max} = \dots\dots\dots V_{DC}$ .

4. Jelaskan fungsi kerja dari modul *charger control* unit berdasarkan pengamatan anda?  
Terangkan

## BATTERY

### Tujuan

Setelah menjelaskan percobaan ini diharapkan anda akan dapat :

1. Menjelaskan prinsip kerja *battery*/baterai
2. Mengukur karakteristik *battery*

### Pendahuluan

Salah satu jenis sumber tenaga listrik DC yang dapat diisi kembali (rechargable) dan dikenal oleh masyarakat banyak adalah baterai accumulator kering. Baterai ini dapat diisi dengan besaran tegangan yang tetap dan besaran arus yang mengacu kepada waktu.

Contoh : kapasitas suatu baterai dituliskan 12 Volt, 500 mAH yang berarti bahwa kemampuan baterai tersebut adalah 12 Volt dengan arus sebesar 500 miliampere/jam. Sehingga arus yang terpakai sebesar 500 mA tersebut hanya dapat digunakan selama 1 Jam saja, di mana selebihnya spesifikasi tersebut di atas sudah tidak benar lagi. Demikian juga pada saat pengisian juga tergantung kepada lamanya waktu. Pada percobaan ini anda akan menyelidiki lamanya waktu pengisian hingga accu tersebut optimal sesuai dengan spesifikasi yang tertera.

### Peralatan

Utama : Modul *Solar Cell PTE—029-02*  
Modul *Charger Control Unit PTE-029-02*  
Modul *Battery PTE-029-08*

Pendukung : Multimeter  
Kain penutup

### Langkah Kerja

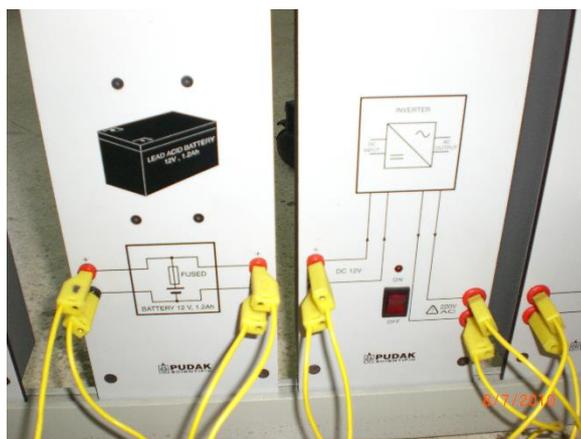
1. Baca spesifikasi baterai dan catat pada Tabel 3.1.

### Spesifikasi Baterai

Tegangan (Volt)	
Kapasitas Arus (Ah)	

- Hubungkan baterai dengan lampu DC hingga lampu meredup
- Rangkai peralatan seperti Gambar 3

Gambar 3



- Sinar modul sel surya dengan sinar matahari yang kuat.

Waktu	Tegangan Baterai (Volt)	Tegangan Sel Surya (Volt)
0 menit		
5 menit		
10 menit		
15 menit		
20 menit		
25 menit		
30 menit		

- Amati dan catat tegangan baterai dan sel surya setiap 5 menit pada Tabel 3.2 di atas hingga baterai penuh.

**Evaluasi**

1. Apakah fungsi utama dari baterai berdasarkan pengamatan anda?
2. Berapa tegangan minimum baterai ?  $V_{\min} = \dots\dots\dots V_{DC}$ .
3. Berapa volt tegangan minimum yang keluar dari baterai berdasarkan pengamatan anda?  $V_{\max} = \dots\dots\dots V_{DC}$ .
4. Bandingkan tegangan baterai hasil pengukuran dengan tegangan pada spesifikasi baterai! Berbedakah ? Jelaskan !
3. Jelaskan fungsi kerja dari modul *charger control* unit berdasarkan pengamatan anda? Terangkan

## INVERTER

### Tujuan

Setelah melaksanakan percobaan ini diharapkan anda akan dapat:

1. Menjelaskan prinsip kerja *Inverter*.
2. Mengukur karakteristik *Inverter*.

### Pendahuluan

Salah satu cara untuk membangkitkan sumber tenaga listrik AC adalah dengan menggunakan sumber tenaga listrik DC yang berasal dari *battery* dan dikenal dengan nama *Inverter*. *Inverter* yang ada dihadapkan anda adalah *inverter* yang dibangkitkan dengan tegangan input DC 12 V dan akan menghasilkan tegangan output AC sebesar 220 V<sub>AC</sub>, hal mana sama dengan tegangan yang dipakai untuk keperluan rumah tangga secara umum. Adapun kapasitas maksimum dari *inverter* ini adalah 150 Watt. Kemampuan maksimum ini akan menjadi berkurang apabila tegangan sumber DC juga berkurang.

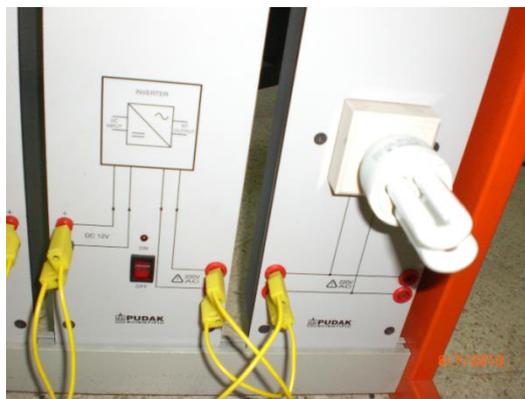
### Peralatan

Utama	:	Modul <i>Solar Cell</i> —029-01 Modul <i>Charger Control Unit</i> PTE-029-02 Modul <i>Battery</i> PTE-029-03 Modul <i>Inverter</i> PTE-029-04
Pendukung	:	Multimeter Kain penutup

### Langkah Kerja

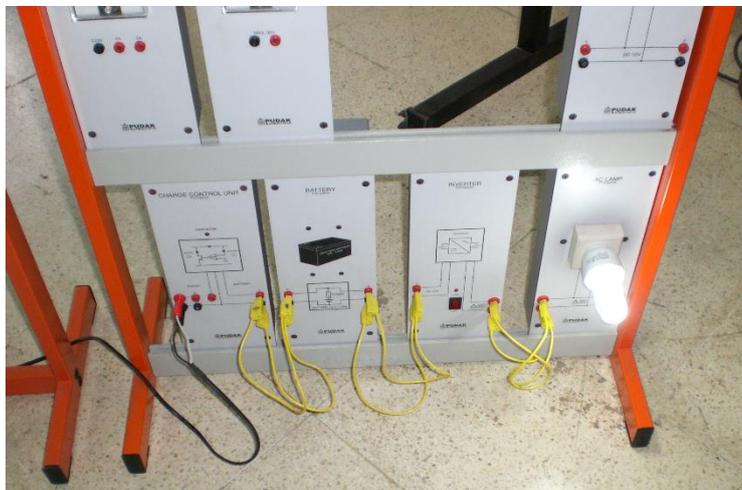
1. Siapkan peralatan yang diperlukan!
2. Rangkai peralatan seperti Gambar 4

Gambar 4



3. Siapkan *multimeter* untuk pengukuran tegangan AC
4. Sinari modul sel surya dengan sinar matahari yang kuat.
5. Nyalakan *inverter*, amati dan catat pada Tabel 4.1 tegangan pada keluaran baterai dan *inverter*
6. Matikan *inverter*, kemudian pasang lampu AC pada terminal keluaran *inverter*, seperti Gambar 5

Gambar 5



7. Nyalakan *inverter*, amati dan catat pada Tabel 4.2 tegangan keluaran baterai dan tegangan keluaran *inverter*.
8. Lepaskan kabel penghubung sel surya dengan *Charge Control Unit*.

Tabel 4.1

No.	Titik Pengukuran	Tanpa Lampu	Dengan Lampu
1	Keluaran baterai		
2	Keluaran <i>Inverter</i>		

9. Tunggu hingga buzzer pada *inverter* berbunyi.
10. Saat buzzer berbunyi, segera amati dan catat tegangan baterai pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2.

Kondisi Buzzer	Tegangan Baterai (volt)
Bunyi	

### Evaluasi

1. Apakah fungsi utama dari *inverter* berdasarkan pengamatan anda?

2. Berapa tegangan minimum baterai agar *inverter* dapat bekerja?
3. Berapa volt tegangan maksimum yang keluar dari baterai dan *inverter* berdasarkan pengamatan anda?
4. Jelaskan pengaruh investasi cahaya matahari terhadap tegangan kuluaran *inverter*.

### Aplikasi Sistem

#### Tujuan

Setelah melaksanakan percobaan ini diharapkan anda akan dapat:

1. Menganalisa sistem pembangkitan listrik tenaga surya.
2. Memasang instalasi pembangkitan listrik sistem tenaga surya.

#### Pendahuluan

Pada bahasan ini anda akan melaksanakan percobaan dalam penggunaan sistem Instalasi pembangkitan listrik dengan menggunakan tenaga surya hingga memperoleh tegangan DC dan AC dan bagaimana menerapkan tegangan DC dan AC tersebut pada beban yang akan dipasang.

#### Peralatan

Utama : Modul *Solar Cell*—029-01  
Modul *Charger Control Unit* PTE-029-02  
Modul Battery PTE-029-03  
Modul Inverter PTE-029-04  
Modul DC Lamp PTE-029-05  
Modul AC Lamp PTE-029-06  
Modul Amperemeter PTE-029-07  
Modul Voltmeter PTE-029-08  
Lampu DC 25W  
Lampu AC 10W

Pendukung : Multimeter

## Lampu AC 40W

### Langkah Kerja

1. Siapkan peralatan yang diperlukan!
2. Rangkai peralatan seperti Gambar 6

Gambar 6



3. Jelaskan peralatan hingga baterai terisi penuh (LED indikator pada *charge control unit* menyala)
4. Selama menunggu baterai terisi penuh, hitung daya maksimum baterai.
5. Setelah baterai terisi penuh, pasang lampu DC pada keluaran baterai seperti Gambar 6
6. Amati dan catat tegangan dan arus lampu pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1.

Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)

7. Lepaskan kabel penghubung yang menghubungkan baterai dengan ampere meter.
8. Isi kembali baterai hingga penuh.
9. Setelah baterai terisi penuh, rangkai peralatan seperti pada Gambar 7.

Gambar 7.



10. Nyalakan *Inverter*.
11. Amati dan catat arus dan tegangan lampu AC dan arus baterai pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2

<b>Beb an</b>	<b>Arus Baterai (Ampere)</b>	<b>Arus Lampu AC (Ampere)</b>	<b>Tegangan Lampu AC (Volt)</b>
1			
2			

12. Matikan *Inverter*
13. Ganti lampu AC dengan daya yang besar
14. Nyalakan *Inverter*
15. Amati dan catat arus dan tegangan lampu AC dan arus baterai pada Tabel 5.2.
16. Matikan *Inverter*.

### **Evaluasi**

1. Berapa lama lampu DC akan menyala jika kita menggunakan baterai dengan kapasitas yang sama dengan kapasitas baterai yang kita gunakan pada percobaan ini?
2. Berapa lama lampu AC akan menyala jika kita menggunakan baterai dengan kapasitas yang sama dengan kapasitas baterai yang kita gunakan pada percobaan ini?
3. Jika kita memiliki lampu 12V, 15 Watt dan ingin menyelakan lampu selama 6 jam, baterai dengan kapasitas berapa yang kita butuhkan?  
Jika baterai 12V, 1.2Ah yang kita gunakan, berapa banyak baterai yang diperlukan?

3. Kerjakan tes formatif dan jika benar semua lanjutkan kegiatan belajar berikutnya.

### **E. Rangkuman**

Solar Power meter adalah inovasi dalam industri test & measurement sebagai alat ukur untuk tenaga matahari ini atau perangkat solar cell.

Keuntungan utama yang menarik dari sistem Energi Tenaga Surya Fotovoltaik (SESF) ini adalah:

1. Sistem bersifat modular.
2. Pemasangannya mudah.
3. Kemungkinan desentralisasi dari sistem.
4. Tidak diperlukan transportasi dari bahan bakar.
5. Tidak menimbulkan polusi dan kebisingan suara.
6. Sistem memerlukan pemeliharaan yang kecil.
7. Kesederhanaan dari sistem, sehingga tidak perlu pelatihan khusus bagi pemakai/pengelola.
8. Biaya operasi yang rendah.

Jenis-jenis Sel Surya

1. Generasi pertama Kristal (Single Crystal)
2. Generasi Kedua Kristal (Polikristal)
3. Generasi Ketiga, EFG *the Edge Defined Film Growth Ribbon*
4. Generasi ke Empat (Thin Film)

*Hotspot* atau efek *hotspot* adalah suatu akibat dari pembuangan energi karena suatu kondisi dimana salah satu sel didalam suatu modul fotovoltaik diteduhi oleh suatu benda sehingga tidak mendapatkan pencahayaan matahari.

BCR merupakan suatu Kontrol Panel yang didalamnya terdapat pusat pengkabelan (*wiring*) sistem, BCR itu sendiri yang kemungkinan juga diperlengkapi dengan '*hardware*' untuk manajemen energi, inverter dan beberapa fungsi lain seperti proteksi sistem, indikator dan kadang-kadang pencatatan data (*recording*) system.

Baterai lead-acid memanfaatkan kombinasi dari pelat timah (lead) dan elektrolit asam sulfat encer (acid) untuk mengubah energi listrik menjadi energi potensial kimia dan mengubahnya kembali menjadi energi listrik.

## F. Tes Formatif

1. Besarnya sudut yang dialami bumi terhadap sumbu vertikalnya disebut ....
  - a. Deklinasi
  - b. Inklinasi
  - c. Langley
  - d. Defined
  
2. Keuntungan utama yang menarik dari sistem Energi Tenaga Surya Fotovoltaik (SESF) dibawah ini, kecuali ....
  - a. Tidak sulit dalam pemasangan
  - b. Tidak diperlukan transportasi dari bahan bakar
  - c. Tidak menimbulkan polusi dan kebisingan suara

- d. Tidak memerlukan pemeliharaan
3. Jenis sel solar dibuat dengan proses menumbuhkan kristal pita langsung dari cairan silikon menggunakan pita kapiler adalah ....
- a. Single Crystal
  - b. Polikristal
  - c. EFG *the Edge Defined Film Growth Ribbon*
  - d. Thin Film
4. Pengeluaran (pelepasan) arus listrik dari baterai secara berlebihan sehingga baterai menjadi kosong sama sekali (habis ampernya) disebut ....
- a. Underdischarge
  - b. Overdischarge
  - c. Undercharge
  - d. Overcharger
5. Komponen individu terkecil dari sebuah baterai yang terdiri dari kontener dimana di dalamnya terdapat pelat timah dan tempat elektrolit bereaksi adalah ....
- a. Sel baterai
  - b. Garam sulfat
  - c. Elektroda
  - d. Ion sulfat

## **G. Kunci Jawaban**

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

## KEGIATAN PEMBELAJARAN 4 : KONVERSI ENERGI ANGIN

### A. Tujuan

Setelah mengikuti kegiatan pembelajaran ini, peserta diklat dapat menjelaskan tentang: sejarah perkembangan pemanfaatan energi angin dalam kehidupan sehari-hari, energi kinetik dan daya energi angin, prinsip konversi energi angin menjadi energi mekanik, dan karakteristik bilah turbin.

### B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Setelah mengikuti kegiatan pembelajaran ini, peserta diklat mampu menyelidiki konversi energi angin menjadi energi mekanik dan listrik.

### C. Uraian Materi

#### 1. Sejarah Pemanfaatan Energi Angin

Usaha manusia untuk memanfaatkan angin sebagai sumber energi telah dilakukan sejak zaman purbakala, ketika angin digunakan untuk mendorong kapal atau perahu. Pada tahap selanjutnya energi angin dimanfaatkan manusia sebagai sumber tenaga untuk menggiling butir gandum atau padi dan untuk memompa air. Di china, kincir angin mengkonversikan tenaga putar baling-baling ke tenaga mekanik yang kemudian digunakan untuk mengungkit pompa air sederhana yang sudah lazim digunakan oleh para petani untuk keperluan irigasi. Bangsa afghanistan kuno telah memanfaatkan kincir angin untuk menggiling biji-bijian. Di babylonia, kaisar babylonia hammurabi, merencanakan pemakaian energi angin untuk pembangunan irigasi selama abad ke-17 sebelum masehi (SM).

Di india, pada *arthasastra* yaitu sebuah karya klasik yang ditulis oleh kaumatiliya pada abad ke-4 sebelum masehi, pada referensi dituliskan mengangkat air dengan alat yang digerakkan angin. Meskipun demikian, tidak ada data yang menjamin bahwa konsep awal ini diwujudkan menjadi suatu alat yang rill.

Penduduk persia menggunakan *windmills* untuk menggiling butir gandum atau padi sejak 200 sebelum masehi. Saat itu mesin sumbu vertikal memiliki layar/sudu

dari bahan sejenis bulu atau kayu. Penggiling batu disambungkan ke poros vertikal. Layar/sudu dilekatkan ke poros pusat menggunakan penopang horizontal. Ukuran layar/sudu biasanya dengan panjang 5 m dengan tinggi 9 m. Pada abad ke-13, *grindingmills* biji gandum telah dikenal di sebagian besar wilayah eropa. Prancis mengangkat teknologi ini pada tahun 1105 dan Inggris pada tahun 1191. Sangat berbeda dengan desain sumbu vertikal persia, *mills* (penggiling) eropa memiliki sumbu horizontal.

Gambar 4. 1 | *Windmills* kuno di Inggris  
(Sumber: Mathew Sathyajith)



*Mills* ini dibangun dengan struktur baik. Menara berbentuk bulat atau *polygonal* dan dibangun dari kayu atau batu. Rotor secara manual dihadapkan ke arah angin dengan bantuan ekor. *Mills* dijaga saat menghadang angin kencang dengan memindahkan kanvas pelindung rotor.

Desainer belanda, Jan Adrienzoorn, perintis dalam pembuatan *mills* ini. Mereka membuat banyak perbaikan desain dan menemukan beberapa bentuk *mills*. Contohnya adalah *Tjasker* dan *Smock mills*. Rotor dibuat dari profil *airfoil* sederhana untuk memperbaiki efisiensi. *Windmills* ini mencapai Amerika pada pertengahan tahun 1700 melalui warga keturunan belanda. Di amerika *windmills* ini dikembangkan menjadi pemompa air, yang dianggap sebagai salah satu

penerapan energi angin yang paling sukses, sehingga disebut turbin angin amerika yang muncul pada pada pertengahan tahun 1800.

Gambar 4. 2 | *Thatched dutch windmills*  
(Sumber: Vaughn Nelson)



Gambar 4.2. menunjukkan bahwa *windmills* di atas memiliki rotor yang relatif kecil dengan diameter berkisar satu meter hingga beberapa meter. Tujuan utama yaitu memompa air setinggi beberapa meter di bawah permukaan lahan pertanian. Pemompa air ini, dengan sudu yang terbuat dari bahan logam dan desain teknik yang lebih baik sehingga meningkatkan produktifitas pertanian.

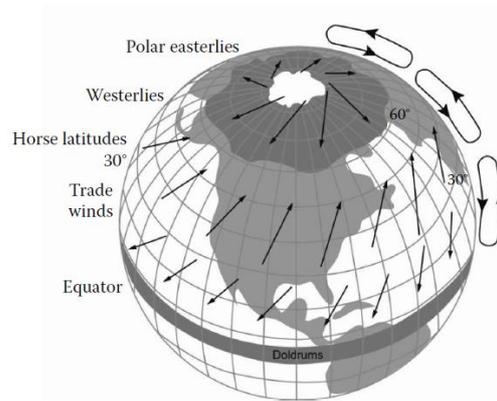
Era pembangkitan energi listrik dari energi angin diawali pada akhir tahun 1900-an. Turbin angin modern pertama kali yang khusus didesain untuk pembangkit energi listrik didesain dan dibangun di Denmark pada tahun 1890. Turbin menyuplai energi listrik ke daerah pedesaan. Dalam periode yang sama, turbin angin yang besar yang digunakan sebagai pembangkit energi listrik yang memiliki rotor 17 m dibangun di cleveland, ohio. Pada turbin angin ini, untuk pertama kalinya didesain gearbox untuk menaikkan putaran. Sistem ini beroperasi selama 20 tahun, menghasilkan energi listrik dengan daya 12 kW.

## 2. Energi Kinetik dan Daya Energi Angin

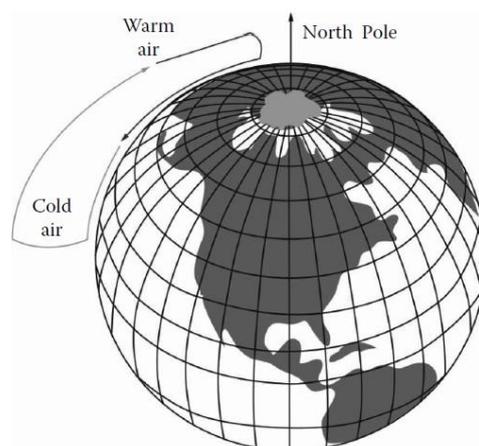
### a. Sirkulasi global

Ada dua faktor utama sirkulasi global yaitu radiasi matahari dan rotasi bumi. Variasi musim disebabkan oleh kemiringan sumbu bumi pada bidang pergerakan bumi mengelilingi matahari. Besarnya radiasi matahari lebih besar per satuan luas ketika sinar matahari menyinari langsung yang bergerak dari khatulistiwa sampai kutub. Oleh sebab bumi berotasi pada sumbunya, maka angin akan bergeser ke arah *longitudinal*.

Gambar 4.3 | Sirkulasi atmosfer di bumi  
(Sumber: Vaughn Nelson)

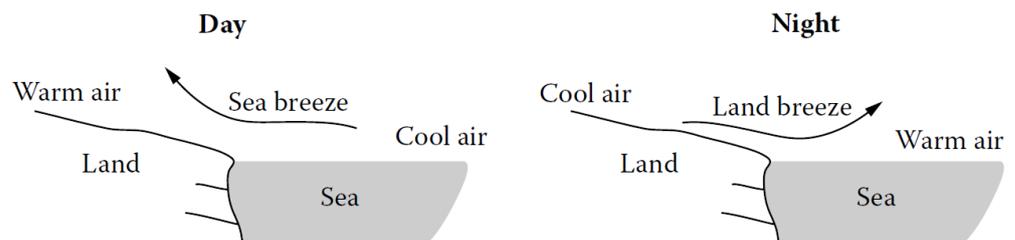


Gambar 4.4 | Sirkulasi atmosfer pada belahan bumi bagian utara  
(Sumber: Vaughn Nelson)



Angin lokal disebabkan perbedaan tekanan sekitar dan juga dipengaruhi oleh topografi dan gesekan permukaan yang disebabkan gunung, lembah dan lain-lain. Variasi harian disebabkan perbedaan temperatur antara siang dan malam. Perbedaan temperatur daratan dan lautan juga mengakibatkan angin semilir.

Gambar 4. 5| Angin laut saat siang dan angin darat pada malam hari  
(Sumber: Vaughn Nelson)



#### b. Potensi angin

Perpindahan molekul udara memiliki energi kinetik, sehingga secara lokal jumlah molekul udara berpindah melalui luasan selama selang waktu tertentu dan menentukan besarnya daya. Luasan ini adalah tidak luas permukaan bumi, tetapi luasan yang tegak lurus terhadap aliran udara, yang merupakan penentu untuk memperkirakan seberapa besar daya dan energi yang dapat diekstrak. Massa  $m$ , dalam volume silinder yang akan melalui luasan  $A$ , dalam waktu  $t$ , dapat ditentukan dari kerapatan udara  $\rho$ , dan volume silinder  $V_0$ . Daya merupakan energi kinetik ( $E_k$ ) angin dibagi waktu:

$$P_o = \frac{E_k}{t} = \frac{1/2 \cdot m \cdot u_0^2}{t} \quad (1.1)$$

$$V_0 = A \cdot L \quad (1.2)$$

$$m = \rho \cdot V_0 = \rho \cdot A \cdot L \quad (1.3)$$

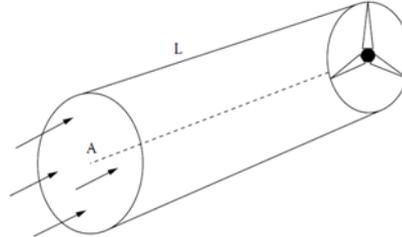
Substitusi nilai massa  $m$  ke persamaan 1.1. Kecepatan angin,  $U_0 = L/t$ , melalui luasan  $A$  selama waktu  $t$ , sehingga persamaan daya diperoleh:

$$P_o = \frac{E_k}{t} = \frac{1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot L \cdot u_0^2}{t} = 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot \left(\frac{L}{t}\right) \cdot u_0^2 = 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot u_0^3 \quad (1.4)$$

Daya per luas, sebagai potensi daya angin atau kerapatan daya angin (*wind power density*), yaitu:

Gambar 4. 6 | Aliran angin melalui silinder dengan luas A

$$\frac{Po}{A} = 1/2 \cdot \rho \cdot u_0^3 \quad (1.5)$$



(Sumber: Vaughn Nelson)

Dari persamaan 1.5, daya angin per satuan luas dapat diperkirakan untuk kecepatan angin yang berbeda, seperti pada tabel 1.1. Tidak semua daya angin dapat diekstrak dan efisiensi maksimum secara teoritis untuk turbin angin adalah 59,25%.

Tabel 4. 1 | Perkiraan daya angin persatuan luas

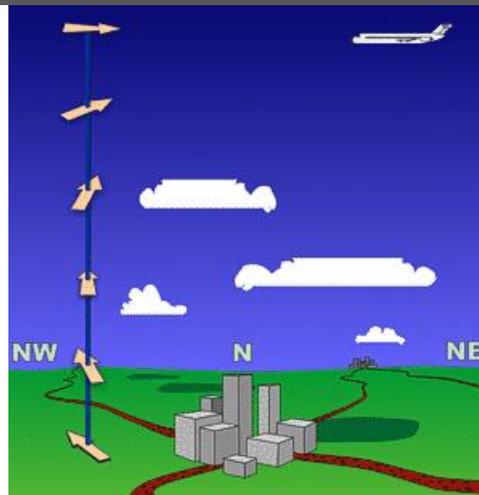
Wind Speed (m/s)	Power (kW/m <sup>2</sup> )
0	0
5	0,06
10	0,50
15	1,68
20	4,00
25	7,81
30	13,50

(Sumber :Vaughn Nelson)

**c. Wind shear**

*Wind shear* adalah perubahan arah atau kecepatan angin saat melalui jarak tertentu. *Wind shear* dapat terjadi secara horisontal maupun secara vertikal. *Horizontal wind shear* merupakan faktor utama dalam memperkirakan produksi energi melalui turbin angin.

Gambar 4.7 | *Wind shear*



(Sumber: *National Weather Service*)

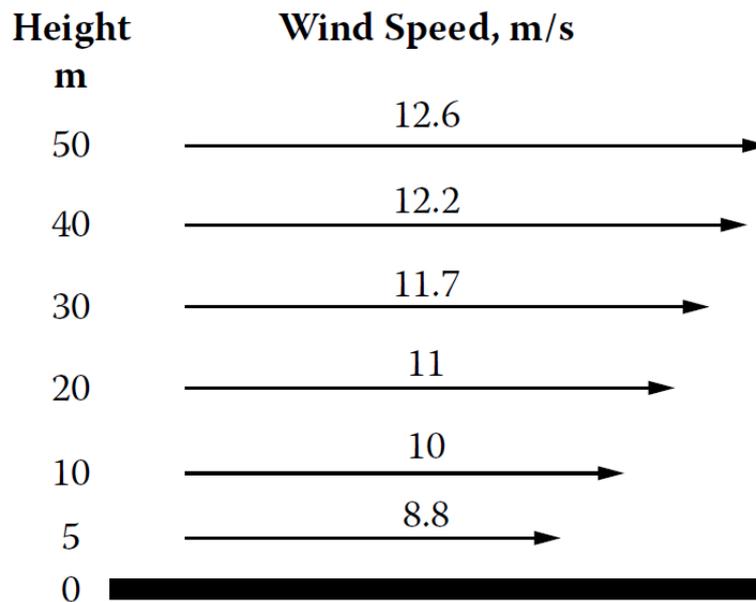
Metode umum yang memperkirakan kecepatan angin untuk ketinggian yang lebih tinggi dengan mengetahui kecepatan angin pada ketinggian yang lebih rendah disebut *power law*. *Power law* untuk *wind shear* adalah:

$$u = u_o \left( \frac{H}{H_o} \right)^\alpha \quad (1.6)$$

Dimana  $u_o$  = kecepatan angin yang telah diukur pada ketinggian tertentu,  $H_o$  = ketinggian pada kecepatan angin  $u_o$ , dan  $H$  = ketinggian.

Eksponen *wind shear*  $\alpha$ , berkisar  $1/7$  (0,14) untuk atmosfer dalam kondisi stabil. Bagaimanapun nilai  $\alpha$  berubah-ubah tergantung pada daerah dan kondisi atmosfer. Dari persamaan (1.5) perubahan kecepatan angin terhadap ketinggian dapat diperkirakan seperti pada gambar 1.8, dengan catatan nilai  $\alpha = 0,14$ . Acuan 10 meter merupakan standar ketinggian dunia untuk pengukuran kondisi cuaca, sehingga menggunakan data ketinggian 10 m dan eksponen *wind shear* 0,14 untuk memperkirakan potensi daya angin untuk sampai pada ketinggian 50 meter untuk beberapa daerah lokasi yang diperkirakan daerah tersebut ladang angin (*wind farm*).

Gambar 4. 8 | Perubahan kecepatan angin terhadap ketinggian  
(Sumber: Vaughn Nelson)



### 3. Prinsip Konversi Energi Angin

Energi angin dilihat dari energi kecepatan aliran angin, dapat dituliskan dalam bentuk persamaan energi kinetik ( $Ek$ ) :

$$Ek = \frac{1}{2} m \cdot u_0^2 \quad (1.7)$$

dimana :  $m$  = massa angin yang mengalir (kg)

$u_0$  = kecepatan angin (m/s)

Energi kinetik angin inilah yang diekstrak sudu turbin angin untuk diubah menjadi energi mekanis.

**Contoh Soal 1:** Suatu angin yang bertiup dari lautan menuju daratan mempunyai massa 0,25 kg dengan kecepatan 7 m/s. Berapa energi kinetik dari aliran angin tersebut?

**Jawab:** Diketahui  $m = 0,25\text{kg}$ ,  $u_0 = 7 \text{ m/s}$

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

$$Ek = \frac{1}{2} (0,25) \cdot (7)^2$$

$$= 6,125 \text{ kg m}^2/\text{s}^2 \text{ (J)}$$

Dilihat dari pemodelan betz pada gambar 1.9, kecepatan angin  $u_0$ , dan kerapatan  $\rho$  dengan luas sapuan rotor turbin  $A_1$ , daya angin yang dapat diekstrak turbin angin adalah:

$$P_T = \frac{1}{2} C_p \cdot \rho \cdot A_1 \cdot u_0^3 \quad (1.8)$$

Dimana  $C_p$  adalah faktor efisiensi disebut juga koefisien daya. Catatan bahwa daya  $P_T$  adalah sebanding dengan luas penampang  $A$  dan kecepatan angin  $u_0$  pangkat tiga. Dengan demikian, dengan menggandakan luas penampang  $A$  menghasilkan daya dua kali, dan menggandakan kecepatan angin menghasilkan potensial daya delapan kali. Koefisien daya  $C_p$  juga berubah dengan perubahan kecepatan angin. Distribusi kecepatan angin tidak merata, pada suatu saat lebih besar dari kecepatan angin rata – rata, di waktu lain lebih kecil dari kecepatan angin rata – rata. Oleh karena itu, desain rotor dan generator yang optimal tergantung pada daya yang dibutuhkan dan memaksimalkan energi yang dibangkitkan per tahun.

**Contoh Soal 2:** Sebuah turbin angin mempunyai koefisien daya 35% berputar oleh angin dengan dengan kecepatan 4 m/s dan kerapatan 1 kg/m<sup>3</sup>, jika luas sapuan rotor 1.5 m<sup>2</sup>, tentukan besarnya daya angin yang dapat diekstrak oleh turbin.

**Jawab:** Diketahui  $C_p = 35\%$ ,  $\rho = 1 \text{ kg/m}^3$ ,  $A_1 = 1,5 \text{ m}^2$ ,  $u_0 = 4 \text{ m/s}$

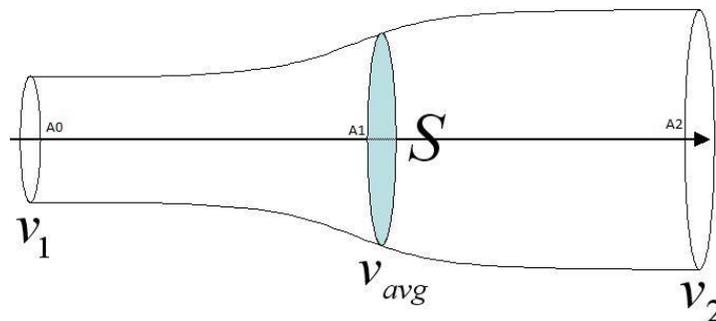
$$\begin{aligned} P_T &= \frac{1}{2} C_p \cdot \rho \cdot A_1 \cdot u_0^3 \\ P_T &= \frac{1}{2} (0,35) \cdot (1) \cdot (1,5) \cdot (4)^3 \\ &= 16,8 \text{ kWs} \end{aligned}$$

Untuk menganalisis seberapa besar energi yang dapat dimanfaatkan turbin angin, digunakan teori memontum elementer betz.

#### a. Teori momentum betz

Teori momentum betz sederhana berdasarkan pemodelan aliran dua dimensi angin yang mengenai rotor yang menjelaskan prinsip konversi energi angin pada turbin angin seperti terlihat pada gambar 1.9. Berkurangnya kecepatan aliran udara disebabkan karena sebagian energi kinetik angin diekstrak oleh rotor turbin angin.

Gambar 4. 9 | Pemodelan *betz* untuk aliran angin



(Sumber: Wikipedia)

Penampang  $A_1$  adalah luas sapuan rotor turbin, luas  $A_0$  dan  $A_2$  luas penampang aliran masuk dan keluar dengan massa angin konstan mengalir melalui  $A_1$ .  $A_0$  diposisikan pada dari arah datangnya angin tanpa dipengaruhi oleh rotor turbin, dan  $A_2$  diposisikan pada kecepatan angin rendah.

Tahap 1 : Untuk menentukan  $u_1$  . Gaya  $F$  yang terjadi pada turbin adalah seiring berkurangnya momentum per-satuan unit waktu dari aliran massa angin  $m$  .

$$F = m \cdot u_0 - m \cdot u_2 \quad (1.9)$$

Gaya yang terjadi dengan asumsi kecepatan aliran angin seragam  $u_1$ . Daya yang diekstrak turbin adalah:

$$P_T = F \cdot u_1 = m(u_0 - u_2)u_1 \quad (1.10)$$

Kehilangan energi aliran persatuan waktu adalah energi yang diekstrak dari angin:

$$P_W = \frac{1}{2}m(u_0^2 - u_2^2) \quad (1.11)$$

Dengan menyamakan persamaan (1.10) dan (1.11):

$$(u_0 - u_2)u_1 = \frac{1}{2}(u_0^2 - u_2^2) = \frac{1}{2}(u_0 - u_2)(u_0 + u_2) \quad (1.12)$$

Sehingga:

$$u_1 = \frac{1}{2}(u_0 + u_2) \quad (1.13)$$

Dengan demikian, sesuai teori momentum linier ini, kecepatan angin melalui *activator disc* tidak bisa lebih rendah setengah dari kecepatan angin masuk.

Tahap 2: Mengetahui  $u_1$ , menghitung daya yang diekstrak dari angin. Massa aliran yang melalui *disc* per-satuan waktu yaitu:

$$m = \rho \cdot A_1 \cdot u_1 \quad (1.14)$$

Substitusi ke persamaan (1.10),

$$P_T = \rho \cdot A_1 \cdot u_1^2 (u_0 - u_2) \quad (1.15)$$

Kemudian substitusi  $u_2$  dari persamaan (1.13)

$$P_T = \rho \cdot A_1 \cdot u_1^2 [u_0 - (2u_1 - u_0)] = 2 \cdot \rho \cdot A_1 \cdot u_1^2 (u_0 - u_1) \quad (1.16)$$

*Interference factor*  $\alpha$  adalah faktor penurunan kecepatan angin pada turbin, sehingga:

$$\alpha = \frac{(u_0 - u_1)}{u_0} \text{ atau } u_1 = (1 - \alpha)u_0 \quad (1.17)$$

Melalui persamaan (1.13),

$$\alpha = \frac{(u_0 - u_2)}{2u_0} \quad (1.18)$$

Dari persamaan (1.17), substitusi  $u_1$  ke persamaan (1.16),

$$P_T = 2 \cdot \rho \cdot A_1 \cdot (1 - \alpha)^2 u_0^2 [u_0 - (1 - \alpha) u_0]$$

$$P_T = [4 \cdot \alpha (1 - \alpha)^2] \left( \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_1 \cdot u_0^3 \right) \quad (1.19)$$

Dengan membandingkan persamaan (1.16) dengan persamaan (1.4),

$$P_T = C_p \cdot P_0 \quad (1.20)$$

dimana  $P_0$  adalah daya angin yang tersedia,  $C_p$  adalah koefisien daya:

$$C_p = 4 \cdot \alpha (1 - \alpha)^2 \quad (1.21)$$

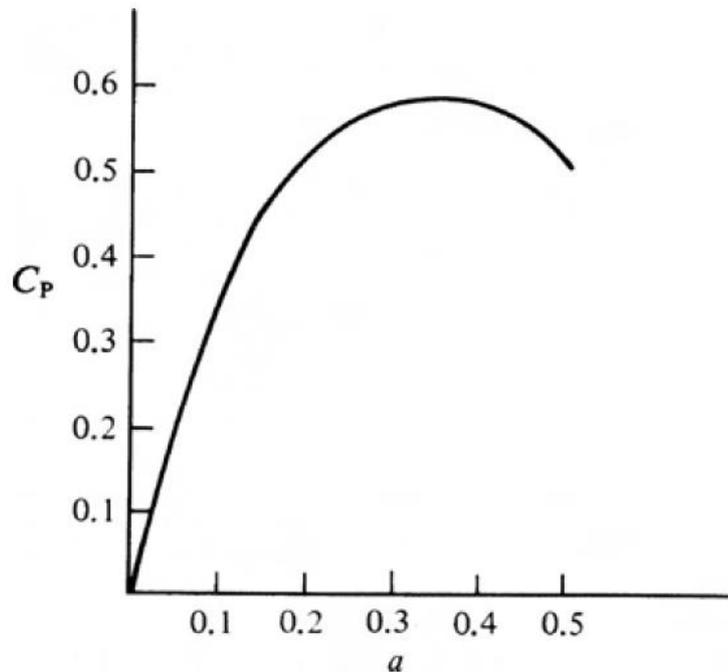
Maksimum nilai  $C_p$  yang terjadi pada model saat nilai  $\alpha = 1/3$ , seperti pada gambar 1.10 :

$$C_{pmax} = 16/27 = 0,5925$$

Dari perkiraan model, saat  $\alpha = 1/3$ , diperoleh  $u_1 = \frac{3u_0}{4}$  dan  $u_2 = \frac{u_0}{2}$ ; saat  $\alpha = 0,5$ ;

$$u_1 = \frac{u_0}{2} \text{ dan } u_2 = 0.$$

Gambar 4. 10| Koefisien daya  $C_p$  sebagai fungsi faktor  $a$



(Sumber: John Twidell dan Tony Weir)

**b. Tip speed ratio**

*Tip speed ratio* merupakan rasio kecepatan ujung rotor turbin terhadap kecepatan angin yang melalui rotor. Rasio kecepatan ujung rotor memiliki nilai nominal yang berubah – ubah terhadap perubahan kecepatan angin. Turbin angin tipe *lift* memiliki *tip speed ratio* yang lebih besar dibanding dengan turbin angin tipe *drag*.

*Tip speed ratio*  $\lambda$  dihitung dengan persamaan:

$$\lambda = \frac{\text{kecepatan ujung rotor}}{\text{kecepatan angin}} \quad (1.22)$$

$$\lambda = \frac{v}{u} = \frac{\omega \cdot r}{u} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot r}{60 \cdot u} \quad (1.23)$$

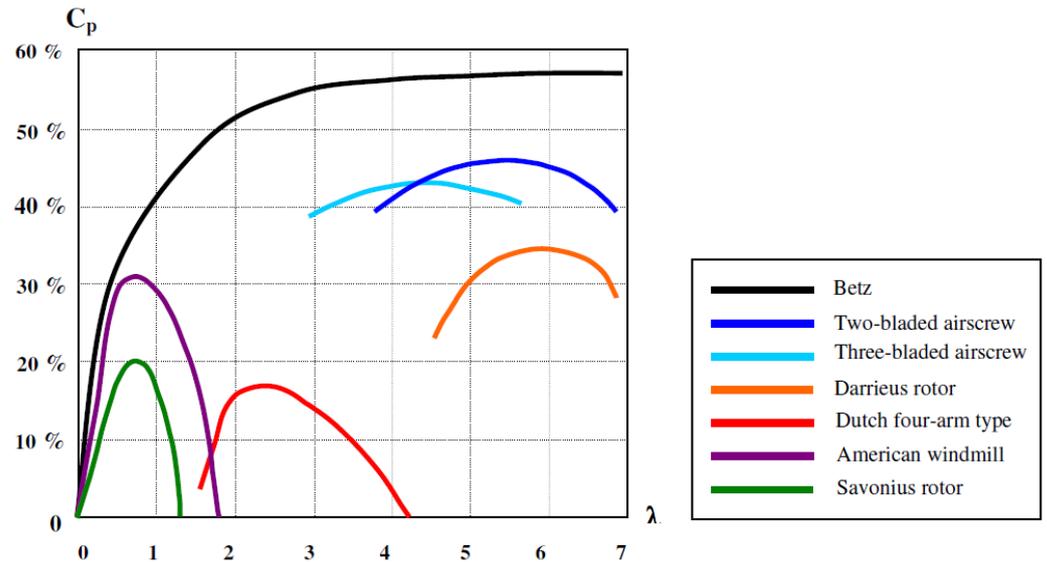
dimana:  $n$  = putaran rotor (1/s)

$r$  = radius rotor (m)

$u$  = kecepatan angin (m/s)

Grafik berikut menunjukkan variasi *tip speed ratio* dan koefisien daya  $C_p$  pada berbagai jenis turbin angin seperti pada gambar 1.11.

Gambar 4. 11 | Variasi *tip speed ratio* dan koefisien daya  $C_p$



(Sumber: Jean Luc Menet dan Nachida Bourabaa)

Pada turbin tipe *drag*, mesin *drag* ideal terdiri dari alat dengan permukaan penghalang digerakkan angin atau *flaps* bergerak paralel terhadap aliran angin merata dengan kecepatan  $u_o$ . Perbedaan tekanan jarak lintas stasioner *flap* dijaga tegak lurus terhadap kecepatan angin. Untuk *flap* dengan luas sapuan  $A$  bergerak dengan kecepatan  $v$ , gaya *drag* penggerak maksimum adalah:

$$F_{max} = \rho \cdot A(u_o - v)^2 / 2 \quad (1.24)$$

Koefisien hambat (*drag*) tak berdimensi  $Cd$  adalah digunakan untuk menggambarkan alat dilihat dari yang ideal, sehingga gaya hambat menjadi:

$$F_D = Cd \cdot \rho \cdot A(u_o - v)^2 / 2 \quad (1.25)$$

Daya yang ditangkap *flap* adalah:

$$P_D = F_D \cdot v = Cd \cdot \rho \cdot A(u_o - v)^2 \cdot \frac{v}{2} \quad (1.26)$$

Daya maksimum pada nilai  $v$  saat  $v = \frac{u_o}{3}$ , sehingga

$$P_{Dmax} = \frac{4}{27} Cd \frac{\rho \cdot A \cdot u_o^3}{2} \quad (1.27)$$

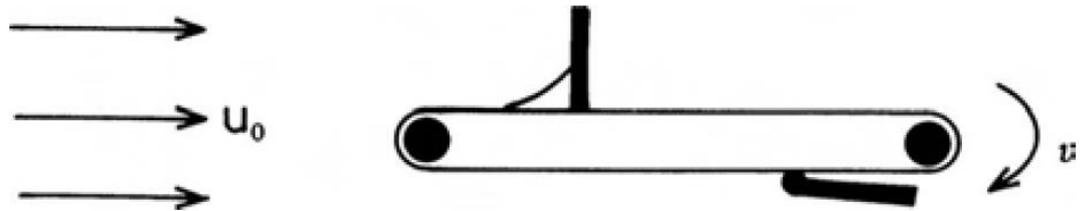
Koefisien daya  $C_p$  didefinisikan dari persamaan (2.18) didapat

$$P_{Dmax} = C_p \cdot \rho \cdot A(u_o)^3 / 2 \quad (1.28)$$

Sehingga

$$C_{pmax} = \frac{4}{27} C_d \quad (1.29)$$

Gambar 4. 12 | Mesin *drag* dengan *hinged flap* pada sabuk berputar



(Sumber: John Twidell dan Tony Weir)

Nilai  $C_d$  dari mendekati nol sampai titik maksimum, maksimum kira – kira 1,5 untuk bentuk cekung yang digunakan pada anemometer standar. Dengan demikian, koefisien daya maksimum untuk *drag machine* adalah:

$$C_{pmax} \approx \frac{4}{27}(1,5) = \frac{6}{27} = 22\% \quad (1.30)$$

Hal ini dibandingkan dengan kriteria betz untuk turbin ideal dengan  $C_p = \frac{16}{27} = 59\%$ .

Ditunjukkan bahwa turbin tipe *lift* memiliki koefisien daya 40% dan lebih, dan hal yang mungkin dicapai berdasarkan pendekatan kriteria betz. Daya ekstraksi dari *drag machine* dapat ditingkatkan dengan penggabungan *flaps* atau dengan memperbaiki konsentrasi aliran angin. Cara memperbaiki *drag machine* sama dengan pada rotor turbin *savonius*.

#### 4. Karakteristik Bilah Turbin

Turbin angin merupakan mesin dengan sudu berputar yang mengkonversikan energi kinetik angin menjadi energi mekanik.

##### a. Jenis-jenis turbin angin

Turbin angin sebagai mesin konversi energi dapat digolongkan berdasarkan prinsip aerodinamik dengan memanfaatkan rotornya. Berdasarkan prinsip aerodinamik, turbin angin dibagi menjadi dua bagian yaitu:

1) Jenis *drag* yaitu prinsip konversi energi yang memanfaatkan selisih koefisien *drag*.

2) Jenis *lift* yaitu prinsip konversi energi yang memanfaatkan gaya *lift*.

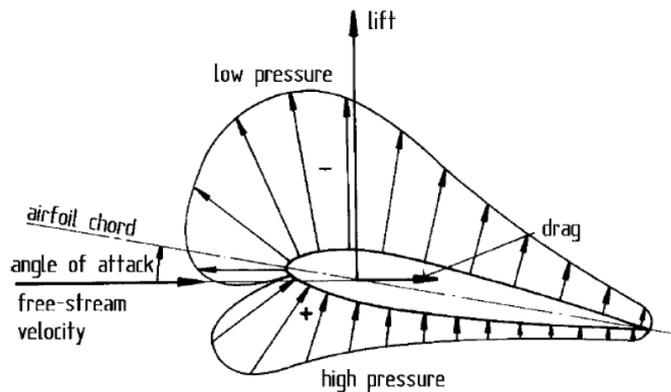
Pengelompokan turbin angin berdasarkan prinsip aerodinamik pada rotor yang dimaksud yaitu apakah rotor turbin angin mengekstrak energi angin dengan memanfaatkan gaya *drag* dari aliran udara yang melalui sudu rotor atau rotor angin mengekstrak energi angin dengan memanfaatkan gaya *lift* yang dihasilkan aliran udara yang melalui profil aerodinamis sudu. Kedua prinsip aerodinamik yang dimanfaatkan turbin angin memiliki perbedaan putaran pada rotornya, dengan prinsip gaya *drag* memiliki putaran rotor relatif rendah dibandingkan turbin angin yang rotornya menggunakan prinsip gaya *lift*.

Jika dilihat dari arah sumbu rotasi rotor, turbin angin dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu:

1) Turbin angin sumbu horizontal (TASH)

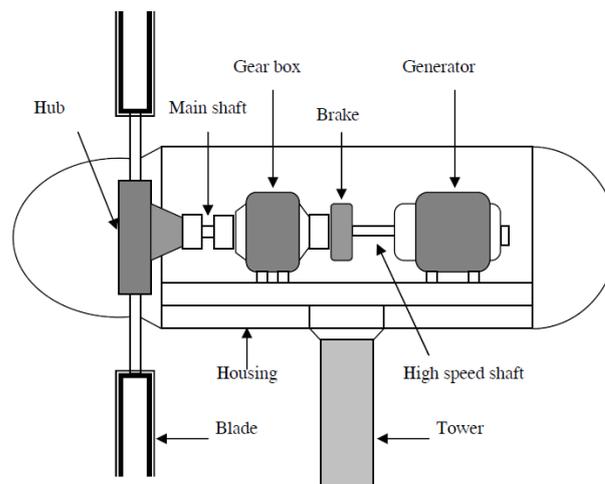
Turbin angin sumbu horizontal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya paralel terhadap permukaan tanah. Turbin angin sumbu horizontal memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara dan diarahkan menuju dari arah datangnya angin untuk dapat memanfaatkan energi angin. Rotor turbin angin kecil diarahkan menuju dari arah datangnya angin dengan pengaturan baling-baling angin sederhana, sedangkan rotor turbin angin besar umumnya menggunakan sensor angin dan motor yang mengubah rotor turbin mengarah pada angin. Berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor turbin angin sumbu horizontal mengalami gaya *lift* dan gaya *drag*, namun gaya *lift* jauh lebih besar dari gaya *drag* sehingga rotor turbin ini lebih dikenal dengan rotor turbin tipe *lift*, seperti terlihat pada gambar 1.13.

Gambar 4. 13 | Gaya aerodinamis rotor turbin angin saat dilalui udara



(Sumber: Eric Hau)

Gambar 4. 14 | Komponen utama turbin angin sumbu horizontal

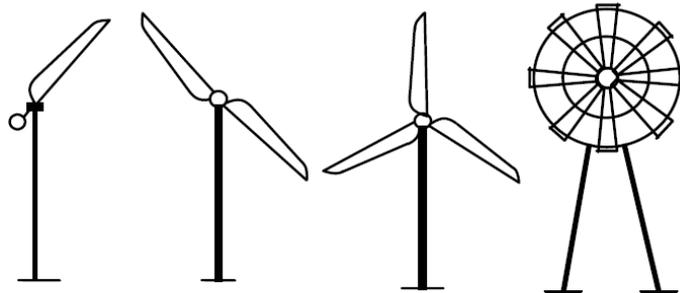


(Sumber: Sathyajith Mathew)

Dilihat dari jumlah sudu, turbin angin sumbu horizontal terbagi menjadi:

- a) Turbin angin satu sudu (*single blade*).
- b) Turbin angin dua sudu (*double blade*).
- c) Turbin angin tiga sudu (*three blade*).
- d) Turbin angin banyak sudu (*multi blade*).

Gambar 4. 15 | Jenis turbin angin berdasarkan jumlah sudu



Single bladed, two bladed, three bladed and multi bladed turbines

(Sumber: Sathyajith Mathew)

Berdasarkan letak rotor terhadap arah angin, turbin angin sumbu horizontal dibedakan menjadi dua macam yaitu:

a) *Upwind*

Turbin angin jenis *upwind* memiliki rotor yang menghadap arah datangnya angin.

b) *Downwind*

Turbin angin jenis *downwind* memiliki rotor yang membelakangi arah angin.

Gambar 4. 16 | Turbin angin jenis *upwind*



(Sumber: rapidshared.com)

Gambar 4. 17 | Turbin angin jenis *downwind*



(Sumber: rapidshared.com)

Rotor pada turbin *upwind* terletak di depan turbin, posisinya mirip dengan pesawat terbang yang didorong baling-baling. Untuk menjaga turbin tetap menghadap arah angin, diperlukan mekanisme *yaw* (pengubah arah angin) seperti ekor turbin. Keuntungannya, naungan menara berkurang. Udara akan mulai berbelok di sekitar menara sebelum berlalu sehingga terjadi kehilangan daya, namun lebih kecil dari turbin tipe *downwind*. Kekurangannya, membutuhkan *nacelle* yang panjang untuk menjaga rotor sejauh mungkin dari menara untuk menghindari terjadinya tabrakan sudu. Sudu dibuat kaku untuk menghindari sudu melentur ke arah menara. Turbin angin *downwind* memiliki rotor di sisi bagian belakang turbin. Bentuk *nacelle* didesain untuk menyesuaikan dengan arah angin, sehingga tidak membutuhkan mekanisme *yaw*. Keunggulannya yaitu sudu rotor dapat lebih fleksibel karena tidak ada bahaya tabrakan dengan menara. Sudu fleksibel memiliki keuntungan, biaya pembuatan sudu lebih murah dan mengurangi

tegangan pada *tower* selama keadaan angin dengan kecepatan tinggi karena melentur memberikan beban angin didistribusikan secara langsung ke sudu daripada ke menara. Sudu yang fleksibel dapat juga sebagai kekurangan dimana kelenturannya menyebabkan keletihan sudu. Di belakang menara merupakan masalah pada mesin *downwind* karena menyebabkan turbulensi aliran dan meningkatkan kelelahan pada turbin.

2) Turbin angin sumbu vertikal (TASV)

Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya tegak lurus terhadap permukaan tanah. Jika dilihat dari efisiensi turbin, turbin angin sumbu horizontal lebih efektif dalam mengekstrak energi angin dibanding dengan turbin angin sumbu vertikal.

Meskipun demikian, turbin angin vertikal memiliki keunggulan, yaitu:

- a) Turbin angin sumbu vertikal tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah, tidak seperti turbin angin horizontal yang memerlukan mekanisme tambahan untuk menyesuaikan rotor turbin dengan arah angin.
- b) Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
- c) Konstruksi turbin sederhana.
- d) Turbin angin sumbu vertikal dapat didirikan dekat dengan permukaan tanah, sehingga memungkinkan menempatkan komponen mekanik dan komponen elektronik yang mendukung beroperasinya turbin.

Jika dilihat dari prinsip aerodinamik rotor yang digunakan, turbin angin sumbu vertikal dibagi menjadi dua bagian yaitu:

a) Turbin angin *darrieus*

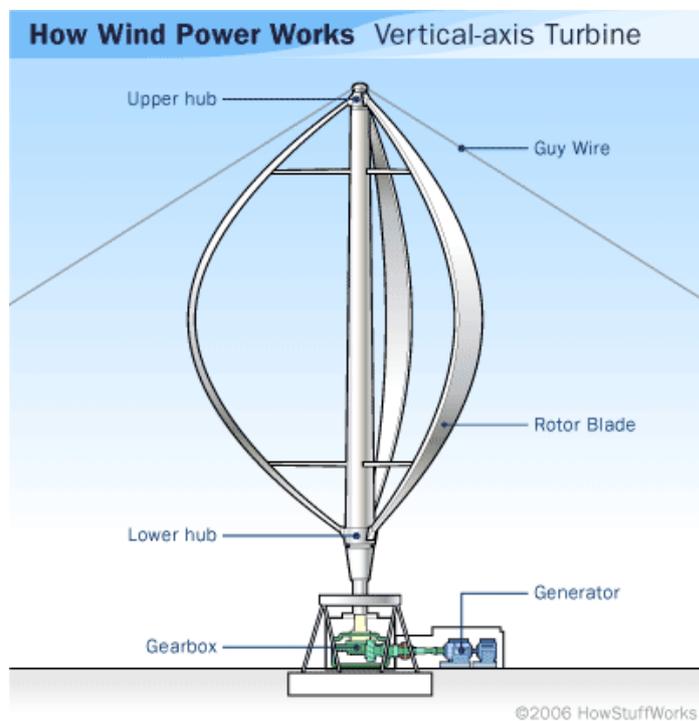
Turbin angin *darrieus* pada umumnya dikenal sebagai turbin *eggbeater*.

Turbin angin *darrieus* pertama kali ditemukan oleh Georges Darrieus pada tahun 1931. Turbin angin *darrieus* merupakan turbin angin yang

menggunakan prinsip aerodinamik dengan memanfaatkan gaya *lift* pada penampang sudu rotornya dalam mengekstrak energi angin.

Turbin *darrieus* memiliki torsi rotor yang rendah tetapi putarannya lebih tinggi dibanding dengan turbin angin *savonius* sehingga lebih diutamakan untuk menghasilkan energi listrik. Namun turbin ini membutuhkan energi awal untuk mulai berputar. Rotor turbin angin *darrieus* pada umumnya memiliki variasi sudu yaitu dua atau tiga sudu. Modifikasi rotor turbin angin *darrieus* disebut dengan turbin angin H.

Gambar 4. 18 | Turbin angin *darrieus*



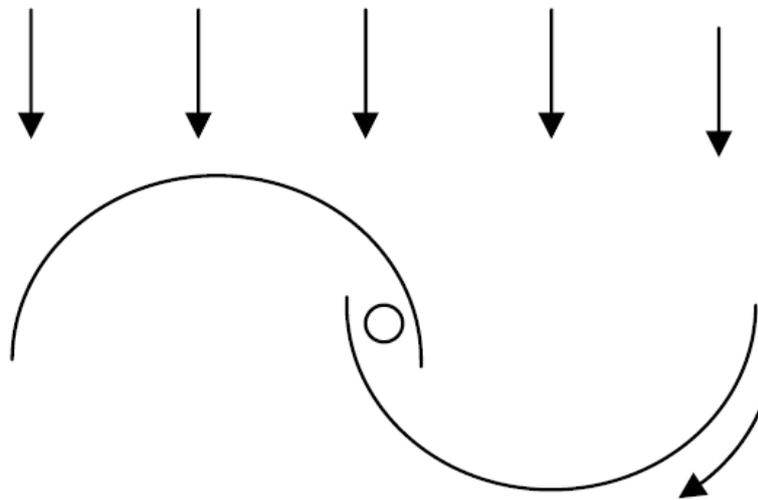
(Sumber: rapidshare.com)



(Sumber: rapidshared.com)

b) Turbin angin *savonius*

Turbin angin *savonius* pertama kali diperkenalkan oleh insinyur finlandia Sigurd J. Savonius pada tahun 1922. Turbin angin sumbu vertikal yang terdiri dari dua sudu berbentuk setengah silinder (atau elips) yang dirangkai sehingga membentuk 'S', satu sisi setengah silinder berbentuk cembung dan sisi lain berbentuk cekung yang dilalui angin seperti pada gambar 1.20. Berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor turbin ini memanfaatkan gaya hambat (*drag*) saat mengekstrak energi angin dari aliran angin yang melalui sudu turbin. Koefisien hambat permukaan cekung lebih besar daripada permukaan cembung. Oleh sebab itu, sisi permukaan cekung setengah silinder yang dilalui angin akan memberikan gaya hambat yang lebih besar daripada sisi lain sehingga rotor berputar. Setiap turbin angin yang memanfaatkan potensi angin dengan gaya hambat memiliki efisiensi yang terbatas karena kecepatan sudu tidak dapat melebihi kecepatan angin yang melaluinya.



(Sumber: Sathyajith Mathew)

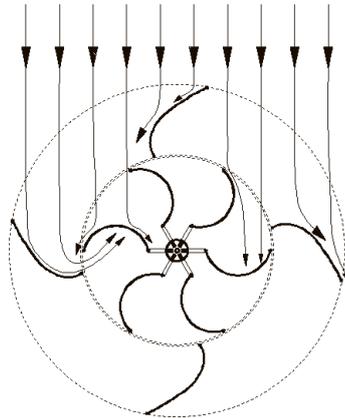
Dengan memanfaatkan gaya hambat, turbin angin *savonius* memiliki putaran dan daya yang rendah dibandingkan dengan turbin angin darrieus. Meskipun demikian turbin *savonius* tidak memerlukan energi awal untuk memutar rotor dan ini merupakan keunggulan dibanding turbin *darrieus*. Daya dan putaran yang dihasilkan turbin *savonius* relatif rendah, sehingga pada penerapannya digunakan untuk keperluan yang membutuhkan daya kecil dan sederhana seperti memompa air. Turbin ini tidak sesuai digunakan untuk pembangkit listrik dikarenakan *tip speed ratio* dan faktor daya yang relatif rendah.

#### b. Sudu Pengarah

Pada gambar 1.20, bila dilihat dengan seksama bahwa bentuk sudu rotor *savonius* di bagian kiri dan kanan yang langsung dihadapkan dengan arah angin memiliki gaya hambat (*drag*) yang berbeda. Bila dilihat dari arah angin, bagian

kiri memiliki bentuk sudu cembung sedangkan bagian kanan berbentuk cekung. Untuk itu diperlukan sudu pengarah, dengan tujuan mengarahkan aliran angin sehingga energi angin setelah menggunakan sudu pengarah dapat dimanfaatkan semaksimal mungkin seperti pada gambar 1.2.

Gambar 4. 21 | Sudu pengarah dengan rotor turbin angin *savonius*



(Sumber: google.com)

#### D. Aktifitas 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 konversi energi angin? 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.

## E. Rangkuman

1. Era pembangkit energi listrik diawali pada akhir tahun 1900-an. Turbin angin modern pertama kali, khusus didesain untuk pembangkit energi listrik, yang dibangun di Denmark tahun 1890. Turbin menyuplai energi listrik ke daerah pedesaan.
2. Angin lokal disebabkan perbedaan tekanan lokal dan juga dipengaruhi topografi, gesekan permukaan disebabkan gunung, lembah dan lain-lain. Variasi harian disebabkan perbedaan temperatur antara siang dan malam.
3. Perpindahan molekul udara memiliki energi kinetik, sehingga secara lokal jumlah molekul udara berpindah melalui luasan selama selang waktu tertentu menentukan besarnya daya.
4. *Wind shear* adalah perubahan arah atau kecepatan angin saat melalui jarak tertentu. *Wind shear* dapat juga terjadi secara vertikal. Perubahan kecepatan angin terhadap ketinggian, *horizontal wind shear* merupakan faktor utama dalam memperkirakan produksi energi melalui turbin angin.
5. *Tip speed ratio* merupakan rasio kecepatan ujung rotor turbin terhadap kecepatan angin yang melalui rotor. Rasio kecepatan ujung rotor memiliki nilai nominal yang berubah-ubah terhadap perubahan kecepatan angin. Berdasarkan prinsip aerodinamik, turbin angin dibagi menjadi dua bagian yaitu:
  - 1) Jenis *drag* yaitu prinsip konversi energi yang memanfaatkan selisih koefisien *drag*.
  - 2) Jenis *lift* yaitu prinsip konversi energi yang memanfaatkan gaya *lift*.

6. Turbin angin jenis *upwind* memiliki rotor yang menghadap arah datangnya angin sedangkan turbin angin jenis *downwind* memiliki rotor yang membelakangi/menurut jurusan arah angin.
7. Daya dan putaran yang dihasilkan turbin *savonius* relatif rendah, sehingga pada penerapannya digunakan untuk keperluan yang membutuhkan daya kecil dan sederhana seperti memompa air.

## F. Tes Formatif

Pilihlah jawaban yang paling tepat dari soal-soal di bawah ini:

1. Era pembangkit energi listrik diawali pada akhir tahun 1900-an. Di negara manakah turbin angin modern pertama kali yang khusus didesain untuk pembangkit energi listrik....
  - a. Belanda
  - b. Denmark
  - c. Finlandia
  - d. Jerman
2. Sebutkan salah satu dari dua faktor utama sirkulasi global....
  - a. Rotasi bumi
  - b. Rotasi bulan
  - c. Peredaran matahari
  - d. Peredaran bulan
3. Perpindahan molekul udara memiliki energi kinetik, sehingga secara lokal jumlah molekul udara yang berpindah melalui luasan selama selang waktu tertentu menentukan besarnya ....
  - a. Kecepatan
  - b. Gaya
  - c. Massa
  - d. Daya
4. Teori apakah yang mendasarkan pemodelan aliran dua dimensi angin yang mengenai rotor yang menjelaskan prinsip konversi energi angin pada turbin angin dimana berkurangnya kecepatan aliran udara disebabkan karena sebagian energi kinetik angin diekstrak oleh rotor turbin angin....





## **G. Kunci Jawaban**

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

## LEMBAR KERJA KB-4

LK - 03

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran potensi daya air, daya turbin dan daya generator? 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!

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

## KEGIATAN PEMBELAJARAN 5 : KECEPATAN ANGIN DAN DAYA TURBIN

### A. Tujuan

Setelah mengikuti kegiatan pembelajaran ini, peserta diklat dapat menjelaskan tentang: pemanfaatan energi angin dalam kehidupan sehari-hari, pengukuran potensi angin suatu wilayah, pengukuran daya turbin, dan spesifikasi turbin angin.

### B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Setelah mengikuti kegiatan pembelajaran ini, peserta diklat mampu menerapkan prinsip-prinsip konservasi energi angin.

### C. Uraian Materi

#### 1. Pemanfaatan Energi Angin

Turbin angin merupakan mesin dengan sudu berputar yang mengonversikan energi kinetik angin menjadi energi mekanik. Jika energi mekanik digunakan langsung secara permesinan seperti pompa atau *grinding stones*, maka mesin (turbin) disebut *windmills*. Jika energi mekanik dikonversikan menjadi energi listrik, maka mesin disebut turbin angin atau *wind energy converter* (WEC).

Gambar 5. 1 | Pembangkit listrik tenaga angin



(sumber: [www.zvelite.com](http://www.zvelite.com))



(Sumber: Thophick.blogspot.com)

Ekstraksi potensi angin adalah sebuah upaya kuno dimulai dengan kapal-tenaga angin, pabrik gandum dan *grinding stone*. Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk menyuplai kebutuhan listrik masyarakat dengan menggunakan prinsip konversi energi dan memanfaatkan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. Walaupun sampai saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik

konvensional, contohnya pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD), pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dan sebagainya. Turbin angin masih terus dikembangkan untuk mengatasi masalah kekurangan sumber daya alam tak terbaharui seperti minyak bumi dan batubara.

## 2. Pengukuran Potensi Angin

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.

#### **a. 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:

1) Anemometer *cup* dan *vane*

Alat ini mengukur banyaknya udara yang melalui alat per satuan 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  $120^\circ$ . 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.

2) *Pressure tube anemometer*

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

3) *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.

#### **b. 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.

#### **c. Tipe anemometer**

##### **1) 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 ke satu 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 ke pengamatan 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 5.3 | Anemometer dengan tiga mangkuk



(Sumber: Joytalita's Blog)

## 2) 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 5.4 | Anemometer digital



(Sumber: Viseal Engineering CO)

#### d. Proses kalibrasi

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

- Kecepatan angin dengan *Cup Wheel* RPM

$$m/s = (0.01250 \times rpm) + 0.2 \quad (2.1)$$

$$knots = (0.02427 \times rpm) + 0.4 \quad (2.2)$$

$$mph = (0.02795 \times rpm) + 0.4 \quad (2.3)$$

$$km/h = (0.04499 \times rpm) + 0.7 \quad (2.4)$$

- kecepatan angin dengan *output frekuensi* – Hz

$$m/s = (0.7500 \times Hz) + 0.2 \quad (2.5)$$

$$knots = (1.4562 \times Hz) + 0.4 \quad (2.6)$$

$$mph = (1.6770 \times Hz) + 0.4 \quad (2.7)$$

$$km/h = (2.6994 \times Hz) + 0.7 \quad (2.8)$$

#### e. Aplikasi pengukuran data angin di lapangan

- 1) Tujuan pengukuran

Tujuan pengukuran adalah:

- a) Memperoleh data potensi energi angin di lokasi.
- b) Identifikasi lokasi (daerah potensial).
- c) Penentuan kelas pemanfaatan berdasarkan potensi yang tersedia.
- d) Penetapan tempat pemasangan turbin angin.

## 2) 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.

## 3) Data dan informasi yang diperlukan untuk pemanfaatan energi angin

Data angin serta informasi yang diperlukan untuk pemanfaatan adalah:

- a) Kecepatan angin di lokasi (rata-rata tahunan, minimum dan maksimum).
- b) Arah angin dominan.
- c) Distribusi kecepatan angin.
- d) Distribusi arah angin (*windrose*, dalam 12 sektor).
- e) Pola angin harian, bulanan, tahunan.
- f) Kondisi *lull* (angin rendah).
- g) Daya angin spesifik, WPD ( $W/m^2$ ) dan energi (WED) dalam satu tahun ( $kWh/m^2$ ).

#### 4) 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 :

##### a) Kekasaran Permukaan (*roughness*)

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.

##### b) Orografi (*orography*)

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.

##### c) Rintangan (*obstacle*)

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.

#### 5) Metoda Pengukuran

Metoda pengukuran data angin dapat dilakukan sebagai berikut :

##### a) Tidak langsung

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

##### b) 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 :

- 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.
- Menggunakan peralatan standar (anemometer analog atau digital) yang dilengkapi dengan data *logger*.
- 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*).
- Pengukuran minimum dilakukan dalam satu tahun.

c) Pengukuran sesaat di lokasi (survai):

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

d) 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, 24 meter, 30 meter, dan seterusnya.

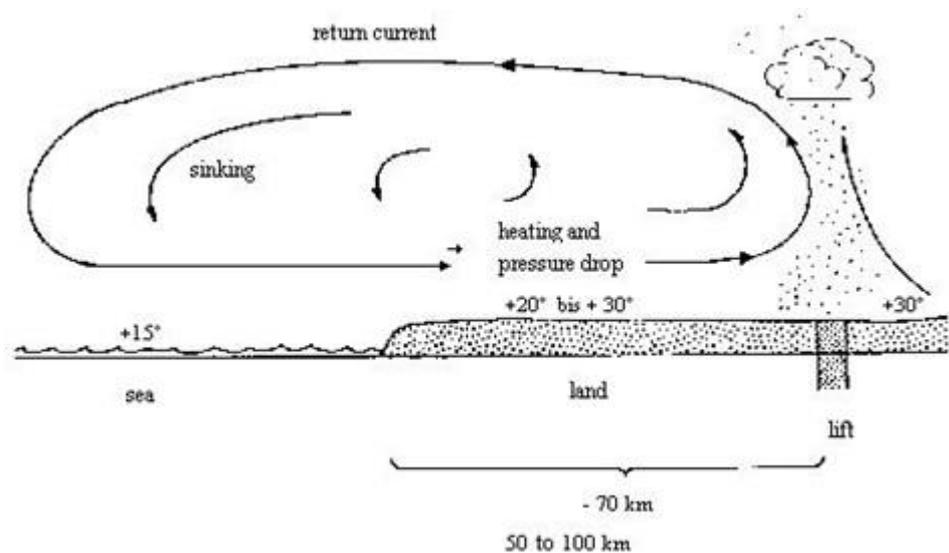
### 3. Pengukuran Daya Turbin Angin

Teknologi turbin telah berkembang pesat selama 15 tahun terakhir setelah adanya pengembangan produksi massal dan riset komersial. Harga instalasi sudah menurun, dengan peningkatan *availibitas* teknis telah dapat mencapai 97%, sementara faktor kapasitas harian telah meningkat dari 15% menjadi 30%.

#### a. Potensi energi angin

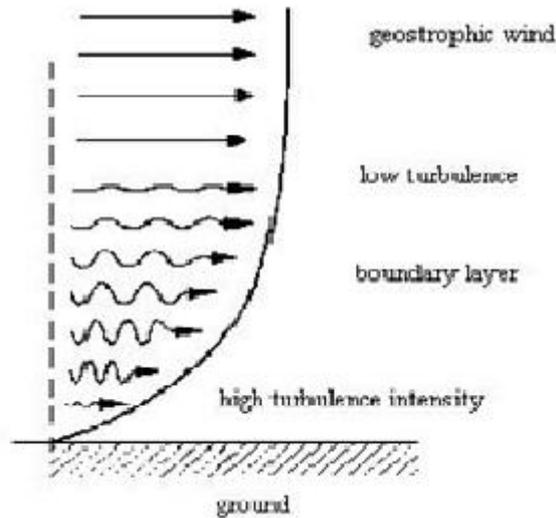
Angin adalah pertukaran sejumlah massa udara yang diakibatkan oleh fenomena termal. Sumber energi termal pendorong adalah matahari.

Gambar 5.5 | Pembentukan angin oleh fenomena termal sinar matahari



Potensi energi angin sangat dipengaruhi oleh keadaan permukaan.

Gambar 5. 6 | Distribusi kecepatan angin terhadap bidang vertical



Pola *geostropik* dari angin (secara teoretis angin terjadi dari gradien tekanan) menunjukkan penurunan akibat adanya hambatan misalnya, gedung, pohon dan rerumputan. Sifat permukaan dapat dinyatakan dengan menggunakan parameter *roughness-length*.  $Z_0$  adalah tinggi dimana kecepatan angin mencapai nol (0).

Tabel 5. 1 | Nilai *roughness-length* untuk beberapa kelas dataran

No	Kategori	<i>Roughness-length</i> $Z_0$ (m)	Keterangan
1	<i>Sea</i>	0,0002	<i>High Seas</i>
2	<i>Smooth</i>	0,005	<i>Mud-flats</i>
3	<i>Open</i>	0,03	<i>open, flat country; pasture</i>
4	<i>Open to rough</i>	0,1	<i>agricultural land with low growth</i>
5	<i>Rough</i>	0,25	<i>agricultural land</i>

			<i>with tall growth</i>
6	<i>Very rough</i>	0,5	<i>Parkland with bushes and trees</i>
7	<i>Closed</i>	1	<i>woods, villages, suburbs</i>
8	<i>City centres</i>	2	<i>Centres of big cities</i>

Perhitungan kecepatan angin untuk suatu ketinggian tertentu ( $h_2$ ) atas dasar kecepatan angin pada posisi  $h_1$  (posisi anemometer) sebesar  $W_1$  (hasil pengukuran dengan anemometer) dapat didekati dengan:

$$W_2 h_2 = W_1 \frac{\ln(h_2/z_0)}{\ln(h_1/z_0)} \quad (2.9)$$

dengan  $z_0$  adalah *roughness-length*. Hal tersebut didasarkan pada asumsi bahwa profil kecepatan angin berbentuk logaritmis terhadap ketinggian.

Energi angin dapat dimanfaatkan dari laju gerakannya (energi kinetik) dengan menggunakan kincir angin.

$$E_k = 0,5 \cdot m \cdot W_a^2 \quad (2.10)$$

dimana  $W_a$  adalah laju gerakan angin dan  $m$  massa dari angin yang melewati sudu kincir angin setiap detiknya.

$$m = \rho \cdot A \cdot W_a \quad (2.11)$$

Sehingga jika kincir memiliki luas penampang  $A$  dan radius  $R$ , dan efisiensi  $C_e$  maka energi yang dapat dihasilkan setiap satuan waktu (daya kincir angin) adalah:

$$E = 0,5 \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot W_a^3 \cdot C_e \quad (2.12)$$

Perhitungan tersebut adalah hasil teoritis yang harus dikoreksi oleh faktor ketersediaan angin dan tentu saja masih dipengaruhi oleh efisiensi konversi sistem kincir antara 20 – 60% ataupun untuk sistem terbaru mencapai 70 – 80%. Pembangunan sistem pembangkit tenaga angin harus memperhatikan bentuk aliran angin di lokasi dan potensi yang mempengaruhinya, seperti

bangunan tinggi, pepohonan dll.

**Contoh Soal:** Sebuah kincir angin dengan diameter sudu 23 m, efisiensi 40%, dipasang di lokasi dengan kecepatan rerata 10 m/s dan densitas udara 1,125 kg/m<sup>3</sup>.

Daya listrik yang dihasilkan:

$$E = 0,5 \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot W_a^3 \cdot C_e$$

$$E = 0,5 \cdot (1,125) \cdot \pi \cdot (11,5)^2 \cdot (10)^3 \cdot 0,4 = 93,435 \text{ kW}$$

Jika kecepatan angin hanya separohnya (5 m/s), maka daya listrik yang dihasilkan:  $E = 11,679 \text{ kW}$  (sekitar 12,5%).

Sehingga perhitungan potensi angin tahunan untuk perencanaan pemasangan kincir tidak dilakukan atas dasar formula di atas dengan hanya mempertimbangkan kecepatan rerata, karena akan memiliki kesalahan besar. Perhitungan potensi dilakukan dengan menggunakan distribusi kecepatan angin tahunan yang dapat didekati suatu pola distribusi misalnya *weibull* atau *rayleigh*.

#### b. Distribusi *rayleigh*

Seperti dibahas sebelumnya, bahwa daya angin  $P$  adalah proporsional dengan densitas angin  $\rho$ , area dan pangkat tiga dari kecepatan. Untuk menghitung energi yang terkandung dalam angin, maka perlu mengintegrasikan nilai daya sepanjang sumbu waktu. Sehingga dibutuhkan perekaman kurva kecepatan angin untuk sepanjang hari, minggu atau bulan. Kurva tersebut dapat dikonversikan dalam bentuk histogram dari frekuensi relatif.

Nilai  $h_i$  adalah frekuensi relatif untuk kelas kecepatan  $v_i$ . Jumlah energi sepanjang periode waktu  $T$  adalah jumlah dari keseluruhan kelas kecepatan.

$$E_{ges} = \sum (h_i \cdot P_i \cdot T) \quad (2.13)$$

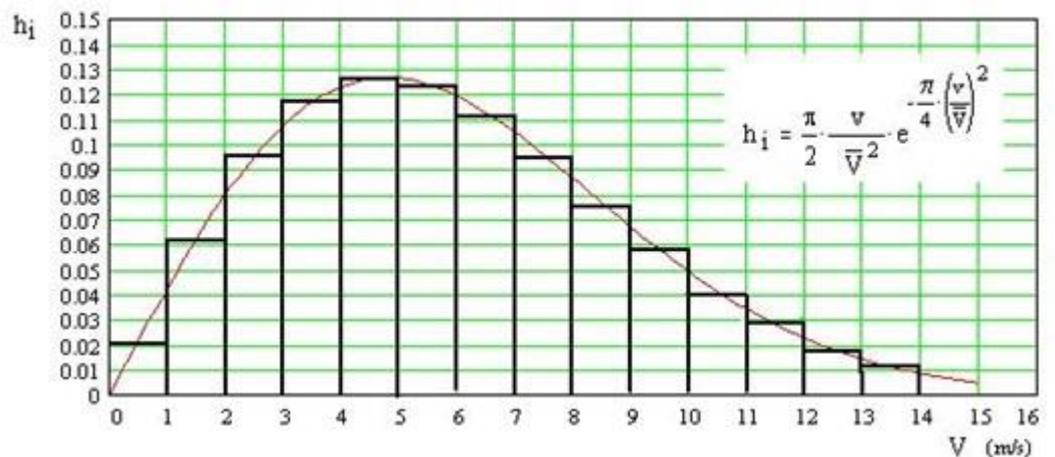
Dari persamaan daya  $P_i$  di atas dapat dituliskan:

$$P_i = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot V_i^3 \quad (2.14)$$

Jika tidak tersedia histogram untuk suatu lokasi dan tidak dimungkinkan untuk membuat, maka histogram dapat diturunkan dari distribusi *rayleigh*

dari kecepatan angin rerata, dimana akan merupakan pendekatan bagus untuk lokasi bebas hambatan. Histogram berikut dikembangkan dengan fungsi *rayleigh* dari kecepatan angin rerata 6 m/s.

Gambar 5. 7 | Distribusi rayleigh



Pendekatan perhitungan pola kecepatan angin sering digunakan atas dasar distribusi angin *rayleigh*.

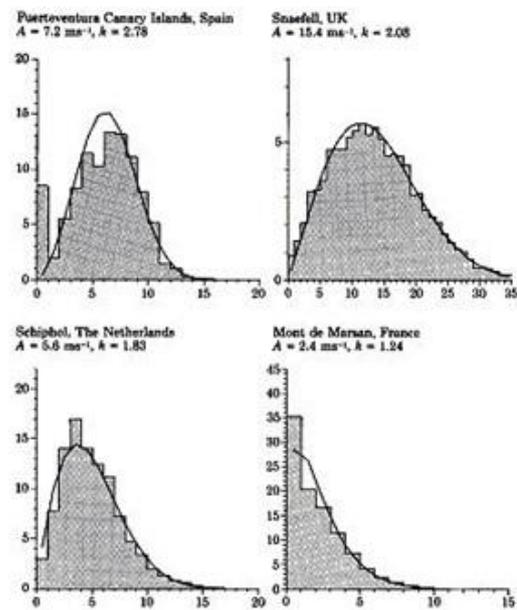
### c. Distribusi *weibull*

Pendekatan pola distribusi angin dalam rentang waktu panjang (tahunan) dapat digunakan fungsi *weibull*. Indikasi distribusi dinyatakan dengan nilai *weibull* k dan normalisasi skala c. Persamaan *weibull* dinyatakan sbb:

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right) \quad (2.15)$$

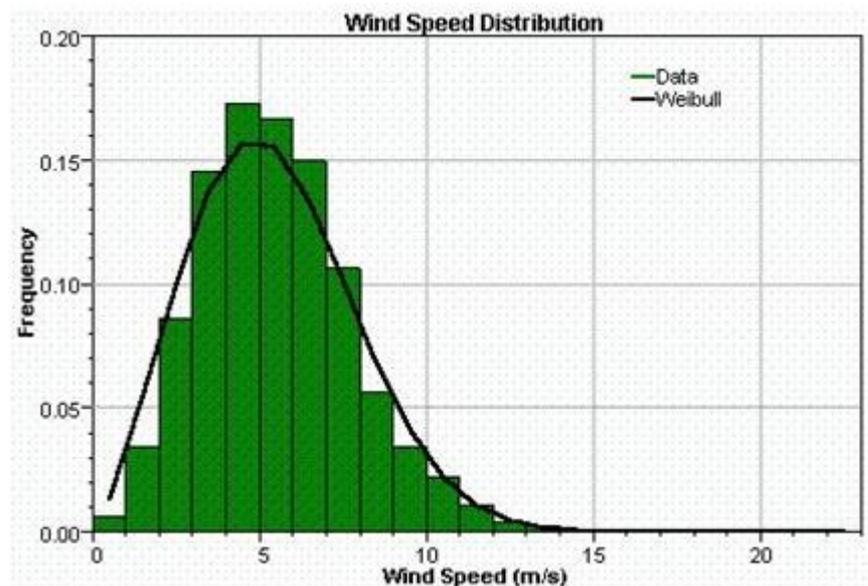
dimana v kecepatan angin, k faktor pola weibull dan c faktor skala. Karakteristik fungsi distribusi dinyatakan oleh kedua parameter k dan c, dimana c didekati sebagai fungsi dari kecepatan rerata  $c=1,126 v$  rerata. Nilai  $k=1$  merupakan pendekatan eksponensial,  $k=2$  mendekati fungsi *rayleigh* dan  $k = 2,35$  mendekati fungsi *gaussian*.

Gambar 5. 8 | Contoh pendekatan distribusi weibull



Beberapa contoh pendekatan distribusi *Weibull* tampak pada Gambar 2.9, dimana data riil dalam diagram batang dan fungsi pendekatan berupa garis.

Gambar 5. 9 | Perbandingan data dan pendekatan fungsi *Weibull*



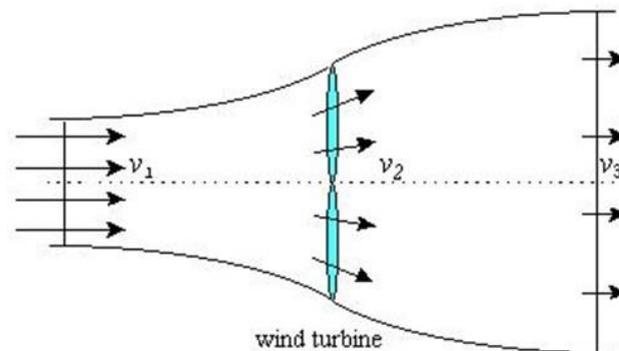
Nilai parameter *Weibull*  $k$  bervariasi untuk tipe lokasi, misalnya daerah

dataran pedalaman biasanya berkisar 1,2 sedangkan daerah pantai 2,3, dan semakin tinggi lokasi nilai k akan naik.

#### d. Metode eksploitasi energi angin

Transformasi energi kinetik angin ke rotor kincir diperoleh dari pelambatan sejumlah massa udara. Kecepatan angin di depan rotor  $V_1$  akan mengalami reduksi menjadi  $V_3$  di belakang rotor.

Gambar 5. 10 | Kecepatan angin pada suatu rotor



Energi yang dihasilkan merupakan nilai perbedaan energi angin di depan dan belakang rotor.

$$E_{yield} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (V_1^2 - V_3^2) \quad (2.16)$$

**Contoh Soal 1:** Pada pengukuran sebuah turbin angin diketahui kecepatan aliran angin di depan rotor adalah 5 m/s dan kecepatan aliran angin di belakang rotor 1 m/s, jika massa udara 0,21 kg, berapa energi yang dihasilkan rotor.

**Jawab:** Diketahui  $m=0,21$  kg,  $V_1=5$  m/s,  $V_3=1$  m/s

$$E_{yield} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (V_1^2 - V_3^2)$$

$$E_{yield} = \frac{1}{2} \cdot 0,21 \cdot (5^2 - 1^2)$$

$$= 2,52 \text{ Joule}$$

Sehingga daya yang dibangkitkan oleh angin adalah:

$$P_{yield} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V_2 \cdot (V_1^2 - V_3^2) \quad (2.17)$$

**Contoh Soal 2:** Pada pengukuran sebuah turbin angin diketahui kecepatan

aliran angin di depan rotor adalah 6 m/s, belakang rotor 1 m/s dan yang menghantam rotor 5 m/s, kerapatan udara 1 kg/m<sup>3</sup> dan luasan rotor 2 m<sup>2</sup>, berapa daya yang dihasilkan oleh angin.

**Jawab:** Diketahui  $\rho = 1 \text{ kg/m}^3$ ,  $V_1 = 6 \text{ m/s}$ ,  $V_2 = 5 \text{ m/s}$ ,  $V_3 = 1 \text{ m/s}$ ,

$$A = 2 \text{ m}^2$$

$$P_{\text{yield}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V_2 \cdot (V_1^2 - V_3^2)$$

$$P_{\text{yield}} = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 2 \cdot 5 \cdot (6^2 - 1^2) = 175 \text{ J/s}$$

Jika kita hubungkan antara daya dengan daya yang terkandung dalam angin, maka didapatkan koefisien daya (*power coefficient*)  $c_p$ , yang dinamakan juga sebagai efisiensi aerodinamik (*aerodynamic efficiency*).

$$c_p = P_{\text{cont}} / P_{\text{wind}}$$

dengan

$$P_{\text{wind}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3 \quad (2.18)$$

Dengan asumsi bahwa kecepatan angin pada bidang rotor:

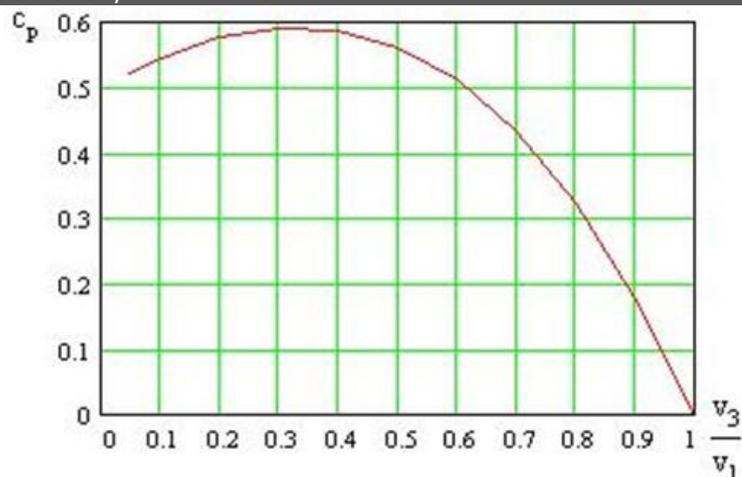
$$V_2 = \frac{V_1 + V_3}{2} \quad (2.19)$$

maka diperoleh:

$$C_p = 0,5 \cdot \left(1 + \frac{V_3}{V_2}\right) \left(1 - \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^2\right) \quad (2.20)$$

Diagram berikut menunjukkan koefisien daya  $C_p$  sebagai fungsi dari rasio kecepatan  $V_3$  dengan  $V_1$ .

Gambar 5. 11 | Koefisien daya menurut betz



Untuk mencapai nilai optimum penggunaan energi angin, maka kecepatan dibalik rotor  $v_3$  harus  $1/3$  dari kecepatan di depan rotor  $v_1$ . Sehingga koefisien daya  $C_p$ ,  $\text{betz}=0,59$ .

Ada dua kemungkinan untuk transformasi daya angin menjadi daya kinetik, yaitu dengan pemanfaatan gaya hambatan (*drag force*) dan dengan daya angkat (*lift force*).

*Drag force* rotor memanfaatkan gaya  $F_w$  yang dihasilkan oleh angin pada suatu area  $A$  pada sudut tertentu:

$$F_w = C_w \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \quad (2.21)$$

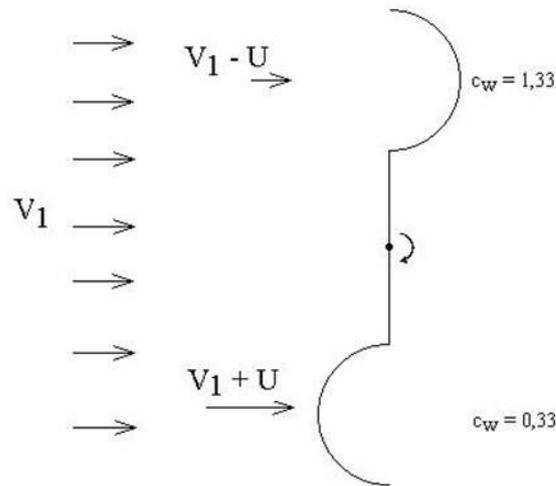
Nilai koefisien hambatan (*drag coefficient*)  $C_w$  merupakan indikasi dari kualitas aerodinamik suatu benda.

Tabel 5. 2 | Tabel nilai koefisien hambatan

$C_w$	Body
1,11	<i>Circular Plate</i>
1,10	<i>Square Plate</i>
0,33	<i>Closed Semi-Sphere</i>
1,33	<i>Open Semi-Sphere</i>

Biasanya rotor yang memanfaatkan gaya hambatan (*drag force rotor*) adalah *cup anemometer*.

Gambar 5. 12 | Cup anemometer



*Cup anemometer* tidak hanya menghasilkan satu *driving drag force* tetapi juga sebuah pengereman (*breaking*).

Gaya penggerak:

$$F_{w \text{ drive}} = 1,33 \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot (v - u)^2 \quad (2.22)$$

Gaya pengereman:

$$F_{w \text{ brake}} = 0,33 \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot (v + u)^2 \quad (2.23)$$

Daya yang diperoleh:

$$P = (F_{w \text{ drive}} - F_{w \text{ brake}}) \cdot u \quad (2.24)$$

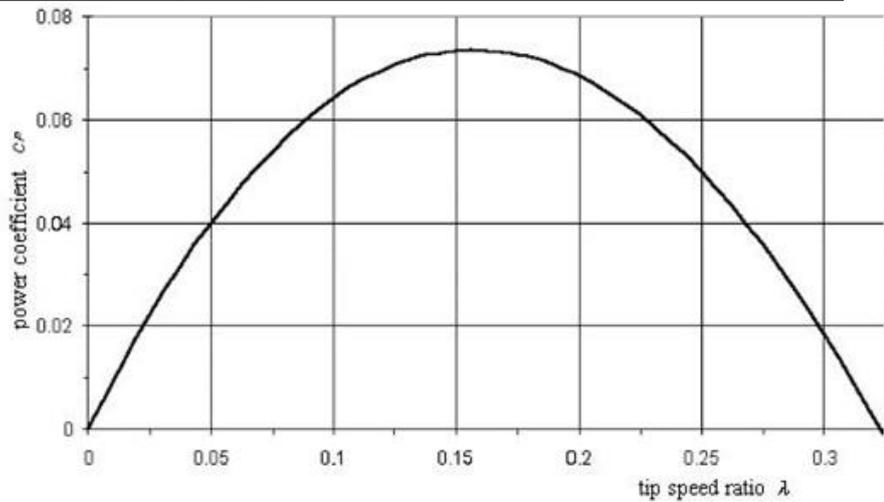
Didefinisikan sebuah parameter rasio kecepatan  $\lambda$ , yang merupakan indikasi rasio antara kecepatan putar rotor  $u$  dan kecepatan angin  $v$ .

$$\lambda = u/v \quad (2.25)$$

Nilai  $\lambda$  untuk (*drag force rotor*) tidak akan mencapai 1, karena kecepatan putar rotor harus lebih kecil dari kecepatan angin.

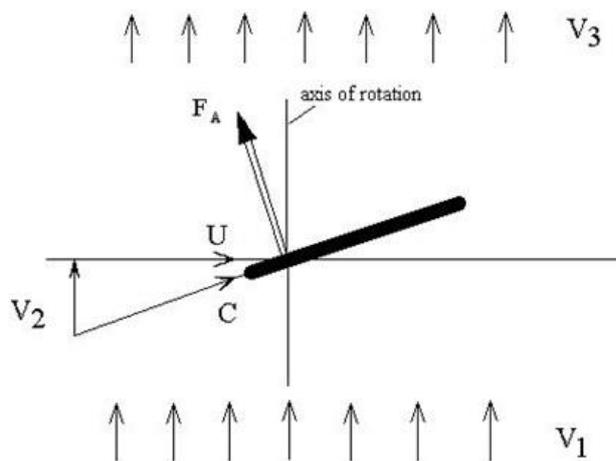
*Cup anemometer* memiliki  $\lambda_{\text{opt}} = 0.16$ . Hal tersebut menunjukkan efisiensi aerodinamis yang amat rendah, sehingga *cup anemometer* tidak digunakan dalam pembangkitan daya.

Gambar 5. 13 | Koefisien daya sebagai fungsi  $\lambda$



Jika aliran udara menabrak bidang datar atau suatu profil sudu dengan sudut tertentu, maka seiring dengan gaya hambatan (*drag force*)  $F_w$ , akan dihasilkan gaya angkat tegak lurus  $F_A$ . Dikarenakan *lift force* jauh lebih besar dari *drag force* maka akan timbul rotasi.

Gambar 5. 14 | Gaya angkat



Gaya angkat dapat dihitung sbb:

$$F_A = C_a \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \quad (2.26)$$

Koefisien gaya angkat (*lift force coefficient*)  $c_a$  tergantung pada profil sudu sayap

dan sudut antara arus angin dengan sudu.

Komponen *upwind speed*  $c$  adalah hasil dari jumlah kecepatan angin  $v$  dan kecepatan putar  $u$ .

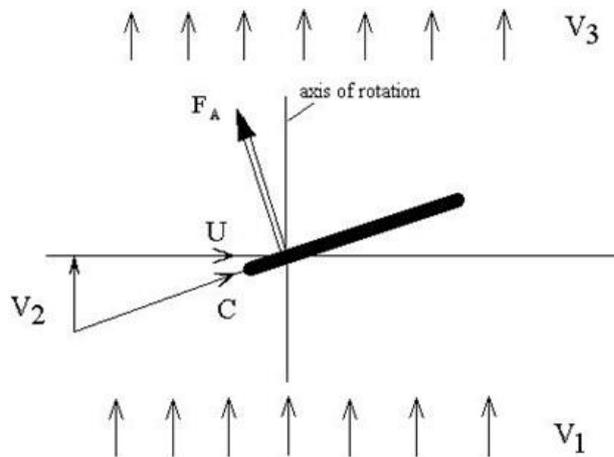
$$c^2 = v^2 + u^2 \quad (2.27)$$

Nilai  $c$  dari *lift force rotor* selalu lebih besar dari  $v$ , sedangkan  $c$  dari *drag force rotor* selalu lebih kecil dari  $v$ .

*Upwind speed* memberikan kontribusi kepada gaya secara kuadrat. Sehingga atas dasar hal tersebut, *lift forced rotor* menghasikan efisiensi jauh lebih baik dari pada *drag forced rotor*  $C_{p,max} = 0,5$

Gambar berikut menunjukkan ukuran koefisien daya untuk kincir angin modern. Catatan bahwa,  $C_{p,max}$  dicapai pada rasio kecepatan 8. Rotor kincir dengan  $\lambda > 2$  dinamakan *fast running*.

Gambar 5. 15 | Koefisien daya fungsi rasio kecepatan



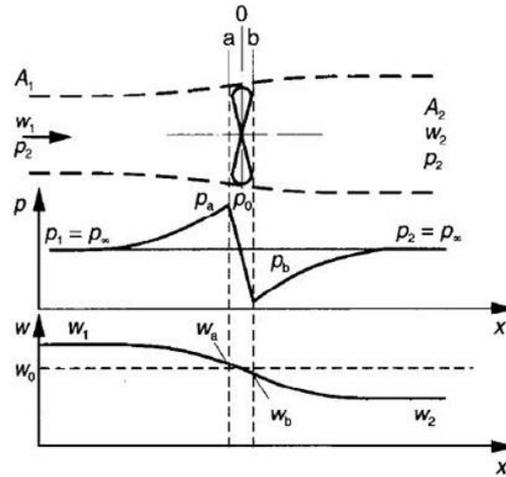
#### e. Daya kincir angin

Atas dasar persamaan kontinuitas untuk laju aliran massa udara yang diasumsikan *inkompresibel* ( $\rho_a = \text{konstan}$ ), maka:

$$m = \rho_a A_2 W_{a2} = \rho_a A_1 W_{a1} \quad (2.28)$$

Profil tekanan dan kecepatan untuk suatu volume atur sebagai model bentuk aliran udara yang melewati suatu kincir dapat ditampilkan seperti gambar berikut:

Gambar 5. 16 | Profil tekanan dan kecepatan aliran angin



Atas dasar persamaan *bernoulli*, maka komponen gaya yang bekerja pada sudu rotor searah aliran untuk asumsi tidak ada friksi dan tekanan konstan ( $p_1 = p_2$ ) adalah:

$$F_T = \rho_a A \frac{(W_1^2 - W_2^2)}{2} \quad (\text{N}) \quad (2.29)$$

dengan A adalah area sudu rotor.

Daya turbin:

$$P_T = m \frac{(W_1^2 - W_2^2)}{2} \quad (\text{W}) \quad (2.30)$$

Daya kincir angin dihitung sbb:

$$P_T = 0,5 \cdot C_p \cdot A \cdot \rho_a \cdot W_a^3 \quad (\text{W}) \quad (2.31)$$

dengan  $C_p$  adalah koefisien daya kincir.

$$C_p = 0,5 \left(1 + \frac{W_2}{W_1}\right) \cdot \left(1 - \frac{W_2^2}{W_1^2}\right) \quad (2.32)$$

Koefisien daya menyatakan pengaruh kecepatan terhadap *gradien* tekanan dan daya yang dapat dihasilkan oleh kincir. Koefisien daya amat dipengaruhi oleh parameter aerodinamik dari kincir serta sistem kendali kincir.

#### f. Momen Putar

Rotor yang berputar dengan laju  $n$  (s-1) akan menghasilkan momen putar

sebesar:

$$M = \frac{P_T}{2\pi n} \text{ (Nm)} \quad (2.33)$$

Dengan kecepatan putar

$$M = \frac{P_T}{\omega} = \frac{P_T R}{u} = \frac{W^2 R \cdot 0,5 \cdot C_p \cdot A \cdot \rho_a}{\lambda} \quad (2.34)$$

Dimana:  $P_T$  = Daya turbin (W)

$\omega$  = Laju putaran rotor ( $s^{-1}$ )

R = Radius (m)

U = Kecepatan lintasan (m/s)

W = Kecepatan angin

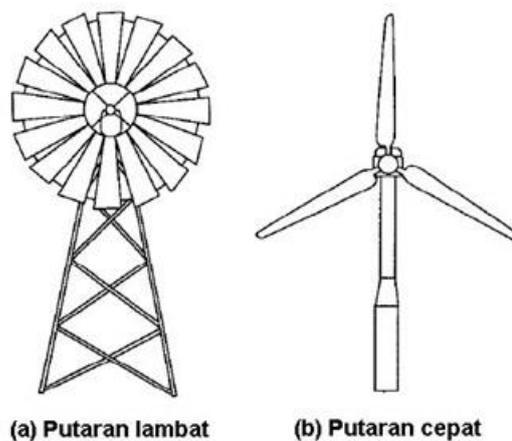
$\lambda$  = Parameter angin (u/w)

#### 4. Spesifikasi Turbin Angin

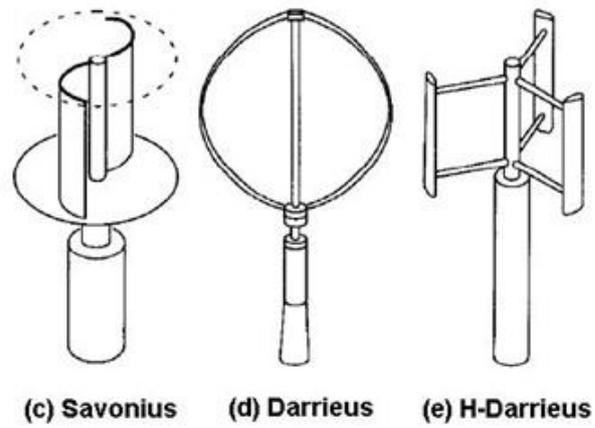
##### a. Tipe kincir angin

Atas dasar posisi rotor dibedakan antara poros tegak (*savonius rotor*) dan horisontal. Kincir poros tegak yang paling sederhana tersusun dari dua bagian metal semi silindris yang dipasang pada poros. Sistem tersebut memiliki kelebihan yaitu dapat berputar pada torsi sedang, meski efisiensi rendah sekitar 10%

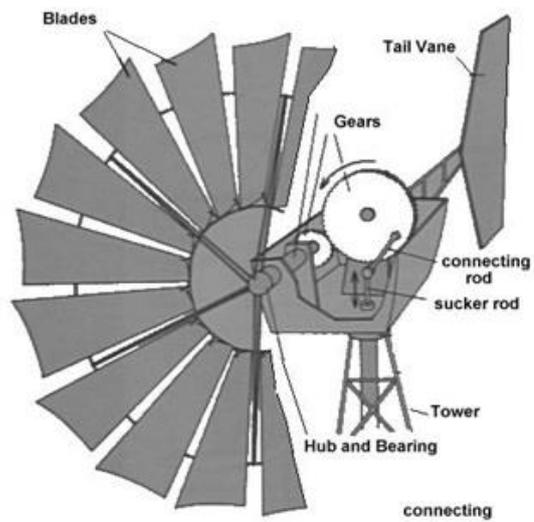
Gambar 5. 17 | Kincir poros horizontal



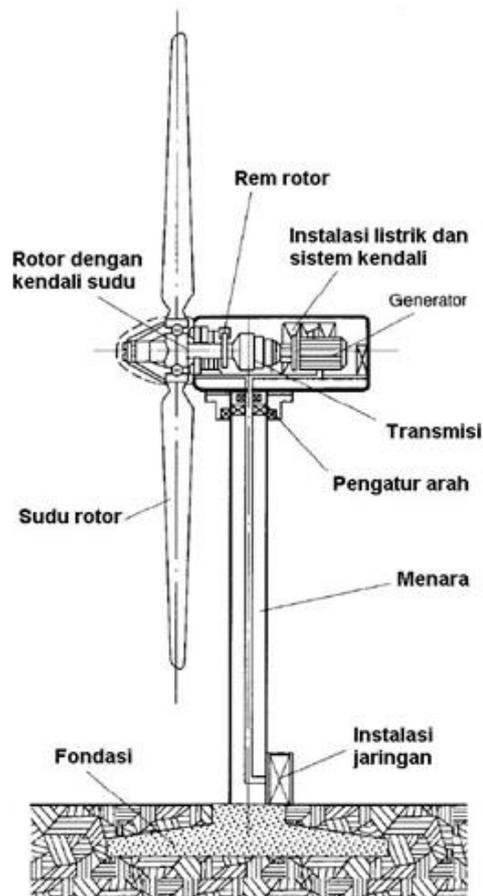
Gambar 5. 18 | Kincir poros vertikal



Gambar 5. 19 | Skema kincir angin konvensional



Gambar 5. 20 | Tipe kincir angin poros horizontal



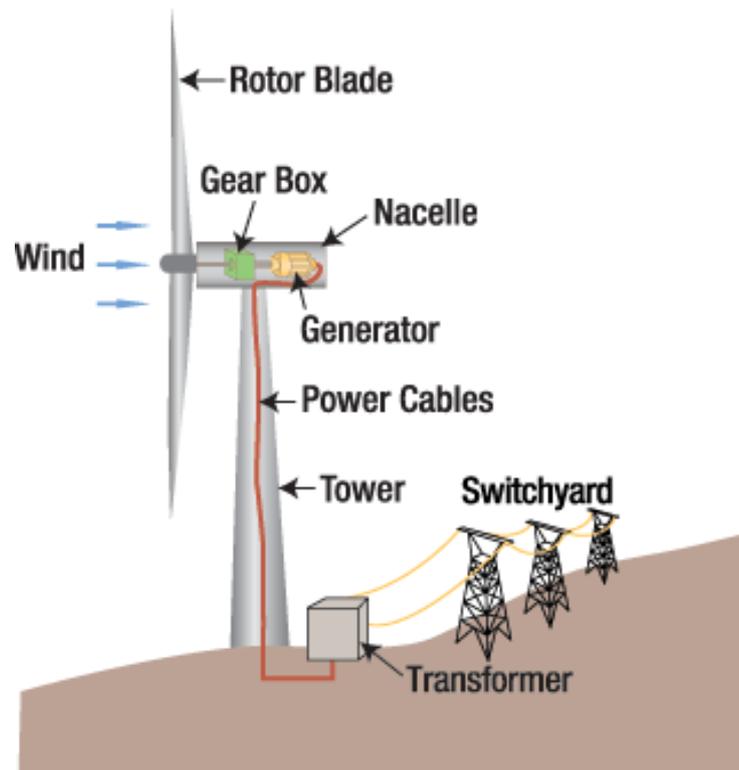
Secara umum turbin angin dikelompokkan menjadi 3 kelompok:

- Skala besar yaitu turbin angin yang memiliki kemampuan daya sebesar 600 kW ke atas.
- Skala menengah yaitu turbin angin yang memiliki kemampuan daya sebesar 100 kW sampai dengan < 600 kW.
- Skala kecil yaitu turbin angin yang memiliki kemampuan daya sebesar ratusan W sampai dengan < 100 kW.

## b. Bagian-bagian turbin angin dan fungsinya

Bagian-bagian turbin angin dan fungsinya adalah sebagai berikut:

Gambar 5. 21 | Bagian-bagian turbin angin



Penjelasan bagian dalam turbin angin secara umum:

1) *Anemometer*

Mengukur kecepatan angin dan mengirimkan data kecepatan angin ke pengontrol.

2) *Blades* (bilah)

Kebanyakan turbin terdiri atas dua atau tiga bilah. Angin bertiup di atas menyebabkan bilah-bilah terangkat dan berputar.

3) *Brake (rem)*

Sebuah cakram rem, yang dapat diterapkan dalam mekanik, listrik, hidrolik atau untuk menghentikan rotor dalam keadaan darurat.

4) *Controller (pengontrol/pengendali)*

Pengontrol mesin mulai dengan kecepatan angin sekitar 8-16 mil per jam (mph) dan menutup mesin turbin sekitar 55 mph. Tidak beroperasi pada kecepatan angin sekitar 55 mph di atas, karena dapat rusak akibat angin yang kencang.

5) *Gearbox (kotak gir)*

*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:

c) *Direct drive*

d) *Speed reducing*

e) *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.

#### 6) 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:

- Generator arus searah (*Direct Current - DC*).
- 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.

#### 7) *Nacelle*

*Nacelle* berada di atas menara dan berisi *gearbox*, poros kecepatan rendah dan tinggi, generator, kontrol, dan rem.

8) *Pitch*

Blades yang berbalik untuk mengontrol kecepatan rotor dan menjaga rotor berputar dalam angin yang terlalu tinggi atau terlalu rendah.

9) *Rotor*

Sudu yang terhubung bersama-sama.

10) *Tower (menara)*

Menara 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 dan menghasilkan listrik lebih banyak.

11) *Wind direction*

Ini adalah turbin yang bekerja melawan angin. Turbin lainnya dirancang untuk memutar rotor.

12) *Wind vane*

Mengarahkan angin dan menghubungkan dengan *yaw drive* untuk menggerakkan turbin.

13) *Yaw drive*

*Yaw drive* yang digunakan untuk menjaga rotor menghadap ke arah angin sebagai perubahan arah angin.

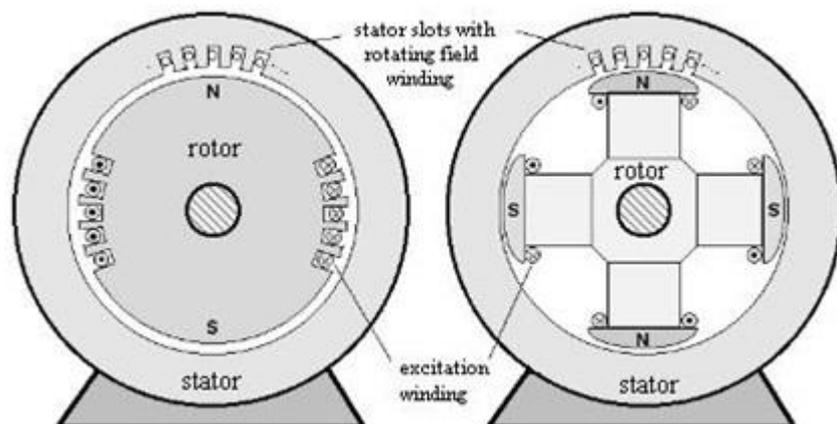
14) *Yaw motor*

Kekuatan *drive yaw*.

### c. Daya listrik

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 5. 22 | 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.

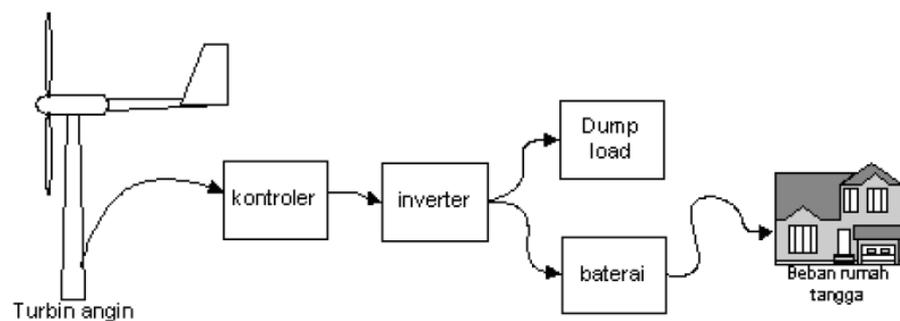
#### d. Sistem Kelistrikan

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.

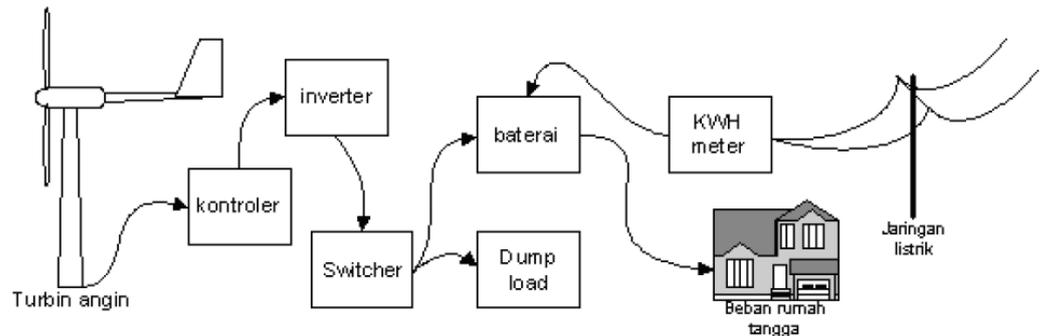
Gambar 5. 23 | Sistem kelistrikan lepas jaringan



##### 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 5. 24 | Sistem kelistrikan terhubung dengan baterai

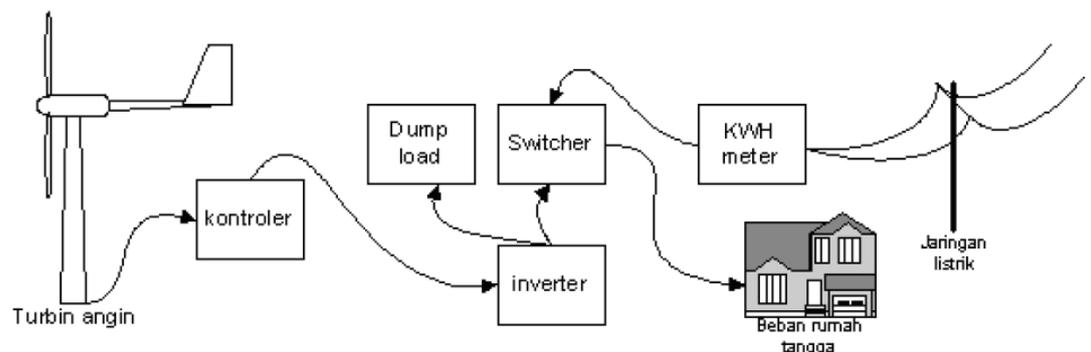


### 3) Sistem kelistrikan terhubung tanpa baterai

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 pemeliharannya, 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.

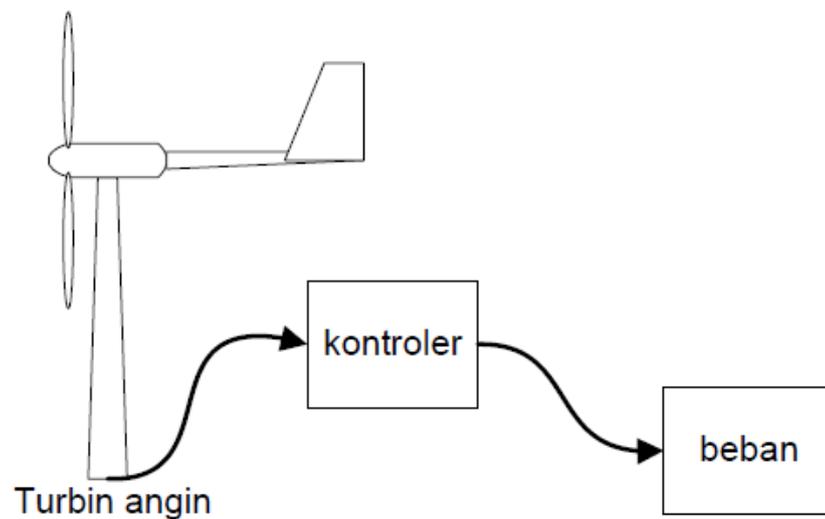
Gambar 5. 25 | Sistem kelistrikan terhubung tanpa baterai



#### 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. Penggunaannya dapat untuk irigasi maupun untuk keperluan lainnya.

Gambar 5. 26 | Sistem kelistrikan langsung tanpa baterai



### D. Aktifitas 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 kecepatan angin dan daya turbin? 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-04**. Jika Saudara bisa menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran.

## E. Rangkuman

1. Turbin angin merupakan mesin dengan sudu berputar yang mengonversikan energi kinetik angin menjadi energi mekanik. Jika energi mekanik digunakan langsung secara permesinan seperti pompa atau *grinding stones*, maka mesin (turbin) disebut *windmills*.
2. Angin merupakan pergerakan udara yang disebabkan karena adanya perbedaan tekanan udara 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.
3. Secara umum ada dua jenis anemometer, yaitu anemometer yang mengukur kecepatan angin (*velocity anemometer*) dan anemometer yang mengukur tekanan angin (anemometer tekanan).
4. 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.
5. Pendekatan pola distribusi angin dalam rentang waktu panjang (tahunan) dapat digunakan fungsi *weibull*. Indikasi distribusi dinyatakan dengan nilai *weibull*  $k$  dan normalisasi skala  $c$ .

6. Sistem transmisi daya dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok berdasarkan rasio putaran masukan dan keluarannya yaitu: *direct drive*, *speed reducing*, dan *speed increasing*.
7. 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*).

## F. Tes Formatif

Pilihlah jawaban yang paling tepat dari soal-soal di bawah ini:

1. Berikut ini merupakan upaya ekstraksi potensi angin pada masa lalu untuk berbagai keperluan, kecuali ....
  - a. Kapal tenaga angin
  - b. Pabrik gandum
  - c. Tenaga listrik
  - d. *Grinding stone*
  
2. 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*
  
3. 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



c. 2,0 J  
J

d. 2,25

d. *Wind vane*

10. Pada pengukuran sebuah turbin angin diketahui kecepatan aliran angin di depan rotor adalah 5 m/s, belakang rotor 1 m/s dan yang menghantam rotor 5 m/s, kerapatan udara  $1 \text{ kg/m}^3$  dan luasan rotor  $3 \text{ m}^2$  berapa daya yang dihasilkan oleh angin....

a. 190 J/s

b. 180 J/s

c. 210 J/s

d. 200 J/s

## **G. Kunci Jawaban**

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

## LEMBAR KERJA KB-5

LK - 04

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran kecepatan angin dan daya turbin? 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!

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

## **KEGIATAN PEMBELAJARAN 6 : AUDIT ENERGI DISEKOLAH**

### **A. Tujuan**

Setelah mengikuti kegiatan pembelajaran ini, siswa dapat menjelaskan tentang audit energi di sekolah.

### **B. Indikator Pencapaian Kompetensi**

1. Menerapkan prinsip-prinsip konservasi energi pada desain bangunan gedung.
2. Menerapkan prinsip-prinsip konservasi energy pada bangunan gedung.

### **C. Uraian Materi**

Audit energi adalah proses evaluasi pemanfaat energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna sumber energi dan pengguna energi dalam rangka konservasi energi. Audit energi dilaksanakan sekurang-kurangnya pada proses dan pengguna energi utama secara berkala paling sedikit satu kali dalam tiga tahun. Proses audit dapat dilakukan oleh auditor internal maupun eksternal, namun auditor-auditor tersebut wajib memiliki sertifikat kompetensi sesuai dengan peraturan perundang-undangan.

Audit energi pada bangunan gedung adalah teknik yang dipakai untuk menghitung besarnya konsumsi energi pada bangunan gedung dan mengenali cara-cara untuk penghematannya.

Konsumsi energi listrik di sekolah secara umum mengalami peningkatan setiap bulannya sehingga perlu dilakukan perhitungan konsumsi energi listrik ulang guna mengetahui apakah konsumsi energi listriknya masih hemat dan efisien atau tidak. Setelah dilakukan perhitungan konsumsi energi listrik, kemudian mencari alternatif peluang untuk penghematannya. Untuk maksud inilah perlu dilaksanakan kegiatan audit energi listrik di sekolah.

Gambar 6.1 | Pemanfaatan ventilasi



(Sumber: [energychallenge.tunashijau.org](http://energychallenge.tunashijau.org))

Audit energi listrik diawali dengan pengumpulan data historis gedung sekolah. Kemudian menghitung Intensitas Konsumsi Energi (IKE) listrik dari setiap gedung yang ada. Dari hasil perhitungan IKE tersebut akan diketahui tingkat efisien konsumsi energi listriknya.

Manfaat dari audit antara lain: mengetahui besarnya intensitas konsumsi energi listrik, mencegah pemborosan tanpa mengurangi kenyamanan penghuni gedung, mengetahui profil penggunaan energi listrik, meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik, memberikan masukan kepada sekolah tentang peluang penghematan energi yang dapat dilakukan pada gedung dalam rangka konservasi energi listrik.

## 1. Prosedur Sederhana Audit Energi pada Bangunan Gedung

### a. Audit energi awal

Kegiatan yang dilakukan pada saat audit energi awal adalah sebagai berikut:

- 1) Pengumpulan dan penyusunan data energi bangunan gedung. Data-data tersebut antara lain:
  - a) Dokumentasi bangunan terdiri dari: denah bangunan gedung, denah instalasi pencahayaan bangunan seluruh lantai.
  - b) Pembayaran rekening listrik bulanan.
  - c) Tingkat hunian bangunan (occupancy rate).
- 2) Menghitung besarnya intensitas konsumsi energi (IKE) gedung.

### b. Intensitas konsumsi energi listrik dan standar

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) Listrik adalah pembagian antara antara konsumsi energi listrik pada kurun waktu tertentu dengan satuan luas bangunan gedung. Menurut pedoman pelaksanaan konservasi energi dan pengawasannya di lingkungan departemen pendidikan nasional nilai IKE dari suatu bangunan gedung digolongkan dalam dua kriteria, yaitu untuk bangunan ber-AC dan bangunan tidak ber-AC.

Tabel 6. 1 | IKE bangunan gedung tidak ber-AC

Kriteria	Keterangan
Efisien (0,84 – 1,67) kWh/m <sup>2</sup> /bulan	a) Pengeloaan gedung dan peralatan energi dilakukan dengan prinsip konversi energi listrik b) Pemeliharaan peralatan energi dilakukan sesuai dengan prosedur c) Efisiensi penggunaan energi masih mungkin ditingkatkan melalui penerapan sistem manajemen energi terpadu
Cukup Efisien (1,67 – 2,5) kWh/m <sup>2</sup> /bulan	a) Penggunaan energi cukup efisien namun masih memiliki peluang konservasi energi

	b) Perbaiki efisiensi melalui pemeliharaan bangunan dan peralatan energi masih dimungkinkan
Boros (2,5 – 3,34) kWh/m <sup>2</sup> /bulan	a) Audit energi perlu dilakukan untuk menentukan langkah-langkah perbaikan sehingga pemborosan energi dapat dihindari b) Desain bangunan maupun pemeliharaan dan pengoperasian gedung belum mempertimbangkan konservasi energi
Sangat Boros (3,34 – 4,17) kWh/m <sup>2</sup> /bulan	a) Instalasi peralatan, desain pengoperasian dan pemeliharaan tidak mengacu pada penghematan energi b) Peninjauan ulang atas semua instalasi /peralatan energi serta penerapan manajemen energi dalam pengelolaan bangunan c) Audit energi adalah langkah awal yang perlu dilakukan

Tabel 6. 2 | Kriteria IKE bangunan gedung ber-AC

Kriteria	Keterangan
Sangat Efisien (4,17 – 7,92) kWh/m <sup>2</sup> /bulan	a) Desain gedung sesuai standar tata cara perencanaan teknis konservasi energi b) Pengoperasian peralatan energi dilakukan dengan prinsip-prinsip manajemen energi
Efisien (7,93 – 12,08) kWh/m <sup>2</sup> /bulan	a) Pemeliharaan gedung dan peralatan energi dilakukan sesuai prosedur b) Efisiensi penggunaan energi masih mungkin ditingkatkan melalui penerapan sistem manajemen energi terpadu
Cukup Efisien (12,08 – 14,58) kWh/m <sup>2</sup> /bulan	a) Penggunaan energi cukup efisien melalui pemeliharaan bangunan dan peralatan energi masih memungkinkan b) Pengoperasian dan pemeliharaan gedung belum mempertimbangkan prinsip konservasi energi
Agak Boros (14,58 – 19,17) kWh/m <sup>2</sup> /bulan	a) Audit energi perlu dipertimbangkan untuk menentukan perbaikan efisiensi yang mungkin dilakukan

	b) Desain bangunan maupun pemeliharaan dan pengoperasian gedung belum mempertimbangkan konservasi energi
--	--

c. Karakteristik pemakaian energi

Karakteristik pemakaian energi dibuat berdasarkan tabel pembayaran rekening listrik per bulan, kemudian dibuat grafiknya.

Tabel 6. 3 | Format karakteristik pemakaian energi

No	Bulan	Pemakaian Daya (kW)	Pembayaran (Rp)
1	Januari	.....	.....
2	Februari	.....	.....
dst	.....	.....	.....

d. Audit awal energi sistem tata udara pada bangunan gedung

Kondisi suhu dan kelembaban dalam suatu ruangan sangat mempengaruhi kenyamanan penghuni. Rasa nyaman dapat diperoleh apabila suhu ruangan berkisar antara 24°C - 26°C dan dengan kelembaban udara antara 50 - 70%.

Untuk mencapai kondisi yang diinginkan tersebut maka digunakan peralatan penyejuk udara misalnya kipas angin dan air conditioning (AC). Audit energi system tata udara bertujuan untuk mengetahui kondisi suhu dan kelembaban dalam suatu ruangan dan mengetahui efisiensi penggunaan peralatan penyejuk udara.

Audit awal energi sistem tata udara pada bangunan gedung dianalisa dengan tabel sampel pengukuran sistem tata udara.

e. Audit awal energi sistem pencahayaan pada bangunan gedung

Audit energi sistem pencahayaan bertujuan untuk mengetahui tingkat kuat penerangan dalam suatu ruangan. Tingkat kuat penerangan dalam suatu ruangan harus disesuaikan dengan jenis aktifitas di dalam ruangan tersebut.

Jika aktifitasnya membutuhkan ketelitian yang tinggi, maka tingkat kuat penerangan yang dibutuhkan juga semakin besar.

Selain untuk mengetahui tingkat kuat penerangan dalam suatu ruangan, audit energi sistem pencahayaan juga bertujuan untuk mengetahui efisiensi penggunaan energi untuk sistem pencahayaan dalam suatu ruangan. Kuat penerangan lampu pada suatu ruangan di hitung dengan satuan lux. Audit awal energi sistem pencahayaan pada bangunan gedung dianalisa dengan tabel sampel pengukuran sistem tata udara gedung.

Tabel 6. 4 | Format perhitungan IKE untuk ruang ber-AC

No	Ruang	Konsumsi Energi (kWh/hari)				Luas (m <sup>2</sup> )	IKE kWh/m <sup>2</sup> /bln	IKE kWh/m <sup>2</sup> /thn
		Penerangan	AC	Beban lain	Jumlah			
1								
2								
dst								

Tabel 6. 5 Format perhitungan IKE untuk ruang non-AC

No	Ruang	Konsumsi Energi (kWh/hari)			Luas (m <sup>2</sup> )	IKE kWh/m <sup>2</sup> /bln	IKE kWh/m <sup>2</sup> /thn
		Penerangan	Beban lain	Jumlah			
1							
2							
dst							

## 2. Prosedur Audit Sesuai SNI

Audit energi di sekolah mengacu kepada SNI 6196 Tahun 2011 yang berisi tentang audit energi pada bangunan gedung. Isi dari SNI 6196 Tahun 2011 tentang prosedur audit energi pada bangunan gedung yaitu:

a. Ruang lingkup

Standar ini memuat prosedur audit energi pada bangunan gedung. Standar ini diperuntukkan bagi semua pihak yang berperan dalam pelaksanaan audit energi pada bangunan gedung. Bangunan gedung dalam standar ini mencakup: kantor, hotel, toko/pusat belanja, rumah sakit, apartemen, rumah tinggal, sekolah, bandara, dan pelabuhan.

b. Acuan normatif

SNI 05-3052-1992, Cara uji unit pengkondisian udara.

BOCA, International energy conservation code 2000.

ASHRAE, *Standard 90.1: energy efficiency*.

BOMA, *Standard methode for measuring floor area in office buildings*.

c. Istilah dan definisi

Audit energi yaitu proses evaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna energi dan pengguna sumber energi dalam rangka konservasi energi.

Audit energi singkat (walk through audit) yaitu kegiatan audit energi yang meliputi pengumpulan data historis, data dokumentasi bangunan gedung yang tersedia dan observasi, perhitungan intensitas konsumsi energi (IKE) dan kecenderungannya, potensi penghematan energi dan penyusunan laporan audit.

Audit energi awal (preliminary audit) yaitu kegiatan audit energi yang meliputi pengumpulan data historis, data dokumentasi bangunan gedung yang tersedia, observasi dan pengukuran sesaat, perhitungan IKE dan

kecenderungannya, potensi penghematan energi dan penyusunan laporan audit.

Audit energi rinci (detail audit) yaitu kegiatan audit energi yang dilakukan bila nilai IKE lebih besar dari nilai target yang ditentukan, meliputi pengumpulan data historis, data dokumentasi bangunan gedung yang tersedia, observasi dan pengukuran lengkap, perhitungan IKE dan kecenderungannya, potensi penghematan energi, analisis teknis dan finansial serta penyusunan laporan audit.

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

Konsumsi energi yaitu besarnya energi yang digunakan oleh bangunan gedung dalam periode waktu tertentu dan merupakan perkalian antara daya dan waktu operasi (tWn/bulan atau kWh/tahun).

Intensitas konsumsi energi (IKE) yaitu perbandingan antara konsumsi energi dengan satuan luas bangunan gedung dalam periode tertentu (kWh/m<sup>2</sup>/bulan atau kWh/m<sup>2</sup>/tahun).

Konservasi energi bangunan gedung yaitu upaya sistematis, terencana dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya tanpa mengorbankan tuntutan kenyamanan manusia dan/atau menurunkan kinerja alat.

Pengelolaan energi bangunan gedung yaitu penyelenggaraan kegiatan penyediaan dan pemanfaatan energi serta konservasi energi bangunan gedung.

Bangunan gedung yaitu bangunan yang didirikan dan/atau diletakkan dalam suatu lingkungan sebagian atau seluruhnya pada, di atas, atau di dalam tanah dan/atau perairan secara tetap yang berfungsi sebagai tempat manusia untuk melakukan kegiatan, bertempat tinggal, berusaha, bersosial budaya, dan beraktifitas lainnya.

Peluang konservasi energi (PKE) yaitu peluang yang mungkin bisa diperoleh dalam rangka penghematan energi dengan cara perbaikan dalam pengoperasian dan pemeliharaan, atau melakukan tindakan konservasi energi pada fasilitas energi.

Potret penggunaan energi yaitu gambaran pemanfaatan energi menyeluruh pada bangunan gedung, meliputi: jenis, jumlah penggunaan, peralatan, intensitas, profil beban penggunaan, kinerja peralatan, dan peluang konservasi energi, maupun bagian bangunan gedung dalam periode tertentu.

Target penghematan energi yaitu nilai IKE yang ditetapkan untuk bangunan gedung.

d. Prosedur audit energi

1) Proses audit energi

Proses audit energi dilakukan secara bertahap.

2) Audit energi singkat

a) Persiapan

Persiapan yang dilakukan mencakup:

- Penyiapan dokumen terkait termasuk kuisisioner;
- Penyiapan sumber daya manusia (SDM);
- Penetapan jadwal singkat perencanaan.

b) Pengumpulan data

Data historis terdiri atas:

- Luas total lantai gedung;
- Pembayaran rekening listrik bulanan bangunan gedung selama 1 (satu) sampai 2 (dua) tahun terakhir dan rekening pembelian bahan bakar minyak (BBM), bahan bakar gas (BBG), dan air;
- Beban penghunian bangunan (occupancy rate) selama 1 (satu) sampai 2 (dua) tahun terakhir;
- Daya terpasang;
- Masukan dari observasi visual.
- Berdasarkan observasi langsung dan hasil wawancara singkat dengan operator tentang hal-hal yang berkaitan dengan operasi penggunaan energi obyek yang diteliti maupun kebutuhan energi keseluruhan bangunan gedung.

c) Perhitungan dan analisis data

Perhitungan dilakukan menggunakan data yang tersedia dan diperoleh melalui wawancara dan observasi. Perhitungan profil dan efisiensi penggunaan energi:

- Hitung intensitas konsumsi energi (kWh/m<sup>2</sup>/tahun) dan indeks konsumsi energi;
- Hitung kecenderungan konsumsi energi;
- Hitung persentase potensi penghematan energi;
- Pilihan untuk audit lanjutan (awal atau rinci).

d) Laporan audit energi

Berdasarkan pada seluruh kegiatan pengumpulan dan analisis data yang dilaksanakan, maka laporan audit energi disusun. Laporan audit energi memuat:

- Potret penggunaan energi;
- Rekomendasi yang mencakup langkah konservasi energi yang bisa dilaksanakan serta pilihan untuk melanjutkan audit yang lebih lanjut (awal atau rinci).

### 3. Audit energi awal

#### a. Persiapan

Audit energi awal perlu dilakukan bila audit energi singkat merekomendasikan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut pada seluruh bangunan gedung. Atau secara langsung tanpa melalui audit energi singkat.

Persiapan audit energi yang dilakukan adalah untuk mendapatkan hasil audit yang sesuai dengan lingkup kegiatan yang ditetapkan mencakup:

- 1) Penyiapan dokumen terkait termasuk cek list data;
- 2) Penyiapan SDM yang sesuai bidang listrik dan mekanis;
- 3) Penyiapan alat ukur untuk pengukuran sampling;
- 4) Penetapan jadwal rinci perencanaan.

#### b. Pengumpulan data

##### 1) Data historis

Mencakup dokumentasi bangunan yang sesuai gambar konstruksi terpasang (*as built drawing*), terdiri atas:

- a) Tapak, denah dan potongan bangunan gedung seluruh lantai;
- b) Denah instalasi pencahayaan bangunan seluruh lantai;
- c) Diagram garis tunggal, lengkap dengan penjelasan penggunaan daya listrik dan besarnya penyambungan daya listrik PLN serta besarnya daya listrik cadangan dari set generator;
- d) Pembayaran rekening listrik bulanan bangunan gedung selama satu tahun terakhir dan rekening pembelian bahan bakar minyak (BBM), bahan bakar gas (BBG), dan air;

- e) Beban penghunian bangunan selama 1 (satu) tahun terakhir.
  
- 2) Pengukuran singkat  
Alat ukur yang digunakan adalah yang *portable* dan pengukuran dilakukan secara *sampling* di sejumlah titik pengguna energi utama.
  
- 3) Masukan dari observasi visual  
Dikumpulkan berdasarkan observasi langsung dan hasil wawancara dengan operator tentang hal-hal yang berkaitan dengan kinerja operasi penggunaan energi pada obyek yang diaudit maupun kebutuhan energi total bangunan gedung.
  
- c. Perhitungan dan analisis data  
Perhitungan sederhana untuk profil dan efisiensi penggunaan energi dilakukan dengan menggunakan data yang terkumpul menghasilkan:
  - 1) Intensitas konsumsi energi (kWh/m<sup>2</sup>/tahun) dan indeks konsumsi energi;
  - 2) Simple payback period;
  - 3) Neraca energi sederhana;
  - 4) Persentase peluang penghematan energi;
  - 5) Rekomendasi pilihan dengan urutan prioritas langkah penghematan energi.
  
- d. Pembahasan hasil sementara audit  
Untuk mendapatkan hasil audit yang sesuai dengan kebutuhan dan keinginan dari pemilik gedung maka diskusi dan presentasi harus dilakukan minimal satu kali sebelum laporan akhir.
  
- e. Laporan audit energi

Berdasarkan pada seluruh kegiatan yang dilaksanakan, maka laporan audit energi awal disusun. Laporan audit energi awal harus memuat:

- 1) Potret penggunaan energi;
- 2) Potensi penghematan energi dan biaya pada obyek yang diteliti;
- 3) Rekomendasi spesifik;
- 4) Apabila diperlukan, rekomendasi tindak lanjut ke audit energi rinci.

#### 4. Audit energi rinci

##### a. Persiapan

Audit energi rinci perlu dilakukan bila audit energi singkat/audit energi awal merekomendasikan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut pada seluruh bangunan gedung atau pada obyek khusus/spesifik yang dianggap memiliki potensi penghematan energi besar dan menjanjikan tingkat kelaikan yang cukup menarik. Umumnya nilai IKE yang lebih besar dari nilai *benchmark* atau target yang ditentukan merupakan alasan untuk merekomendasikan kegiatan audit energi rinci. Persiapan audit energi dilakukan adalah untuk mendapatkan hasil audit yang sesuai dengan lingkup kegiatan yang ditetapkan.

Persiapan yang dilakukan mencakup:

- 1) Penyiapan dokumen terkait termasuk daftar periksa data audit;
- 2) Penyiapan SDM yang sesuai bidang listrik dan mekanis serta arsitektur;
- 3) Penyiapan alat ukur untuk pengukuran detail yang dilakukan secara periodik;
- 4) Penetapan jadwal rinci perencanaan.

##### b. Pengumpulan data

###### 1) Data historis

Mencakup dokumentasi bangunan yang sesuai gambar konstruksi terpasang, terdiri atas:

- a) Tapak, denah dan potongan bangunan gedung seluruh lantai;
  - b) Denah instalasi pencahayaan bangunan seluruh lantai;
  - c) Diagram garis tunggal, lengkap dengan penjelasan penggunaan daya listrik dan besarnya penyambungan daya listrik PLN serta besarnya daya listrik cadangan dari set generator;
  - d) Pembayaran rekening listrik bulanan bangunan gedung selama satu tahun terakhir dan rekening pembelian bahan bakar minyak (BBM), bahan bakar gas (BBG), dan air;
  - e) Beban penghunian bangunan selama 1 (satu) tahun terakhir.
- 2) Pengukuran langsung
- Alat ukur terkalibrasi yang digunakan dapat berupa alat ukur magun (*fixed*) pada instalasi atau alat ukur *portabel*. Pengukuran langsung pada peralatan utama mencakup:
- a) Paramater operasi;
  - b) Profil (jam, harian);
  - c) Kinerja alat.
- 3) Masukan dari pengamatan
- Dikumpulkan berdasarkan observasi langsung dan hasil wawancara mendalam dengan operator tentang hal-hal yang berkaitan dengan kinerja operasi penggunaan energi obyek yang diteliti maupun kebutuhan energi keseluruhan bangunan gedung.
- c. Perhitungan dan analisis data
- Berdasarkan data, pembuatan profil penggunaan energi, perhitungan neraca energi, analisis data teknis maupun finansial secara mendalam dapat dilakukan. Analisis data energi dapat dilakukan dengan penggunaan program komputer yang telah direncanakan untuk kepentingan itu dan diakui oleh masyarakat profesi.

- 1) Perhitungan profil dan efisiensi penggunaan energi:
  - a) Hitung rincian penggunaan energi pada obyek yang diteliti;
  - b) Hitung Intensitas konsumsi energi ( $\text{kWh/m}^2/\text{tahun}$ ) dan Indeks konsumsi energi;
  - c) Hitung kinerja operasi aktual(rata-rata, maksimum dan minimum).
  
- 2) Analisis Data
  - a) Gambarkan grafik kecenderungan konsumsi energi atau energi spesifik dengan parameter operasi, jam, harian, mingguan atau bulanan;
  - b) Lihat korelasi antara intensitas energi atau konsumsi energi dengan parameter operasi;
  - c) Tentukan parameter operasi yang dominan terhadap konsumsi energi maupun intensitas energi dari obyek yang diteliti;
  - d) Lihat kemungkinan perbaikan kinerja dan efisiensi penggunaan energi;
  - e) Hitung peluang penghematan energi jika perbaikan kinerja tersebut dilakukan;
    - Apabila peluang hemat energi telah diidentifikasi, selanjutnya perlu ditindak lanjuti dengan analisis peluang hemat energi, yaitu dengan cara membandingkan potensi perolehan hemat energi dengan biaya yang harus dibayar untuk pelaksanaan rencana penghematan energi yang direkomendasikan;

- Analisis peluang hemat energi dapat juga dilakukan dengan penggunaan program komputer yang telah direncanakan untuk kepentingan itu dan diakui oleh masyarakat profesi;
- Penghematan energi pada bangunan gedung harus tetap memperhatikan kenyamanan penghuni. Analisis peluang hemat energi dilakukan dengan usaha antara lain: menekan penggunaan energi hingga sekecil mungkin (mengurangi daya terpasang/terpakai dan jam operasi); memperbaiki kinerja peralatan; menggunakan sumber energi yang murah.

### 3) Analisis finansial hemat energi

- a) Hitung biaya yang diperlukan untuk implementasi perbaikan dimaksud;
- b) Lakukan analisis finansial untuk setiap peluang penghematan energi yang ada;
- c) Lakukan analisis sensitifitas penghematan energi yang menjanjikan penghematan besar dengan tingkat kelaikan yang cukup menarik;
- d) Rekomendasikan pilihan dengan urutan prioritas langkah penghematan energi.

#### d. Pembahasan hasil sementara audit

Untuk mendapatkan hasil audit yang sesuai dengan kebutuhan dan keinginan dari pemilik gedung maka diskusi dan presentasi harus dilakukan minimal satu kali sebelum laporan akhir final.

#### e. Laporan audit energi

Berdasarkan pada seluruh kegiatan yang dilaksanakan, maka laporan audit energi rinci disusun. Laporan audit energi rinci harus memuat:

- 1) Potret penggunaan energi;
- 2) Kinerja operasi aktual pengguna energi untuk berbagai kondisi dan beban;
- 3) Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja operasi;
- 4) Potensi penghematan energi dan biaya pada obyek yang diteliti;
- 5) Kajian teknis dan finansial penghematan energi;
- 6) Rekomendasi spesifik dan saran tindak lanjut.

Laporan audit energi terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut:

- 1) Ringkasan eksekutif;
- 2) Latar belakang;
- 3) Pelaksanaan audit energi;
- 4) Potret penggunaan energi;
- 5) Pengelolaan energi;
- 6) Analisis;
- 7) Peluang-peluang penghematan energi;
- 8) Rekomendasi.

f. Rekomendasi

Rekomendasi yang dibuat mencakup masalah:

- 1) Pengelolaan energi termasuk program manajemen yang perlu diperbaiki, implementasi audit energi yang lebih baik, dan cara meningkatkan kesadaran penghematan energi;
- 2) Pemanfaatan energi, termasuk langkah-langkah :
  - a) Peningkatan efisiensi penggunaan energi tanpa biaya, misalnya mengubah prosedur;
  - b) Perbaikan dengan investasi kecil;
  - c) Perbaikan dengan investasi besar.

## 5. Pengenalan Program LEAP

*LEAP* adalah singkatan dari *Long-range Energy Alternatives Planning system*. *LEAP* adalah suatu *software* komputer yang dapat digunakan untuk melakukan analisa dan evaluasi kebijakan dan perencanaan energi.

*LEAP* dikembangkan oleh *Stockholm Environment Institute*, yang berkantor pusat di boston, amerika serikat. Versi pertama *LEAP* diluncurkan tahun 1981. Versi *LEAP* terakhir adalah *LEAP 2006*, yang merupakan pengembangan dari *LEAP 2000*. Mulai *LEAP 2000*, *software LEAP* telah berbasis *windows*.

Dalam *software LEAP* disediakan 4 (empat) modul utama dan 3 (tiga) modul tambahan. Modul utama adalah modul-modul standar yang umum digunakan dalam pemodelan energi, yaitu: *key assumptions*, *demand*, *transformation*, dan *resources*. Modul tambahan adalah pelengkap terhadap modul utama jika diperlukan, yaitu: *statistical differences*, *stock changes*, dan *non energy sector effects*.

### a. Terminologi Umum Dalam *LEAP*

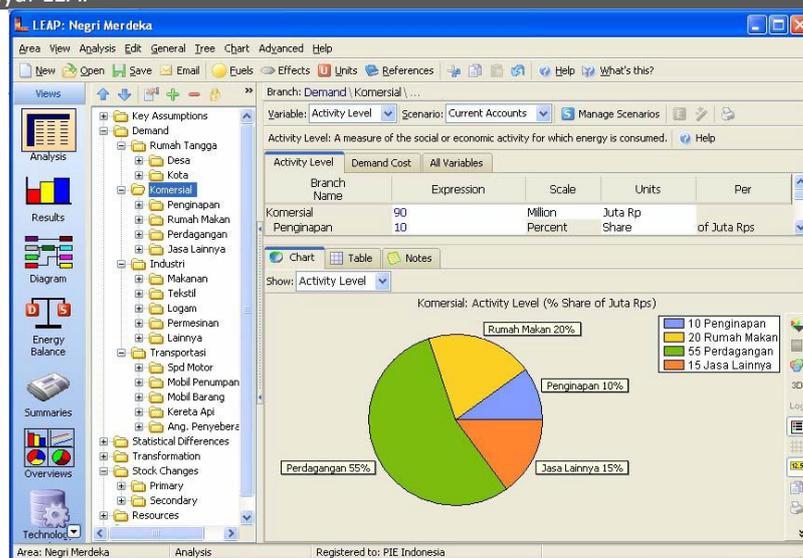
- 1) *Area*: sistem yang sedang dikaji (contoh: negara atau wilayah).
- 2) *Current accounts*: data yang menggambarkan tahun dasar (tahun awal) dari jangka waktu kajian.
- 3) *Scenario*: sekumpulan asumsi mengenai kondisi masa depan.
- 4) *Tree*: diagram yang merepresentasikan struktur model yang disusun seperti tampilan dalam *windows explorer*. *Tree* terdiri atas beberapa *branch*.
- 5) *Branch*: cabang atau bagian dari *tree*, *branch* utama ada empat, yaitu *key assumptions*, *demand*, *transformation*, dan *resources*. Masing-masing *branch* utama dapat dibagi lagi menjadi beberapa *branch* tambahan (anak cabang).

- 6) *Expression*: formula matematis untuk menghitung perubahan nilai suatu variabel. *Expression* akan muncul pada saat membuat suatu skenario.
- 7) *Saturation*: perilaku suatu variabel yang digambarkan mencapai suatu kejenuhan tertentu. Persentase kejenuhan adalah  $0\% \leq X \leq 100\%$ . Nilai dari total persen dalam suatu *branch* dengan *saturation* tidak perlu berjumlah 100% (sebagai contoh: % *saturation* dari rumah tangga yang menggunakan lemari es).
- 8) *Share*: perilaku suatu variabel yang digambarkan mencapai suatu kejenuhan 100%. Nilai dari total persen dalam suatu *branch* dengan *share* harus berjumlah 100 %.

#### b. Menu-Menu LEAP

LEAP 2006 adalah *software* berbasis *windows*. Pada saat pertama kali menjalankan *software* LEAP, akan diminta untuk melakukan registrasi. Apabila tidak melakukan registrasi, *software* LEAP tetap dapat digunakan, tetapi tidak dapat menyimpan. Cara registrasi disampaikan di bagian lain. Selanjutnya akan muncul layar LEAP, seperti yang ditampilkan pada Gambar 6.2.

Gambar 6.2 | Layar LEAP



Layar *LEAP* terdiri atas beberapa bagian, yaitu:

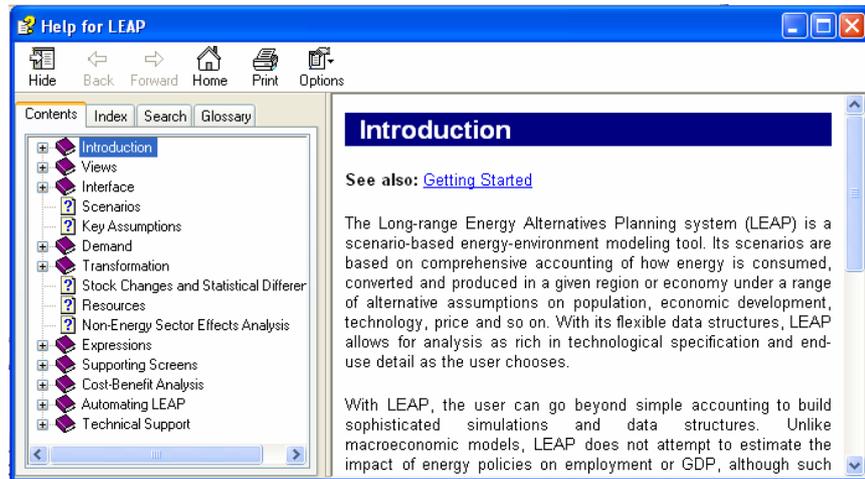
- 1) Baris teratas terdapat tulisan *LEAP* dan nama *file* yang sedang dibuka.
- 2) Baris kedua adalah menu-menu utama (*main menu*): *area, view, analysis, edit, general, tree, chart, advanced, dan help*.
- 3) Baris ketiga adalah *main toolbar* : *new, open, save, email, fuels, effects, units, references, dsb*.
- 4) *View bar* adalah menu vertikal di sisi kiri layar, yang terdiri atas: *analysis, result, diagram, energy balance, summaries, overviews, technology database, dan notes*.
- 5) Kolom di sebelah *view bar* adalah tempat untuk menuliskan diagram pohon (*tree*). Pada baris paling atas dari kolom ini terdapat *toolbar* untuk membuat/mengedit *tree*.
- 6) Kolom berikutnya terdiri atas tiga bagian, yaitu:
  - a) *Toolbar* untuk membuat/mengedit *scenario*.
  - b) Bagian untuk menginput data.
  - c) Tampilan input data.
- 7) Baris terbawah adalah *status bar*, yang berisi: nama *file* yang sedang dibuka, *view* yang sedang dibuka, dan status registrasi.

Tampilan dalam kolom kedua dan ketiga akan berubah sesuai *view* yang dipilih. Sebagai contoh, pada Gambar di atas sedang dibuka *view Analysis*.

### **c. Tutorial Dan Help**

Di dalam *software LEAP* disediakan menu tutorial dan menu *help* (di dalam *menu help*), sehingga pengguna *LEAP* dapat dengan mudah mempelajari sendiri *software LEAP*. Tutorial dan *help* disusun berdasarkan kata-kata kunci, yang dapat di-*search* dengan menuliskan kata kuncinya. Tampilan tutorial dan *help* ditunjukkan pada Gambar 6.3.

Gambar 6.3 | Tutorial dan *help*



d. **View Bar**

*LEAP* mempunyai delapan *view bar*, yang tersusun secara vertikal pada kolom paling kiri dari layar *LEAP*. Masing-masing *icon view bar* dapat di-klik untuk menampilkan *view* yang dimaksud. Pada beberapa *icon view*, diperlukan waktu beberapa saat untuk melakukan perhitungan sebelum *view* ditampilkan. Pada Gambar 6.4. ditampilkan *view bar*:

Gambar 6. 4 | View bar



*Analysis view* : untuk membuat/mengedit diagram pohon (*tree*), mengisikan data, dan membuat skenario.

*Result view* : untuk mensimulasikan model dan menampilkan hasil simulasi dari berbagai skenario. Tampilan hasil berupa grafik dan tabel.

*Diagram view* : untuk menampilkan diagram rangkaian alur pemasokan energi (dalam bentuk *reference energy system*).

*Energy balance view* : untuk menampilkan hasil simulasi dalam bentuk tabel dan grafik neraca energi.

*Summaries view* : untuk menyusun dan menampilkan variabel-variabel tertentu untuk ditampilkan dalam suatu tabel.

*Overviews view* : untuk menyusun dan menampilkan grafik-grafik tertentu untuk keperluan presentasi.

*Technology and environmental database view* : untuk menampilkan informasi mengenai *supply demand* energi, teknologi energi dan lingkungan.

*Notes view* : untuk mendokumentasikan penjelasan model, sehingga pengguna model dapat memahami apa yang dimaksud penyusun model.

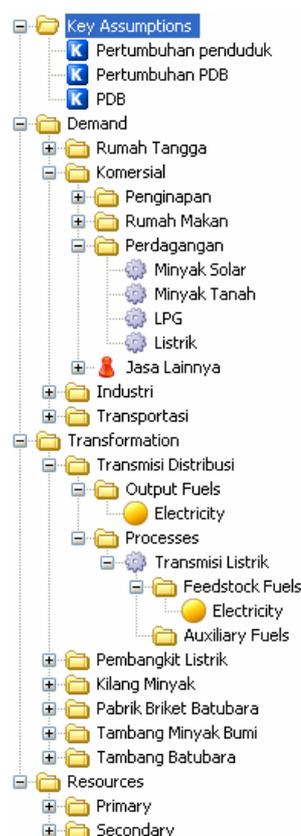
**e. Tree**

*Tree* adalah diagram yang merepresentasikan struktur model yang disusun seperti tampilan dalam *windows explorer*. *Tree* terdiri atas beberapa *branch* (cabang). Terdapat empat *branch* utama, yaitu *key assumptions*, *demand*, *transformation*, dan *resources*. Masing-masing *branch* utama dapat dibagi lagi menjadi beberapa *branch* tambahan (anak cabang).

**K** adalah *key assumptions branch*, yaitu variabel bebas yang diletakkan dalam *branch key assumptions*, yang digunakan sebagai input bagi modul *demand* maupun modul transformasi.

- 📁 adalah *category branch*, yaitu cabang untuk pengelompokan data: pada modul *demand* (pengelompokan aktivitas pemakaian energi), pada modul transformasi (pengelompokan kegiatan konversi energi).
- ⚙️ adalah *technology branch*, yaitu jenis teknologi dalam masing-masing *branch*. Pada modul *demand* (teknologi pemakaian energi yang berhubungan dengan jenis energi yang digunakan), Pada modul transformasi (menunjukkan jenis proses, energi input dan energi output dari proses).
- 📌 adalah *category branch* gabungan, yang tidak mempunyai *branch* lagi.
- 🟡 adalah *fuel branch*, yang merupakan input dan output energi dalam modul transformasi.

Gambar 6.5 | Tree dan branch



**f. Ekspresi-Ekspresi dalam LEAP**

Ekspresi adalah formula atau rumus perhitungan untuk melakukan proyeksi suatu variabel. Di dalam *LEAP* disediakan berbagai ekspresi. Masing-masing variabel dapat mempunyai ekspresi yang berbeda.

Di dalam *LEAP* 1995 hanya ada tiga ekspresi, yaitu: *growth rate*, *end year value*, dan *interpolate*. Dalam *LEAP* 2006, selain ketiga ekspresi baku tersebut, disediakan pilihan untuk menyusun ekspresi sendiri, seperti dalam: *time series wizard* dan *expression builder*. Selain itu, dapat juga menggunakan (meng-import) data dari *spreadsheet excell*.

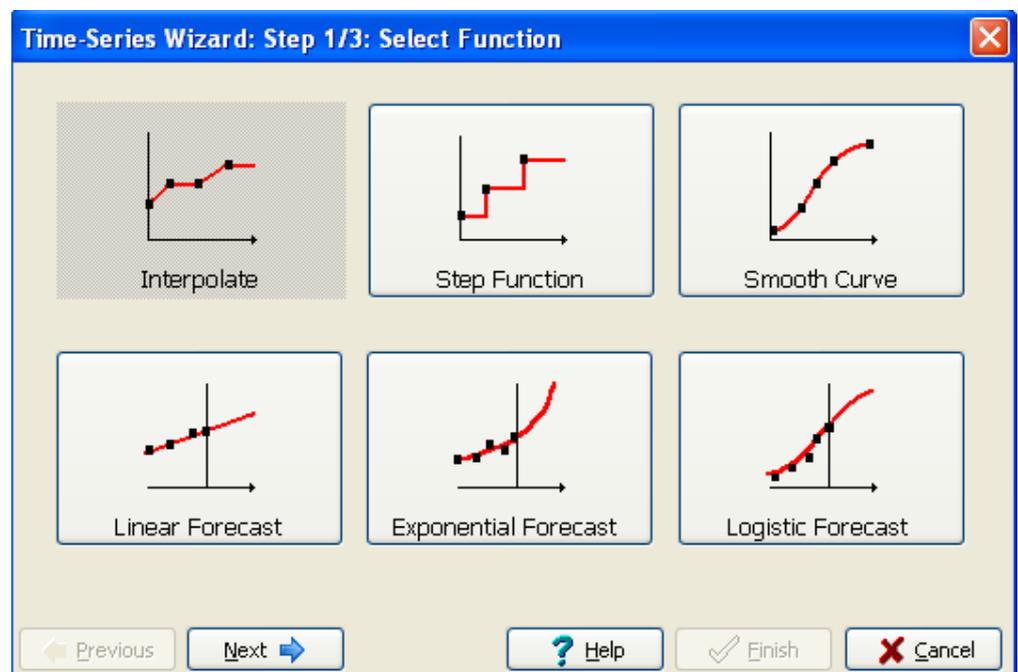
Dalam bahasan selanjutnya dijelaskan ekspresi-ekspresi tersebut lebih mendalam. Gambar 6.6 memperlihatkan pilihan-pilihan ekspresi, tampilan ini muncul pada saat suatu parameter di-klik sewaktu tampilan “*scenario*” dibuka.

Gambar 6. 6 | Pilihan ekspresi

	Refresh	F9
	Reset to Inherited	Del
<hr/>		
	Growth Rate	Ctrl+G
	End Year Value	Ctrl+E
	Interpolate	Ctrl+I
<hr/>		
	Time Series Wizard	Ctrl+T
	Expression Builder	Ctrl+B
<hr/>		
Expression elaboration		

Ekspresi *growth rate* adalah dengan memberikan persen angka pertumbuhan terhadap parameter *current account*. Ekspresi *end year value* adalah memberikan parameter akhir simulasi dari suatu variabel, dan *LEAP* akan menginterpolasi linier terhadap parameter *current account*-nya. Ekspresi *Interpolation* adalah menentukan titik-titik perubahan parameter dari suatu variabel. Titik-titik perubahan terdiri atas dua atau lebih. Antara titik-titik tersebut, *LEAP* akan membuat interpolasi linier.

Gambar 6. 7 | Time series wizard step 1

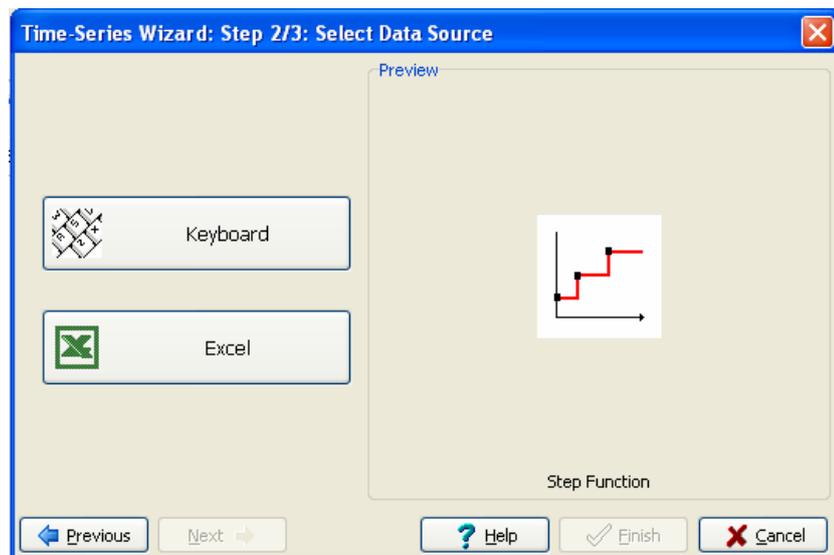


*Time series wizard* terdiri atas enam bentuk kurva, yaitu: interpolasi, grafik tangga (*step function*), grafik *smooth* (penghalusan dari ekspresi interpolasi), grafik fungsi linier, grafik fungsi eksponensial, dan grafik fungsi logistik (kurva S).

*Time series wizard* terdiri atas tiga langkah. Langkah pertama adalah memilih bentuk grafik, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.7. Langkah kedua adalah memilih apakah mengisikan data atau menggunakan/mengimpor data dari

spreadsheet excell. Langkah ketiga adalah mengisi data. Apabila menggunakan data dari excell, maka harus diisikan nama file dan alamat cell yang akan di-import.

Gambar 6. 8 | Time series wizard step 2



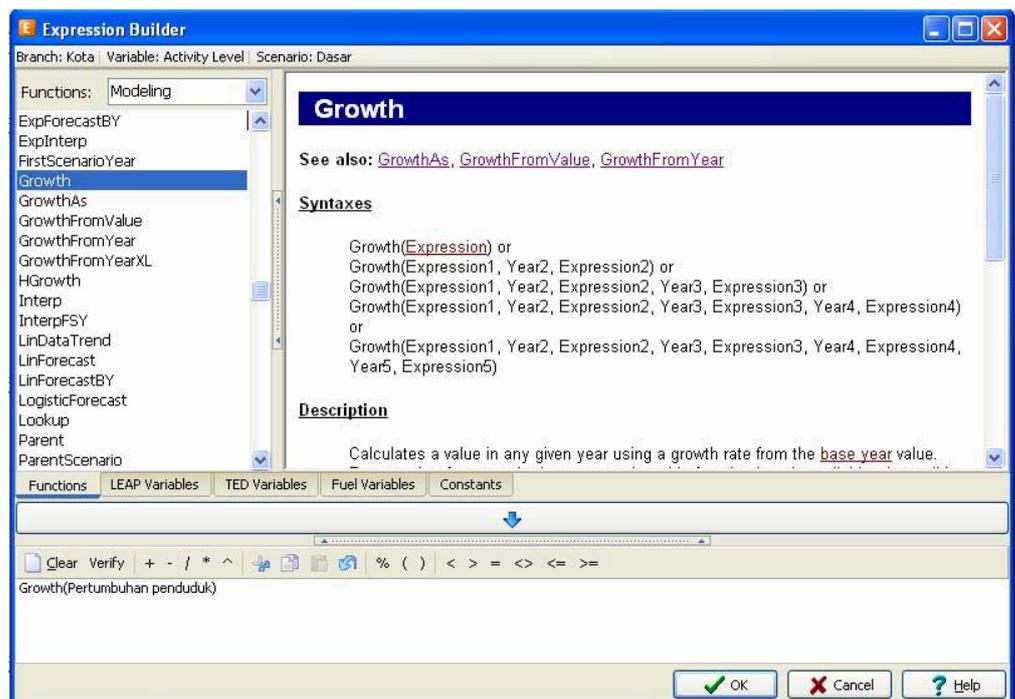
Gambar 6. 9 | Time series wizard step 3



*Expression builder* digunakan untuk membuat ekspresi sendiri seperti yang dikehendaki pembuat model. Dengan *expression builder* ini, pemodel mempunyai keleluasaan membuat ekspresi sendiri, serta membuat suatu hubungan (korelasi) antar variable model.

Di dalam *expression builder* juga disediakan beberapa ekspresi (*built in function*), yang terdiri atas ekspresi *modeling*, ekspresi matematika, dan ekspresi logika. Dalam tampilan *expression builder* tercantum juga *syntax* (cara penulisan) dan penjelasan dari masing-masing *built in function*. Hubungan dengan variable lain (khususnya *key assumptions*), dapat diketik langsung atau pun melalui tombol *LEAP variables*.

Gambar 6. 10 | *Expression builder*

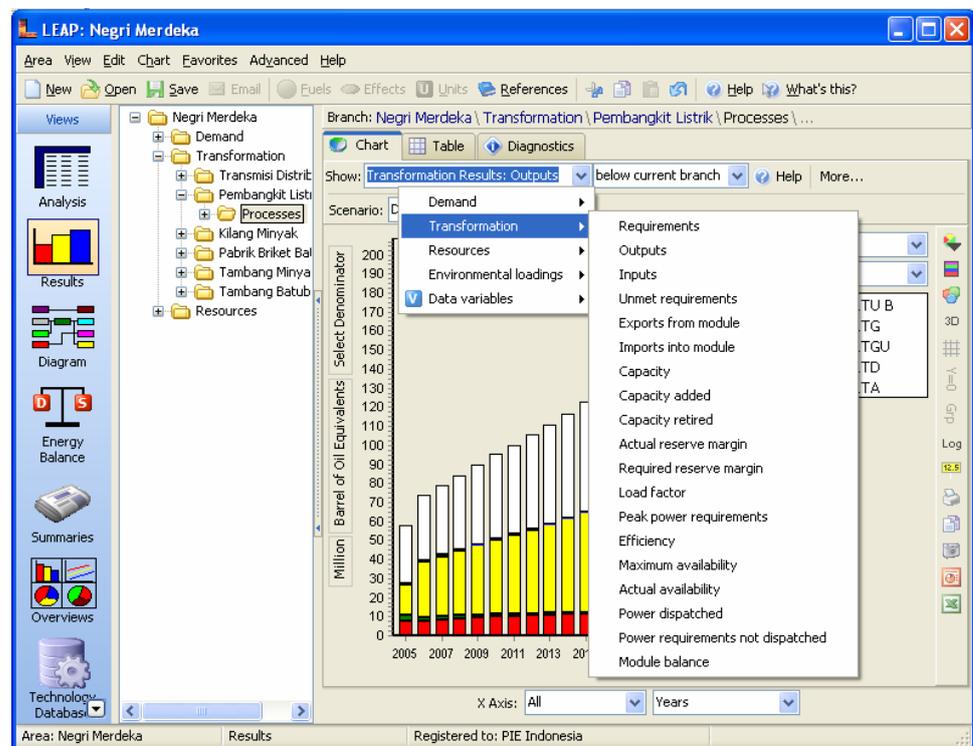


**g. Simulasi dan Melihat Hasil**

Simulasi model adalah menjalankan model (*running model*), atau memerintahkan *LEAP* melakukan perhitungan terhadap model sepanjang

jangka waktu yang ditentukan dalam model. Simulasi model dilakukan dengan mengaktifkan *view Result*. Setiap *view result* diaktifkan, maka *LEAP* akan melakukan perhitungan terhadap model. Simulasi akan berhasil apabila semua syarat-syarat telah dipenuhi, khususnya apabila parameter *current account* dan skenario (minimal satu skenario) telah lengkap diisikan.

Gambar 6. 11 | *View result*

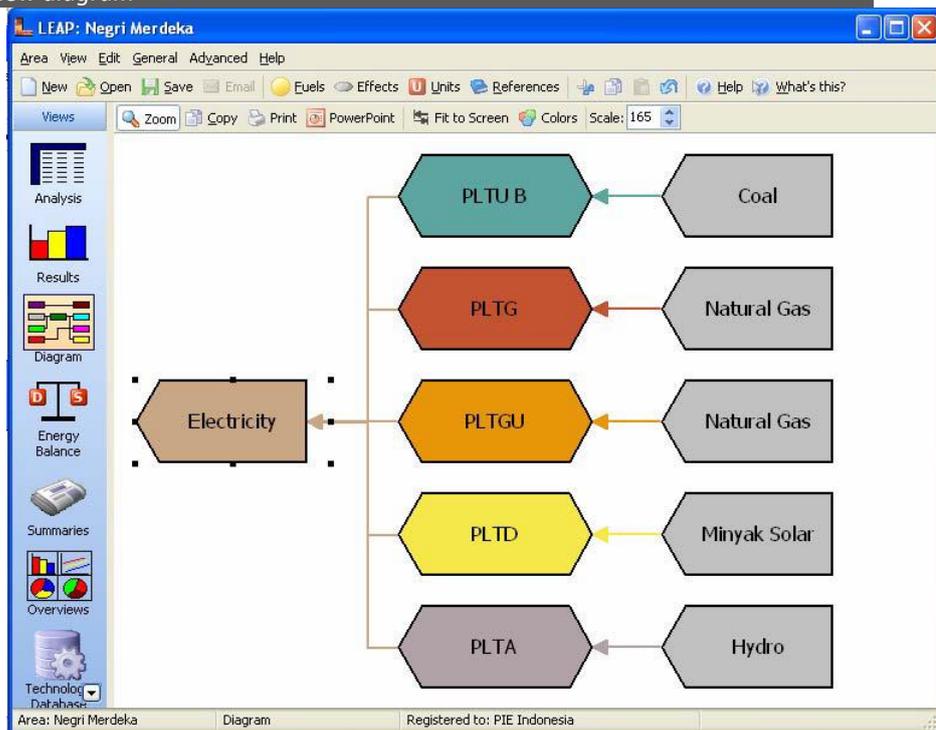


Proses perhitungan selama simulasi memerlukan waktu selama beberapa menit. Kemajuan proses perhitungan diperlihatkan di monitor. Apabila terjadi kesalahan dalam penulisan model, perhitungan akan berhenti dan pesan kesalahan akan ditunjukkan. Perbaikan model dapat dilakukan dengan merujuk pesan kesalahan yang ditampilkan.

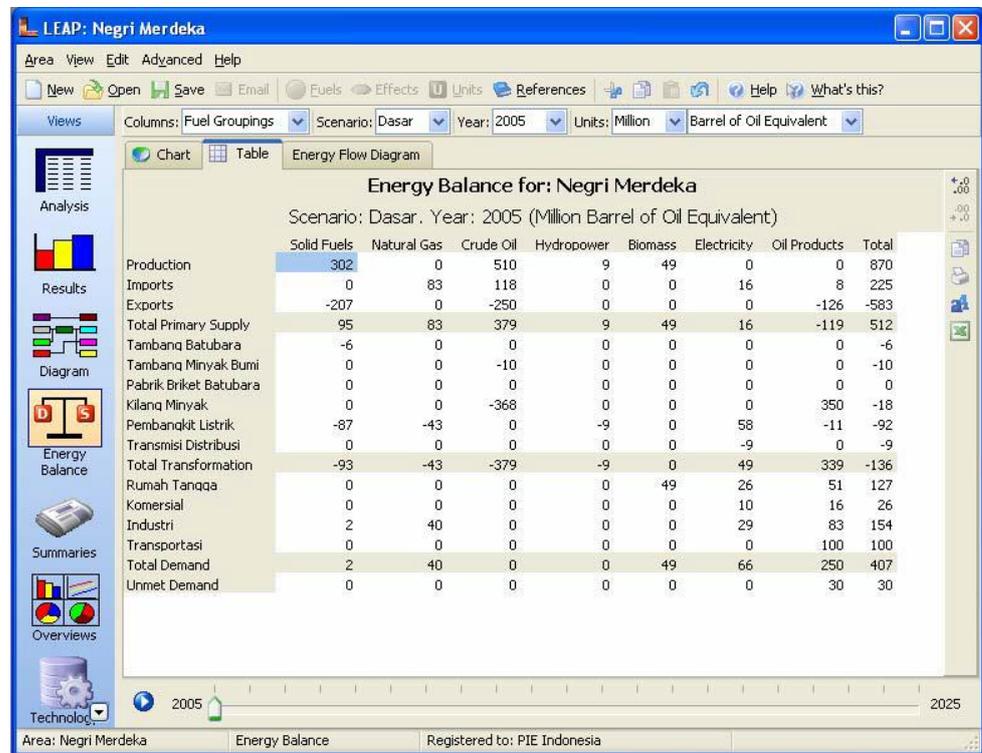
Setelah selesai perhitungan, maka muncul grafik hasil perhitungan. Terdapat bermacam-macam pilihan tampilan hasil, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.11. Pilihan tampilan meliputi: kategori hasil, jenis bahan bakar, dan jenis skenario.

Tampilan hasil dapat berupa grafik atau tabel. Grafik dan tabel hasil dapat di-export ke *powerpoint* atau *excell*. Hasil perhitungan dapat juga dilihat dengan menggunakan *view diagram*. Hasil perhitungan yang dilihat melalui *view* ini adalah diagram RES (*reference energy system*) dari model. Pada Gambar 6.12 diperlihatkan contoh *view diagram*. Diagram RES ini juga dapat di-export ke *powerpoint*.

Gambar 6. 12 | *View diagram*



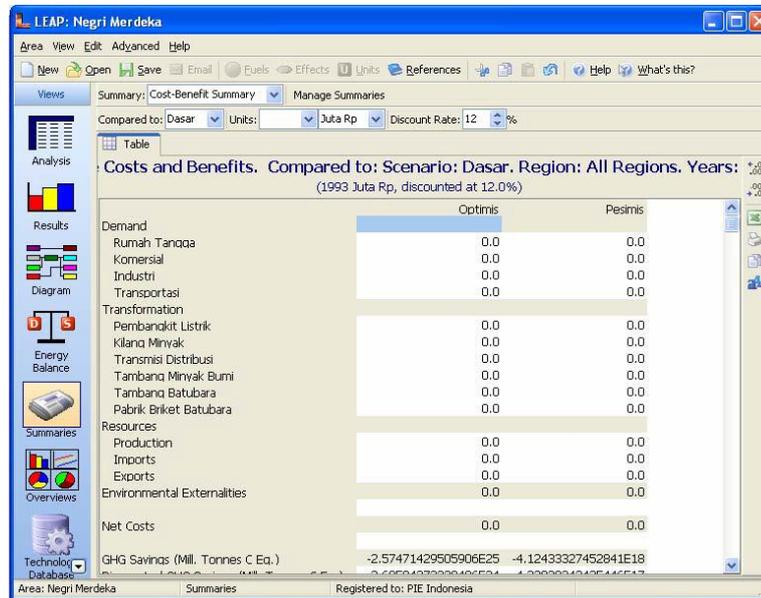
Gambar 6. 13 | View Energy balance



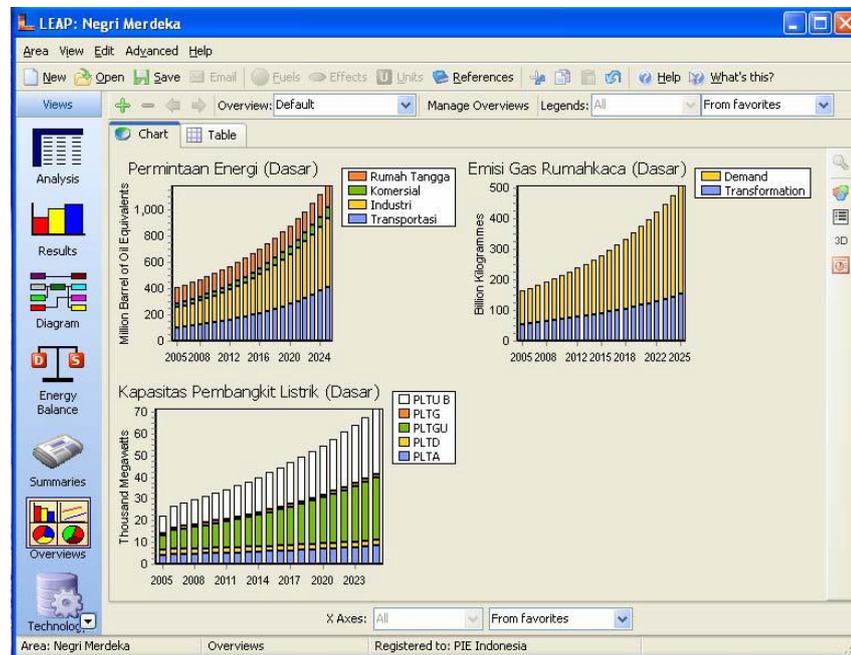
Tampilan hasil lainnya adalah *view energy balance*, *summaries*, dan *overviews*. *View energy balance* adalah untuk menampilkan *energy balance* dari model, dalam bentuk grafik atau tabel. *View energy balance*, seperti halnya *view diagram*, merupakan *default* dari *LEAP* (muncul dengan sendirinya tanpa di-set). Tampilan *view* ini dapat di-export ke *powerpoint* ataupun *excell*. *View energy balance* diperlihatkan pada Gambar 6.13. *View summaries* dan *overviews* adalah untuk menampilkan tabel-tabel atau gambar-gambar tertentu dari hasil perhitungan.

Kedua *view* ini dapat digunakan untuk menonjolkan hasil-hasil perhitungan tertentu, sehingga dapat lebih mudah dimengerti oleh pembaca model. Kedua *view* ini dapat di-set untuk menampilkan hasil yang dimaksud. Contoh *view summaries* dan *overviews* diperlihatkan pada Gambar 6.14 dan 6.15.

Gambar 6. 14 | View summaries



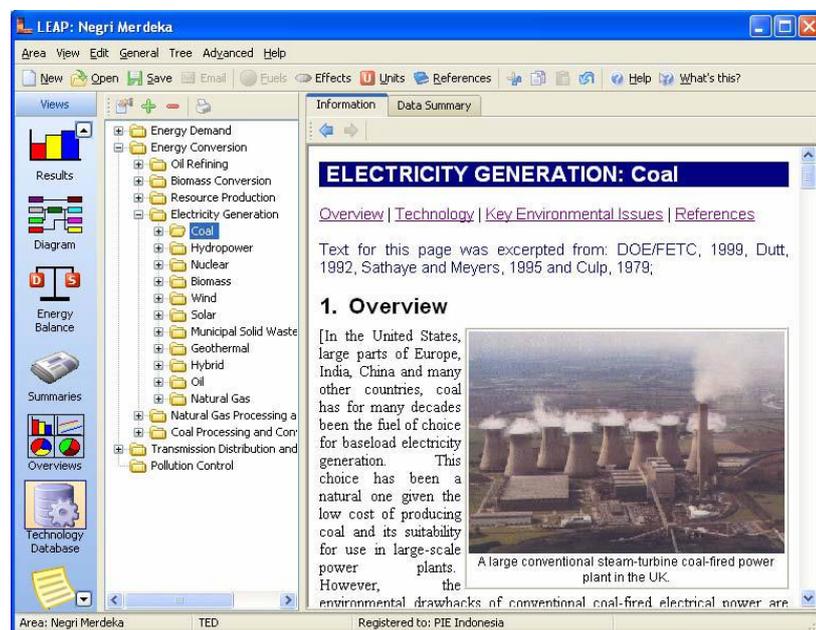
Gambar 6. 15 | View overviews



## h. Kliping Informasi Teknologi dan Lingkungan

Di dalam *LEAP* disediakan kliping informasi mengenai teknologi energi dan efeknya terhadap lingkungan. Kliping ini dapat dilihat dalam *view TED* (*technology and environmental database*). Informasi yang diperlukan dapat dilihat dengan meng-klik *tree* yang bersesuaian. Pada Gambar 6.16 diperlihatkan informasi untuk pembangkit listrik berbahan bakar batubara (pada *tree* sedang disorot *electricity generation: coal*).

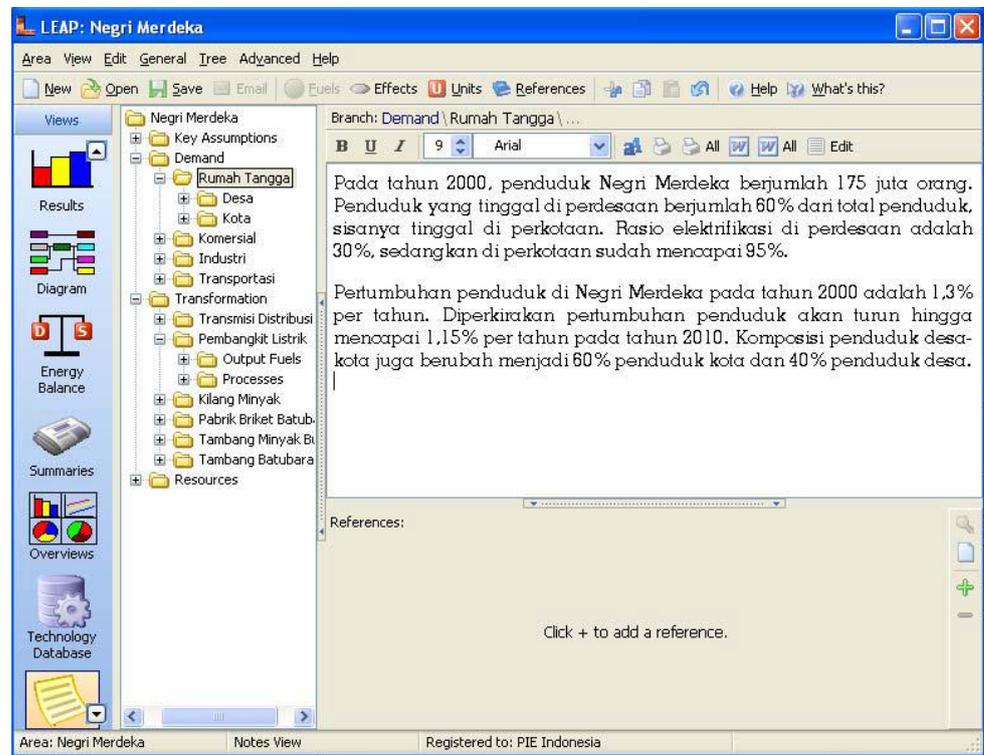
Gambar 6.16 | Database teknologi dan lingkungan



## i. Dokumentasi Model

Dokumentasi model adalah penjelasan-penjelasan terhadap parameter-parameter model. Penjelasan dapat berupa asumsi-asumsi perhitungan suatu parameter, sumber data, dan sebagainya. Dokumentasi model akan memudahkan pemodel untuk mengkaji ulang model. Selain itu akan memudahkan bagi pembaca model untuk memahami model. Dokumentasi model dapat dituliskan dan dilihat pada *view note*, seperti terlihat pada Gambar 6.17.

Gambar 6. 17 | Dokumentasi model



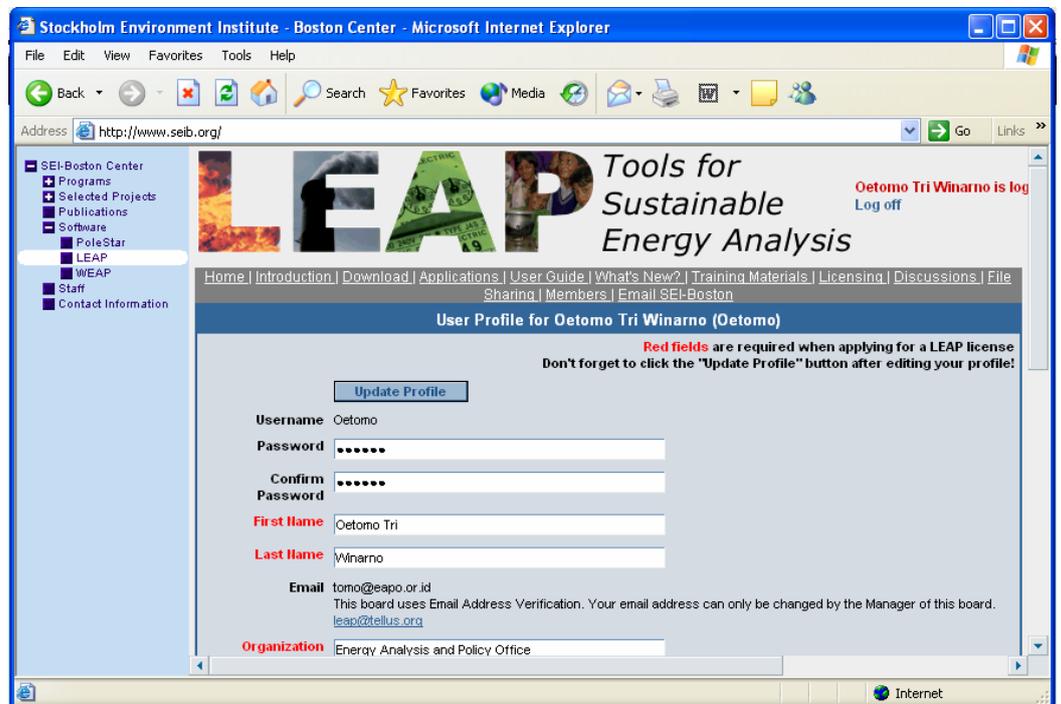
j. **Download dan Registrasi LEAP**

*Software LEAP* dapat diperoleh dengan men-*download* dari internet, yaitu dengan membuka <http://www.seib.org>.

*Software LEAP* dapat di-*download* secara cuma-cuma, khususnya untuk lembaga pemerintah, lembaga pendidikan, lembaga penelitian, dan lembaga non profit lainnya di Indonesia (negara berkembang).

Untuk menjalankan *software LEAP* secara penuh, diperlukan registrasi. Registrasi *LEAP* dilakukan dengan mengirimkan surat permintaan melalui email ke alamat [leap@tellus.org](mailto:leap@tellus.org) atau melalui fax/surat ke : Stockholm Environment Institute, 11 Arlington Street, Boston, MA, 02116 USA, Fax (617) 266-8303. *User name* dan *password* untuk registrasi *LEAP* akan dikirimkan melalui *email* selang beberapa hari.

Gambar 6. 18 | Registrasi LEAP



k. **Hardware dan Software Pendukung**

Untuk menjalankan *software* LEAP dengan baik, diperlukan komputer dengan spesifikasi minimal: Pentium 400 Mhz atau yang setara, RAM 64 MB, *software* yang diperlukan (*window 98* atau yang lebih baru atau *microsoft office 2000* atau yang lebih baru).

**D. Aktifitas 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 konversi energi dan efisiensi 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!

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

## **E. Rangkuman**

1. Audit energi adalah proses evaluasi pemanfaat energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna sumber energi dan pengguna energi dalam rangka konservasi energi.
2. Audit energi dilaksanakan sekurang-kurangnya pada proses dan pengguna energi utama secara berkala paling sedikit satu kali dalam tiga tahun.
3. Proses audit dapat dilakukan oleh auditor internal maupun eksternal, namun auditor-auditor tersebut wajib memiliki sertifikat kompetensi sesuai dengan peraturan perundang-undangan.
4. Audit energi pada bangunan gedung adalah teknik yang dipakai untuk menghitung besarnya konsumsi energi pada bangunan gedung dan mengenali cara-cara untuk penghematannya.
5. Manfaat dari audit antara lain: mengetahui besarnya intensitas konsumsi energi (IKE) listrik, mencegah pemborosan tanpa mengurangi kenyamanan penghuni gedung, mengetahui profil penggunaan energi listrik, meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik, memberikan masukan kepada sekolah tentang peluang

penghematan energi yang dapat dilakukan pada gedung dalam rangka konservasi energi listrik.

## F. Tes Formatif

Pilihlah jawaban yang paling tepat dari soal-soal di bawah ini:

1. Disebut apakah kegiatan audit energi yang meliputi pengumpulan data historis, data dokumentasi bangunan gedung yang tersedia dan observasi, perhitungan intensitas konsumsi energi (IKE) dan kecenderungannya, potensi penghematan energi dan penyusunan laporan audit....
  - a. Audit energi singkat
  - b. Audit energi awal
  - c. Audit energi rinci
  - d. Manajemen energi
  
2. Kegiatan audit energi apakah yang meliputi pengumpulan data historis, data dokumentasi bangunan gedung yang tersedia, observasi dan pengukuran sesaat, perhitungan IKE dan kecenderungannya, potensi penghematan energi dan penyusunan laporan audit....
  - a. Audit energi singkat
  - b. Audit energi awal
  - c. Audit energi rinci
  - d. Manajemen energi
  
3. Kegiatan audit energi apakah yang dilakukan bila nilai IKE lebih besar dari nilai target yang ditentukan, meliputi pengumpulan data historis, data dokumentasi bangunan gedung yang tersedia, observasi dan pengukuran lengkap, perhitungan IKE dan kecenderungannya, potensi penghematan energi, analisis teknis dan finansial serta penyusunan laporan audit....
  - a. Audit energi singkat
  - b. Audit energi awal
  - c. Audit energi rinci
  - d. Manajemen energi
  
4. Disebut apakah kemampuan untuk melakukan kerja yang dapat berupa panas, cahaya, mekanika, kimia, dan elektromagnetika....

- a. Energi  
b. unjuk kerja
- b. satuan energi  
d. Daya
5. Besarnya energi yang digunakan oleh bangunan gedung dalam periode waktu tertentu dan merupakan perkalian antara daya dan waktu operasi ( $tWn$ /bulan atau kWh/tahun) merupakan pengertian dari....
- a. Intensitas konsumsi energi  
c. Manajemen energi
- b. Konsumsi energi  
d. Efisiensi energi
6. Disebut apakah perbandingan antara konsumsi energi dengan satuan luas bangunan gedung dalam periode tertentu ( $kWh/m^2$  per bulan atau  $kWh/m^2$  per tahun)....
- a. Intensitas konsumsi energi  
c. Manajemen energi
- b. Konsumsi energi  
d. Efisiensi energi
7. Merupakan pengertian dari apakah upaya sistematis, terencana dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya tanpa mengorbankan tuntutan kenyamanan manusia dan/atau menurunkan kinerja alat....
- a. Penghematan energi  
c. Konservasi energi bangunan gedung
- b. Konservasi energi  
d. Diversifikasi energi
8. Definisi dari apakah penyelenggaraan kegiatan penyediaan dan pemanfaatan energi serta konservasi energi bangunan gedung....
- a. Penghematan energi  
c. Konservasi energi bangunan gedung
- b. Konservasi energi  
d. Pengelolaan energi

9. Pengertian dari apakah bangunan yang didirikan dan/atau diletakkan dalam suatu lingkungan sebagian atau seluruhnya pada, diatas, atau didalam tanah dan/atau perairan seJara iltap yang berfungsi sebagai tempat manusia untuk melakukan kegiatan, bertempat tinggal, berusaha, bersosial budaya, dan beraktifitas lainnya....
- a. Bangunan sipil
  - b. Bangunan air
  - c. Bangunan gedung
  - d. Konstruksi bangunan
10. Pengertian dari apakah peluang yang mungkin bisa diperoleh dalam rangka penghematan energi dengan cara perbaikan.dalam pengoperasian dan pemeliharaan, atau melakukan tindakan konservasi energi pada fasilitas energi....
- a. Peluang konversi energi
  - b. Peluang efisiensi energi
  - c. Peluang penghematan
  - d. Peluang diversifikasi energi

## **G. Kunci Jawaban**

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

## **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.

Akan tetapi produksi energi sebesar apapun akan kurang menghasilkan efek yang signifikan dalam pemerataan energi di Indonesia jika pemborosan energi terus dilakukan. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan konservasi energi dan lingkungan, melalui tahapan pengelolaan energi yang meliputi: penyediaan energi, pengusahaan energi, pemanfaatan energi, dan konservasi sumber daya energi.

Melalui tahapan pengelolaan energi ini diharapkan dilakukan berbagai tindakan untuk mengamankan ketersediaan energi dalam jangka panjang. Tindakan itu meliputi: penghematan energi, pembangkitan sumber energi baru berbasis energi alternatif, serta pemeliharaan dan perbaikan lingkungan.

## Uji Kompetensi

### Soal Pilihan Ganda

Pilihlah jawaban yang paling tepat dari soal-soal di bawah ini:

- Berikut ini merupakan upaya ekstraksi potensi angin pada masa lalu untuk berbagai keperluan, kecuali ....
  - Kapal tenaga angin
  - Pabrik gandum
  - Tenaga listrik
  - Grinding stone*
- Anemometer apakah yang merupakan suatu sensor yang digunakan untuk mengukur kecepatan fluida (angin) sesaat ....
  - Anemometer termal
  - Cup anemometer
  - Anemometer tekanan
  - velocity anemometer*
- Berikut ini adalah tujuan pengukuran angin, kecuali....
  - Memperoleh data potensi energi angin di lokasi
  - Identifikasi lokasi (daerah potensial)
  - Penentuan kelas pemanfaatan berdasarkan potensi yang tersedia
  - Penetapan waktu pemasangan turbin angin
- Sistem apakah yang merupakan sistem transmisi dengan penurunan putaran, dimana putaran masuk lebih rendah dari putaran kelurannya, dimana tujuan penggunaan sistem transmisi ini adalah untuk meningkatkan momen gaya pada transmisi keluarannya....
  - Speed increasing*
  - Speed reducing*
  - Direct drive*
  - Nacelle*
- Komponen turbin angin yang berfungsi untuk mengarahkan angin dan menghubungkan dengan *yaw drive* untuk menggerakkan turbin adalah....
  - Wind vane*
  - Guide vane*

c. *Wind direction*

d. *Yaw motor*

6. 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*

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. Pada pengukuran sebuah turbin angin diketahui kecepatan aliran angin di depan rotor adalah 4 m/s dan kecepatan aliran angin di belakang rotor 1 m/s, jika massa udara 0,20 kg, berapa energi yang dihasilkan rotor....

a. 1,5 J

b. 1,75 J

c. 2,0 J

d. 2,25 J

J

d. *Wind vane*

10. Pada pengukuran sebuah turbin angin diketahui kecepatan aliran angin di depan rotor adalah 5 m/s, belakang rotor 1 m/s dan yang menghantam rotor 5 m/s,



Boros (2,5 – 3,34) kWh/m <sup>2</sup> /bulan	
Sangat Boros (3,34 – 4,17) kWh/m <sup>2</sup> /bulan	

LK-05

Kriteria	Keterangan
Sangat Efisien (4,17 s.d. 7,92) kWh/m <sup>2</sup> /bulan	
Efisien (7,93 s.d. 12,08) kWh/m <sup>2</sup> /bulan	
Cukup Efisien (12,08 s.d. 14,58) kWh/m <sup>2</sup> /bulan	
Agak Boros (14,58 s.d. 19,17) kWh/m <sup>2</sup> /bulan	

LK-06

No	Bulan	Pemakaian Daya (kW)	Pembayaran (Rp)
1	Januari	.....	.....
2	Februari	.....	.....
dst	.....	.....	.....

LK-07

No	Ruang	Konsumsi Energi (kWh/hari)				Luas (m <sup>2</sup> )	IKE kWh/m <sup>2</sup> /bln	IKE kWh/m <sup>2</sup> /thn
		Penerangan	AC	Beban lain	Jumlah			
1								
2								
dst								

LK-08

No	Ruang	Konsumsi Energi (kWh/hari)			Luas (m <sup>2</sup> )	IKE kWh/m <sup>2</sup> /bln	IKE kWh/m <sup>2</sup> /thn
		Penerangan	Beban lain	Jumlah			
1							
2							
dst							

## DAFTAR PUSTAKA

- Boyle,G.(ed). 1996, Renewable Energy Power for a Sustainable Future. Open University, UK.
- Djojonegoro,W,1992, Pengembangan dan penerapan Energi Baru dan terbarukan, Lokakarya “bio Mature unit” (BMU) untuk pengembangan masyarakat Pedesaan, BPPT, Jakarta
- Buku “Langkah Pembangunan PLTMH”, ditulis oleh Catoer Wibowo, diterbitkan oleh M Keterbatasan PLTMH
- Martha Joyce, Ir. Mengenal Dasar – Dasar Hidrologi, Penerbit NOVA Bandung
- Sosrodarsono Suyon, Ir. Hidrologi untuk pengairan, Penerbit Pradya Paramita, Jakarta
- Gupta. J. B, Electrical Power, Katson Publishing House, Ludhiana, 1991
- Narang. K. L, Electrical Technology, Satya Prakashan Publications, New Delhi, 1989
- Uppal. S.L, A Course in Electrical Power, Khanna Publisher, New Delhi, 1990

## GLOSARIUM

**Alat penukar panas** adalah alat yang digunakan untuk memindahkan panas dari sistem ke sistem lain tanpa perpindahan massa dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin.

**Alkalinitas** adalah besaran yang menunjukkan jumlah karbonat dalam larutan.

**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.

**Asidifikasi** yaitu pembentukan asam dari senyawa sederhana.

**Biomass** adalah *bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, baik berupa produk maupun buangan.*

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

**Hidrolisis** yaitu penguraian senyawa kompleks atau senyawa rantai panjang seperti lemak, protein, dan karbohidrat menjadi senyawa yang sederhana.

**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.

**Penghematan energi** adalah tindakan mengurangi jumlah penggunaan energi atau penggunaan energi yang optimal sesuai dengan kebutuhan sehingga akan menurunkan biaya energi yang dikeluarkan.

**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.

**Teknologi kogenerasi** adalah sistem termal yang mampu membangkitkan listrik dan termal secara simultan dari satu pembangkit listrik.

