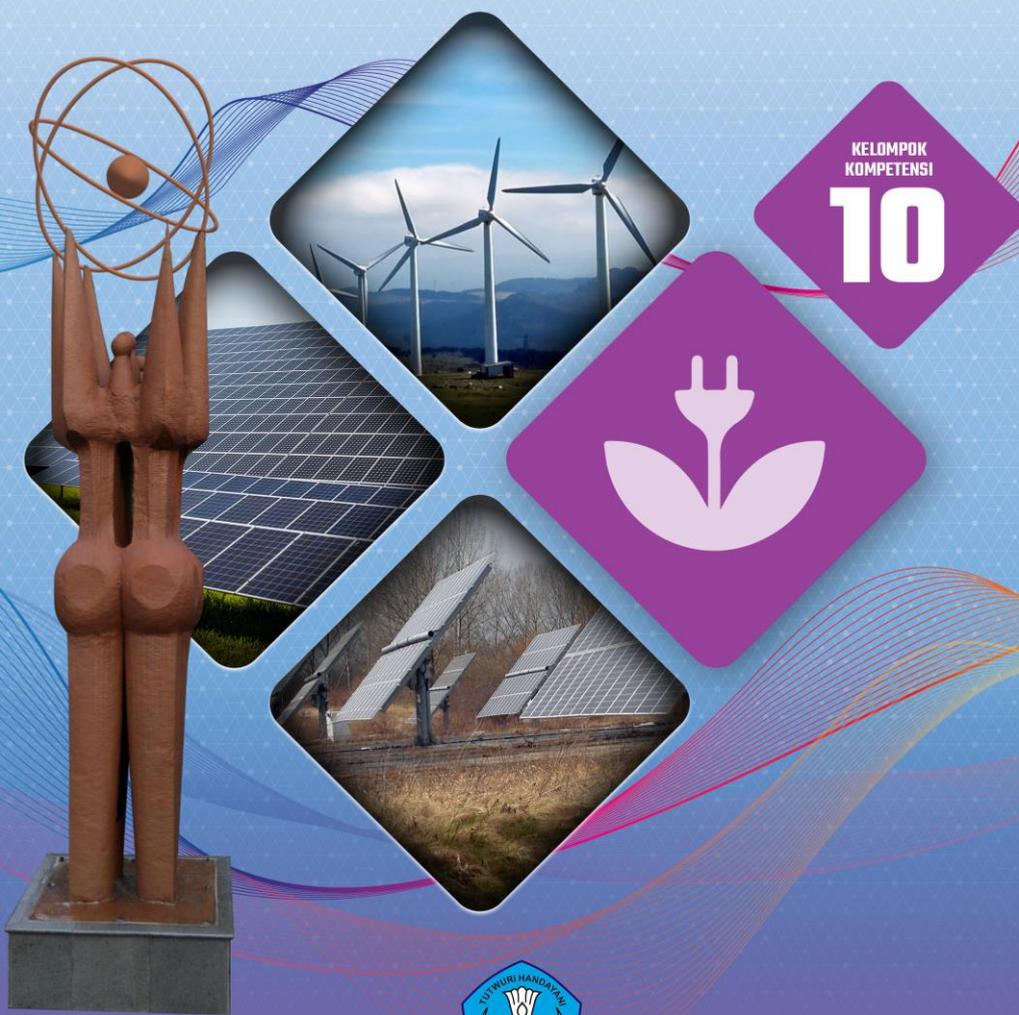


MODUL PENGEMBANGAN KEPROFESIAN BERKELANJUTAN

# TEKNOLOGI PLTB

PAKET KEAHLIAN : TEKNIK ENERGI SURYA & ANGIN

Program Keahlian : Teknik Energi Terbarukan



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN  
2015

# **TEKNOLOGI PLTB**

**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.....	iv
DAFTAR TABEL .....	viii
PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Tujuan .....	3
C. Peta Kompetensi.....	4
D. Ruang Lingkup.....	4
E. Saran Cara Penggunaan Modul .....	5
KEGIATAN PEMBELAJARAN.....	6
KEGIATAN PEMBELAJARAN 1 :.....	6
A. Tujuan .....	6
B. Indikator Pencapaian Kompetensi.....	6
C. Uraian Materi.....	7
D. Aktivitas Pembelajaran .....	30
E. Rangkuman .....	31
F. Tes Formatif.....	32
G. Kunci Jawaban .....	36
KEGIATAN PEMBELAJARAN 2 : PERENCANAAN APLIKASI PLTB .....	37
A. Tujuan .....	37
B. Indikator Pencapaian Kompetensi.....	37
C. Uraian Materi.....	37
D. Aktivitas Pembelajaran .....	105
E. Rangkuman .....	106
F. Tes Formatif.....	107
G. Kunci Jawaban .....	108
KEGIATAN PEMBELAJARAN 3 : DESIGN PLTB.....	109
A. Tujuan .....	109

B. Indikator Pencapaian Kompetensi.....	109
C. Uraian Materi.....	109
D. Aktivitas Pembelajaran .....	189
E. Rangkuman .....	189
F. Tes Formatif.....	190
G. Kunci Jawaban .....	191
KEGIATAN BELAJAR 4 : IMPLEMENTASI DAN TINJAUAN EKONOMI .....	192
A. Tujuan .....	192
B. Indikator Pencapaian Kompetensi.....	192
C. Uraian Materi.....	192
D. Aktivitas Pembelajaran .....	238
E. Rangkuman .....	238
F. Tes Formatif.....	239
G. Kunci Jawaban .....	240
PENUTUP.....	241
DAFTAR PUSTAKA .....	243
GLOSARIUM .....	244
Lampiran .....	248

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi Terjadinya Daerah Bertekanan Tinggi .....	37
Gambar 2. 2 Ilustrasi Terjadinya Daerah Bertekanan Rendah.....	38
Gambar 2. 3 Terjadinya Angin Akibat Pengaruh Lokal Di Daerah Perairan .....	39
Gambar 2. 4 Angin Laut dan Angin Darat .....	42
Gambar 2. 5 Profil Angin Terhadap Beda Ketinggian.....	48
Gambar 2. 6 Kincir Angin Sumbu Vertikal Untuk Menggiling Biji-Bijian, Afghanistan .....	60
Gambar 2. 7 Kincir Angin Cina Untuk Pemompaan Air.....	61
Gambar 2. 8 German Post Windmill .....	61
Gambar 2. 9 Hollow Post Mill Atau Kokermolen Atau Wipmolen .....	62
Gambar 2. 10 Greek tower windmill.....	62
Gambar 2. 11 Dutch windmill .....	63
Gambar 2. 12 Dutch Ground Windmill .....	63
Gambar 2. 13 Halladay Wind Turbine.....	64
Gambar 2. 14 Turbin Angin Eclipse .....	64
Gambar 2. 15 Turbin Angin Pembangkit Listrik Pertama.....	65
Gambar 2. 16 “Wind charger” 1,8 sampai 3 kW),1932.....	65
Gambar 2. 17 Kumulatif Pemanfaatan Energi Baru Dan Terbarukan .....	66
Gambar 2. 18 Kumulatif Energi Angin Terpasang (GWEC) .....	67
Gambar 2. 19 Kapasitas Terpasang Turbin Angin Di 10 Negara (WWEA).....	68
Gambar 2. 20 Forecast Perkembangan Energi Angin 2012-2017 (Gwec).....	69
Gambar 2. 21 Total Energi Angin Terpasang Per 1 Juta Penduduk .....	70
Gambar 2. 22 Luas Sapuan Rotor.....	72
Gambar 2. 23 Ilustrasi Perkembangan Ukuran Diameter Dan Swept Area .....	72
Gambar 2. 24 Daya Turbin Pada Berbagai Diameter Rotor Dan Kecepatan Angin.....	73
Gambar 2. 25 Daya Turbin Pada Kecepatan Angin Sedang .....	74
Gambar 2. 26 Daya Turbin Pada Kecepatan Angin Rendah.....	74
Gambar 2. 27 Perbandingan Turbin Angin.....	76
Gambar 2. 28 Pengelompokan Turbin Angin (Kecil, Menengah, Besar).....	77

Gambar 2. 29 Karakteristik kurva daya .....	77
Gambar 2. 30 Konfigurasi Dasar Turbin Angin.....	78
Gambar 2. 31 Konsep Turbin Angin Sumbu Vertical.....	79
Gambar 2. 32 Savonius .....	80
Gambar 2. 33 Turbin Angin Sumbu Horizontal .....	82
Gambar 2. 34 Instalasi PLTB.....	84
Gambar 2. 35 Hybrid System .....	87
Gambar 2. 36 Interkoneksi Dengan Jaringan .....	87
Gambar 2. 37 Konfigurasi Peralatan Ukur Potensi Angin dengan anemometer (LAPAN).....	89
Gambar 2. 38 Automatic Weather System .....	90
Gambar 2. 39 Taksiran Kecepatan Angin .....	91
Gambar 2. 41 Pengaruh Ketinggian Terhadap Daya Turbin .....	93
Gambar 2. 42 Penempatan Turbin Angin Pada Rumah Pribadi.....	94
Gambar 2. 43 Kurva Daya Turbin Angin Tipikal .....	95
Gambar 2. 44 Kurva Daya Dua Turbin Angin, 250 Kw Dan 1,8 MW.....	97
Gambar 2. 45 Contoh Kurva Energi Yang Akan Diproduksi Oleh Turbin Angin 200 W.....	97
Gambar 2. 46 Komponen Pada Sistem Turbin Angin Sumbu Horizontal .....	99
gambar 2. 47 Turbin Angin Skala Besar .....	102
Gambar 2. 48 Turbin Angin Kecil .....	103
Gambar 3. 1 Kondisi aliran udara akibat ekstraksi energi mekanik dari aliran udara bebas sesuai dengan teori momentum elementer.....	110
Gambar 3. 2 Hubungan koefisien daya dengan rasio $v_2/v_1$ .....	112
Gambar 3. 3 Kondisi aliran dan gaya-gaya aerodinamik pada peralatan drag .....	113
Gambar 3. 4 Lift pada airfoil bilah rotor. ....	114
Gambar 3. 5 Kecepatan aliran udara dan gaya-gaya aerodinamik yang bekerja pada rotor jenis propeller. ....	115
Gambar 3. 6. Model teori pelat tipis.....	116
Gambar 3. 7 Kecepatan tangensial ujung bilah rotor .....	116
Gambar 3. 8 Kecepatan aliran dan gaya aerodinamik pada penampang airfoil.....	117
Gambar 3. 9 Karakteristik torsi rotor untuk turbin angin eksperimental WKA-60.....	118

Gambar 3. 10 Koefisien daya rotor turbin angin untuk desain yang berbeda-beda .....	119
Gambar 3. 11 Koefisien torsi rotor turbin angin untuk desain yang berbeda-beda.....	119
Gambar 3. 12 Pengaturan daya input rotor melalui pemutaran bilah. ....	120
Gambar 3. 13 Daya output vs. kecepatan angin.....	120
Gambar 3. 14 kurva torsi dan kecepatan turbin.....	121
Gambar 3. 15 Pengurangan koefisien daya rotor akibat bertambahnya sudut yaw .....	121
Gambar 3. 16 Gerak putar rotor (furling) sebesar sudut yaw tertentu .....	122
Gambar 3. 17 Pengaruh jumlah bilah terhadap koefisien daya rotor .....	122
Gambar 3. 18 Profil airfoil seri NACA.....	123
Gambar 3.19 Bentuk bilah rotor aktual pada berbagai tip speed ratio dan pada berbagai jumlah bilah. ....	124
Gambar 3. 20 Pengaruh planform bilah yang berbeda terhadap koefisien daya untuk rotor 2 bilah .....	125
Gambar 3. 21 Planform bilah rotor : bentuk dasar dihitung untuk rotor 2-bilah.....	125
Gambar 3. 22 Pengaruh penghilangan bagian bilah di sekitar hub ini terhadap koefisien daya.....	126
Gambar 3. 23 Pelintiran bilah rotor .....	126
Gambar 3. 24 Pengaruh pelintiran bilah rotor terhadap koefisien daya.....	127
Gambar 3. 25 Pengaruh L/D dan jumlah bilah terhadap koefisien daya rotor.....	128
Gambar 3. 26 Pengaruh ketebalan bilah rotor terhadap koefisien daya rotor. ....	128
Gambar 3. 27 Pengaruh pemilihan “tip speed ratio desain” .....	129
Gambar 3. 28 Diagram Alir Perancangan Turbin Angin .....	131
Gambar 3. 29 Contoh Bentuk airfoil sudu turbin angin.....	135
Gambar 3. 30 Karakteristik $C_d$ terhadap $C_l$ .....	136
Gambar 3. 31 Hubungan antara koefisien daya dan rasio kec ujung.....	142
Gambar 3. 32 Sampel Sudu Aluminium, GRF dan Kayu .....	144
Gambar 3. 33 Sampel Struktur Sudu Turbin Angin .....	144
Gambar 3. 34 Hubungan antara Soliditas dan Rasio kecepatan ujung.....	145
Gambar 3. 35 Hubungan antara Koefisien Power dan Rasio Kecepatan Ujung .....	147
Gambar 3. 36 Hubungan antara $C_q$ dan $\lambda$ .....	148

Gambar 3. 37 Transmisi Belt dan Gear Box .....	150
Gambar 3. 38 Generator Sinkron .....	152
Gambar 3. 39 Generator Induksi .....	154
Gambar 3. 40 Generator Permanen Magnet .....	161
Gambar 3. 41 Berbagai Model Unit Drive Train.....	162
Gambar 3. 42 Berbagai Skema Sistem Kontrol Turbin Angin.....	166
Gambar 3. 43 Motor Yaw dan Sistem Yawing .....	172
Gambar 3. 44 Sampel Yaw Pasif.....	174
Gambar 3. 45 Blade tip pitching .....	176
Gambar 4. 1 Siklus proyek.....	196
Gambar 4. 2 Grafik dana dan bunga .....	225
Gambar 4. 3 Grafik jumlah orang dan upah .....	226
Gambar 4. 4 Grafik permintaan dan penawaran .....	227

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Nilai $C_d/C_l$ dan $\alpha$ untuk berbagai bentuk benda .....	137
Tabel 3. 2 Perbedaan antara rotor upwind dan downwind .....	139
Tabel 3. 3 Ciri rotor dengan 1, 2, dan 3 sudu .....	140
Tabel 3. 4 Perbedaan antara rotor 3 sudu dengan 2 sudu.....	141
Tabel 3. 5 Perbedaan 3 jenis bahan sudu.....	143
Tabel 3. 6 Perbedaan antara roda gigi tipe poros paralel dan datar.....	149
Tabel 3. 7 Turbin Angin Dengan Generator Sinkron.....	152
Tabel 3. 8 Turbin Angin Dengan Generator Induksi .....	155
Tabel 3. 9 Spesifikasi konduktor tembaga berdasarkan luas penampangnya.....	180
Tabel 3. 10 Parameter Utama Rancangan Turbin Angin.....	182
Tabel 3. 11 Peralatan pengujian Turbin Angin.....	188
Tabel 4. 1 Harga konstan di Inflasi.....	208
Tabel 4. 2 Harga konstan di deflasi.....	208
Tabel 4. 3 Nilai investasi dan MEC.....	210
Tabel 4. 4 Payback period .....	212
Tabel 4. 5 contoh tabel discount factor .....	214
Tabel 4. 6 Gross Benefit-cost .....	216
Tabel 4. 7 Net Benefit-cost .....	216
Tabel 4. 8 Profitability Ratio .....	217
Tabel 4. 9 Net Present Value .....	218
Tabel 4. 10 Internal Rate of Return (IRR) .....	219
Tabel 4. 11 Harga telah di Inflasi .....	220
Tabel 4. 12 Discount factor tidak diperhitungkan inflasi .....	220
Tabel 4. 13 Discount factor di perhitungkan inflasi.....	221
Tabel 4. 14 Benefit cost.....	222
Tabel 4. 15 Sistem PLTS 17.500 Wp Terpusat.....	233

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Pemanasan global yang memicu terjadinya perubahan iklim telah menjadi perhatian masyarakat dunia. Wacana ini diangkat ke acara Earth Summit di Rio de Janeiro, Brazil, pada tahun 1992 yang menghasilkan Kerangka Konvensi untuk Perubahan Iklim (United Nation Framework Convention on Climate Change- UNFCCC) dan ditandatangani oleh 167 negara. Kerangka ini mengikat secara moral semua negara-negara industri untuk menstabilkan emisi CO<sub>2</sub>. Indonesia ikut menyetujui konvensi ini melalui Undang Undang No. 6 Tahun 1994 mengenai perubahan iklim dan Undang Undang No. 17 Tahun 2004 tentang pengesahan Protokol Kyoto.

Indonesia sebagai negara berkembang tidak berkewajiban untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub>, namun diharapkan untuk melaporkan besarnya emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan. Dalam kaitan ini, Indonesia telah menyampaikan kepada UNFCCC hasil penyusunan Komunikasi Nasional Pertama (First National Communication) pada tahun 1999 dan Indonesia Second National Communication Under The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) pada tahun 2009 sebagai bukti keseriusannya dalam menangani perubahan iklim. Salah satu rencana pemerintah untuk menurunkan emisi gas rumah kaca di bidang energi adalah penggunaan bahan bakar yang lebih bersih dan penggunaan energi baru dan terbarukan (EBT).

Emisi CO<sub>2</sub> dapat berasal dari pembakaran bahan bakar fosil, seperti: batubara, minyak bumi dan gas bumi, emisi dari industri semen dan konversi lahan. Berdasarkan data dari Carbon Dioxide Information Analysis Center (2000) penggunaan bahan bakar fosil merupakan sumber utama emisi CO<sub>2</sub> di dunia dan mencapai 74% dari total emisi. Konversi lahan mempunyai kontribusi sebesar 24% dan industri semen sebesar 3%. Emisi CO<sub>2</sub> merupakan bagian terbesar dari emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Indonesia dengan pangsa sebesar hampir 70 % sedangkan gas lainnya sebesar 30 %. Berdasarkan laporan Komunikasi Nasional Pertama, sumber utama emisi GRK adalah sektor energi dan sektor

kehutanan. Sektor energi mempunyai pangsa sebesar 46 % dari total emisi GRK yang berasal dari penggunaan bahan bakar fosil pada bermacam-macam aktivitas seperti: produksi energi, pengolahan energi dan juga pembakaran energi yang digunakan baik untuk pembangkit listrik maupun untuk keperluan industri lainnya.

Melalui Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif sebagai pengganti BBM, Pemerintah mengumumkan rencana Indonesia untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar minyak. Kebijakan ini bertujuan untuk mewujudkan keamanan pasokan energi dalam negeri. Kebijakan utama meliputi penyediaan energi yang optimal, pemanfaatan energi yang efisien, penetapan harga energi ke arah harga keekonomian dan pelestarian lingkungan.

Pengembangan bioenergi atau bahan bakar nabati sebagai sumber energi alternatif sangat strategis untuk mengatasi permasalahan yang ada. Langkah nyata pemerintah Indonesia dalam pengembangan bahan bakar nabati adalah dengan diterbitkannya Instruksi Presiden No.1 Tahun 2006 tertanggal 25 Januari 2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati (Biofuel) sebagai Bahan Bakar Lain.

Penggunaan bahan bakar nabati sebagai substitusi BBM juga telah didukung oleh Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia nomor 25 tahun 2013 tentang perubahan atas peraturan menteri energi dan sumber daya mineral nomor 32 tahun 2008 tentang penyediaan, pemanfaatan, dan tata niaga bahan bakar nabati (biofuel) sebagai bahan bakar lain. Berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia nomor 25 tahun 2013 bahan bakar yang ditetapkan kewajiban minimalnya sebagai campuran bakar minyak adalah biodiesel, bioetanol, dan minyak nabati murni.

Biodiesel merupakan bentuk ester dari minyak nabati. Bahan baku dapat berasal dari kelapa sawit, jarak pagar, kedelai dan kelapa. Dalam pemanfaatannya dicampur dengan minyak solar dengan perbandingan tertentu. B5 merupakan campuran 5% biodiesel dengan 95% minyak solar yang dijual secara komersial oleh Pertamina dengan nama dagang biosolar.

Salah satu jenis bahan bakar yang banyak digunakan di Indonesia adalah bahan bakar solar. Potensi pengembangan bahan bakar pengganti minyak solar cukup besar mengingat kebutuhan solar nasional di tahun 2010 adalah sebesar 18.093 ribu SBM. Angka ini tentu saja bukan angka yang kecil mengingat jumlah ini hanya dibutuhkan oleh satu negara saja. Jika hal ini dibiarkan terus menerus tanpa ada solusi pengendalian, maka ketersediaan bahan bakar dunia akan terancam dan tidak ada yang tersisa untuk kelanjutan hidup di masa yang akan datang. Oleh karena itu, perlu adanya bahan bakar diesel alternatif yang memiliki sifat mirip dengan solar tetapi dapat diperbarui. Salah satu bahan bakar alternatif tersebut adalah biodiesel.

Biodiesel merupakan alternatif terbaik pengganti bahan bakar diesel. Selain dapat digunakan secara langsung pada mesin tanpa modifikasi, juga ramah lingkungan (Xu dan Wu, 2003). Biodiesel dapat dibuat dari minyak nabati (Ramos et al., 2009), lemak hewan (Saraf dan Thomas, 2007), maupun minyak goreng bekas (Sunthitikawinsakul dan Sangatith, 2012).

Karakteristik minyak nabati tidak memungkinkan penggunaannya secara langsung karena terdapat asam lemak bebas, gum dan viskositasnya tinggi sehingga dapat mengganggu performa mesin diesel dan dapat mengakibatkan pengendapan pada mesin disel (Rodrigues et al., 2006). Oleh karena itu sebagai bahan bakar sehingga diperlukan suatu proses untuk mengubah minyak nabati menjadi bahan bakar (Korus et al., 2000). Schwab et al. (1987) mengatakan, ada tiga teknologi yang pada umumnya digunakan untuk memproduksi biodiesel, yaitu pirolisis, mikroemulsifikasi, dan transesterifikasi.

## **B. Tujuan**

Setelah mempelajari buku teks bahan ajar ini peserta diklat diharapkan dapat merencanakan dan mengaplikasikan pembangkit listrik tenaga angin.

### C. Peta Kompetensi

GRADE KOMPETENSI PAKET KEAHLIAN TEKNIK ENERGI SURYA DAN ANGIN	
GRADE 1	20.01
	20.02
	20.03
	20.04
	20.05
GRADE 2	20.06
	20.07
GRADE 3	20.08
	20.09
GRADE 4	20.10
	20.11
GRADE 5	20.12
	20.13
GRADE 6	20.14
	20.15
	20.16
GRADE 7	20.17
	20.18
	20.19
GRADE 8	20.20
	20.21
	20.22
	20.23
	20.24
GRADE 9	20.25
	20.26
	20.27
	20.28
GRADE 10	20.29
	20.30
	20.31
GRADE 10	20.32
	20.33
	20.34
	20.35
	20.36

### D. Ruang Lingkup

Modul ini berisi pengetahuan tentang sejarah pemanfaatan energi angin, karakteristik teknologi angin, konfigurasi turbin angin, perencanaan aplikasi PLTB, desain PLTB dan implementasi serta tinjauan ekonomi.

#### **E. Saran Cara Penggunaan Modul**

1. Baca semua isi dan petunjuk pembelajaran modul mulai halaman judul hingga akhir modul ini. Ikuti semua petunjuk pembelajaran yang harus diikuti pada setiap Kegiatan Belajar.
2. Belajar dan bekerjalah dengan penuh tanggung jawab dan sepenuh hati, baik secara kelompok maupun individual sesuai dengan tugas yang diberikan.
3. Kerjakan semua tugas yang diberikan dan kumpulkan sebanyak mungkin informasi yang dibutuhkan untuk meningkatkan pemahaman Anda terhadap modul ini.
4. Kompetensi yang dipelajari di dalam modul ini merupakan kompetensi minimal. Oleh karena itu disarankan Anda mampu belajar lebih optimal.
5. Laporkan semua pengalaman belajar yang Anda peroleh kepada pengajar baik tertulis maupun lisan sesuai dengan tugas setiap modul.

## **BAB II**

### **KEGIATAN PEMBELAJARAN**

#### **KEGIATAN PEMBELAJARAN 1 :**

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

Tujuan dari penulisan modul ini adalah:

1. Melalui membaca dan menggali informasi peserta diklat dapat menjelaskan tentang pengertian refleksi hasil pembelajaran dengan benar dan percaya diri sesuai batasan modul
2. Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat melakukan refleksi hasil pembelajaran dengan teliti
3. Melalui membaca dan menggali informasi peserta diklat dapat menjelaskan tentang pengertian pengembangan pembelajaran dengan percaya diri
4. Melalui latihan peserta diklat dapat mengembangkan pembelajaran dengan penuh tanggungjawab
5. Melalui membaca dan menggali informasi peserta diklat dapat menjelaskan tentang pengertian penelitian tindakan kelas dengan percaya diri
6. Melalui diskusi peserta diklat dapat membuat proposal penelitian tindakan kelas sesuai sistematika yang disepakati dengan percaya diri
7. Melalui penugasan peserta diklat dapat melakukan penelitian tindakan kelas sesuai proposal yang dibuat dengan percaya diri

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

1. Menjelaskan pengertian refleksi hasil pembelajaran
2. Melakukan refleksi terhadap hasil pembelajaran
3. Menjelaskan pengertian pengembangan pembelajaran
4. Melakukan pengembangan pembelajaran
5. Menjelaskan pengertian penelitian tindakan kelas

6. Membuat proposal penelitian tindakan kelas
7. Melakukan penelitian tindakan kelas

### C. Uraian Materi

#### 1. Refleksi Hasil Pembelajaran

Keberhasilan suatu pembelajaran dipengaruhi oleh berbagai faktor. Salah satunya adalah faktor guru yang melaksanakan pembelajaran. Oleh karenanya, dalam melaksanakan pembelajaran, guru harus berpijak pada prinsip-prinsip tertentu. Dimiyati dan Mudjiono (1994) mengemukakan ada tujuh prinsip pembelajaran yaitu:

##### 1.1. Perhatian dan Motivasi

Perhatian mempunyai peranan penting dalam kegiatan belajar, bahkan tanpa adanya perhatian tak mungkin terjadi proses belajar. Perhatian terhadap pelajaran akan timbul pada peserta didik apabila bahan pelajaran sesuai dengan kebutuhannya, bahkan dapat membangkitkan motivasi belajarnya.

##### 1.2. Keaktifan

Pada dasarnya peserta didik adalah manusia aktif yang mempunyai dorongan untuk berbuat sesuatu, mempunyai kemauan dan aspirasinya sendiri. Belajar hanya mungkin terjadi apabila peserta didik aktif mengalami sendiri.

##### 1.3. Keterlibatan Langsung/Berpengalaman

Belajar berarti mengalami. Belajar tidak bisa dilimpahkan kepada orang lain. Belajar harus dilakukan sendiri oleh peserta didik. Edgar Dale dalam “cone of experience”-nya mengemukakan, “belajar yang paling baik adalah belajar melalui pengalaman langsung.”

##### 1.4. Pengulangan

Menurut teori psikologi, daya belajar adalah melatih daya-daya yang ada pada jiwa manusia, seperti daya mengamati, menanggapi, mengingat, mengkhayal, merasakan dan berfikir. Melalui pengulangan, maka daya-daya tersebut akan berkembang.

#### 1.5. Tantangan

Field Theory dari Kurt Lewin mengemukakan bahwa peserta didik dalam situasi belajar berada dalam suatu medan atau lapangan psikologis. Dalam proses belajar, peserta didik menghadapi suatu tujuan yang ingin dicapai, tetapi selalu terdapat hambatan, yaitu mempelajari bahan belajar, maka timbullah motif untuk mengatasi hambatan itu, yaitu dengan mempelajaribahan belajar tersebut

#### 1.6. Balikan dan Penguatan

Peserta didik akan belajar lebih bersemangat apabila mengetahui dan mendapatkan hasil yang baik. Untuk itu, guru harus melakukan penilaian hasil belajar. Hasil belajar yang baik akan balikan (feedback) yang menyenangkan dan berpengaruh baik terhadap kegiatan belajar selanjutnya.

#### 1.7. Perbedaan Individual

Setiap peserta didik memiliki perbedaan satu dengan yang lain. Perbedaan itu terdapat pada karakteristik psikis, kepribadian dan sifat-sifatnya. Perbedaan individual ini dapat berpengaruh pada cara dan hasil belajar peserta didik.

Setelah melaksanakan proses pembelajaran, tentu guru ingin mengetahui bagaimana hasilnya. Salah satu cara yang harus dilakukan adalah dengan cara mengevaluasi diri sendiri secara jujur, objektif, dan komprehensif. Hal ini dimaksudkan agar guru dapat segera mengetahui kelemahan-kelemahan yang dilakukan dalam melaksanakan pembelajaran dan berupaya memperbaikinya untuk pembelajaran yang akan datang. Bisa saja kelemahan-kelemahan tersebut diperoleh dari orang lain atau dari peserta didik sendiri, tetapi akan lebih bijaksana bila hal tersebut dilakukan sendiri oleh guru. Mungkin kita belum terbiasa atau terlatih dengan evaluasi diri, tetapi tidak ada kata terlambat untuk memulai sesuatu yang positif dan bermakna untuk kita.

Sejalan dengan filosofi bahwa, sejatinya pendidik harus bertindak sebagai pelayan, maka perlu tindakan yang dapat memuaskan peserta didik, yaitu berupa kegiatan dimana kedua belah pihak yang terlibat dalam proses belajar mengajar diberikan ruang untuk saling menilai. Kalau penilaian dari pendidik kepada peserta didik, itu hal biasa, namun budaya untuk menilai dari peserta didik kepada pendidik, itu hal yang luar biasa dan istimewa. Padahal kegiatan itu sangat penting untuk memberikan informasi positif tentang bagaimana pendidik melakukan tugasnya sekaligus sebagai bahan observasi untuk mengetahui sejauh mana tujuan pendidikan itu tercapai. Sekaligus dalam kegiatan tersebut akan dapat diketahui tingkat kepuasan peserta didik dalam proses belajar mengajar, sehingga dapat dijadikan wahana untuk menjalin komunikasi yang baik antara pendidik dengan peserta didik. Inilah refleksi dalam pendidikan.

Refleksi sangat penting dan seharusnya dilakukan oleh guru karena melalui instrumen refleksi yang digunakan dapat diperoleh informasi positif tentang bagaimana cara guru meningkatkan kualitas pembelajarannya sekaligus sebagai bahan observasi untuk mengetahui sejauh mana tujuan pembelajaran itu tercapai. Selain itu, melalui kegiatan ini dapat tercapai kepuasan dalam diri peserta didik yaitu memperoleh wadah yang tepat dalam menjalin komunikasi positif dengan gurunya.

Jika dari refleksi diperoleh hasil baik dan disenangi oleh peserta didik, maka guru dapat mempertahankannya, tetapi jika masih kurang diminati oleh peserta didik, maka kewajiban guru yang bersangkutan adalah segera mengubah model pembelajaran dengan memadukan metode-metode atau teknik-teknik yang sesuai berdasarkan kesimpulan dari hasil refleksi yang dilakukan sebelumnya. Apapun hasil refleksi peserta didik seharusnya dihadapi dengan bijaksana dan positif thinking, karena tujuan akhir dari ini semua adalah untuk pendidikan.

Berbagai kekurangan atau kelemahan, mulai dari tahap persiapan, pelaksanaan dan evaluasi yang diperoleh dari hasil refleksi suatu proses pembelajaran, perlu segera ditindaklanjuti dengan perbaikan. Namun, semakin banyak seseorang memiliki pengalaman, maka diharapkan akan semakin sedikit kesalahan yang dilakukan. Pepatah lama mengatakan "experience is the best teacher". Hal ini berdasarkan suatu

pemikiran bahwa seseorang tidak akan melakukan kesalahan yang serupa pada kegiatan pembelajaran berikutnya. Oleh sebab itu, untuk mencapai suatu kesuksesan, belajarlh dari pengalaman masa lalu sebagai bahan perbaikan. Tanpa adanya refleksi, tidak mudah bagi kita untuk mengetahui bagian-bagian atau aspek-aspek mana dari pembelajaran yang dianggap masih lemah.

Salah satu jenis penilaian yang dapat dilakukan guru dalam pembelajaran adalah penilaian diagnostik, yaitu penilaian yang berfungsi mengidentifikasi faktor-faktor Penyebab Kegagalan dan Pendukung Keberhasilan dalam Pembelajaran. Berdasarkan penilaian diagnostik ini, guru melakukan perbaikan-perbaikan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran. Jika guru tidak mengetahui faktor-faktor Penyebab Kegagalan dan Pendukung Keberhasilan dalam Pembelajaran, maka akan sulit bagi guru untuk memperbaiki kualitas pembelajaran. Untuk mengidentifikasi faktor-faktor Penyebab Kegagalan dan Pendukung Keberhasilan dalam Pembelajaran, guru dapat melakukannya secara perseorangan atau melalui teknik evaluasi diri atau dapat juga dilakukan secara kelompok, bersama gurusejawat lainnya yang mengajar bidang studi srumpun.

Untuk Mengoptimalkan Proses dan Hasil Belajar hendaknya kita berpijak pada hasil identifikasi faktor-faktor Penyebab Kegagalan dan Pendukung Keberhasilan dalam Pembelajaran, berdasarkan hasil identifikasi ini kemudian kita mencari alternatif pemecahannya, kemudian dari berbagai alternatif itu kita pilih mana yang mungkin dilaksanakan dilihat dari berbagai kesiapan guru, kesiapan peserta didik, sarana dan prasarana, dan sebagainya. Mengoptimalkan proses dan hasil belajar berarti melakukan berbagai upaya perbaikan agar proses belajar dapat berjalan dengan efektif dan hasil belajar dapat diperoleh secara optimal

Salah satu komponen penting dalam sisitem pembelajaran adalah materi. Banyak hasil penelitian menunjukkan lemahnya penguasaan peserta didik terhadap materi pelajaran. Padahal dalam silabus, materi pelajaran sudah diatur sedemikian rupa, baik ruang lingkup, urutan materi maupun penempatan materi. Dalam hal tertentu, kita tidak mungkin memaksakan peserta didik untuk melanjutkan ke materi pembelajaran berikutnya.

Jika sebagian besar peserta didik belum menguasai kompetensi yang diharapkan, maka kita segera mengetahui dan mencari alternatif solusi agar peserta didik tersebut dapat menguasai kompetensi yang diharapkan. Setelah diketahui siapa saja peserta didik yang gagal menguasai kompetensi, materi apa yang dianggap sulit, dimana letak kesulitannya, kemudian mencari alternatif pemecahan, antara lain melakukan pembelajaran remedial

Pengembangan suatu pembelajaran dapat dilakukan berdasarkan hasil refleksi. Refleksi adalah suatu kegiatan yang dilakukan dalam proses belajar mengajar berupa penilaian tertulis maupun lisan (umumnya tulisan) oleh anak didik atau supervisor kepada guru, berisi ungkapan kesan, pesan, harapan serta kritik membangun atas pembelajaran yang telah dilakukan. Bahasa yang paling sederhana dan mudah dipahami adalah refleksi ini sangat mirip dengan curhatan anak didik atau supervisor terhadap guru tentang hal-hal yang dialami dalam kelas sejak dimulai hingga berakhirnya pembelajaran.

## 2. Pengembangan Pembelajaran

Interaksi di bidang pendidikan dapat diwujudkan melalui interaksi siswa dengan siswa, siswa dengan guru, siswa dengan masyarakat, guru dengan guru, guru dengan masyarakat disekitar lingkungannya. Proses interaksi ini dapat dibina dan dikembangkan sesuai dengan tujuan yang hendak dicapai dalam proses pembelajaran. Dengan kata lain, pengembangan pembelajaran merupakan proses yang dilakukan oleh guru dalam menata atau merancang pembelajaran sehingga dapat memenuhi tujuan pembelajaran yang telah ditentukan sebelumnya.

Pengembangan pembelajaran umumnya dilakukan berdasarkan hasil refleksi hasil pembelajaran sebelumnya dengan menerapkan model yang sesuai. Berikut beberapa model pengembangan pembelajaran yang dapat digunakan dalam mengembangkan pembelajaran.

### 2.1. Model ASSURE

Model ASSURE adalah jembatan antara peserta didik, materi, dan semua bentuk media. Model ini memastikan pengembangan pembelajaran

dimaksudkan untuk membantu pendidik dalam pengembangan instruksi yang sistematis dan efektif. Hal ini digunakan untuk membantu para pendidik mengatur proses belajar dan melakukan penilaian hasil belajar peserta didik. Ada enam langkah dalam pengembangan model ASSURE yaitu: Analyze learner; State objectives; Select instructional methods, media and materials; Utilize media and materials; Require learner participation; Evaluate and revise.

2.1.1. Analyze learner

Langkah pertama adalah mengidentifikasi dan menganalisis karakteristik siswa yang disesuaikan dengan hasil-hasil belajar. Hal yang penting dalam menganalisis karakteristik siswa meliputi karakteristik umum dari siswa, kompetensi dasar yang harus dimiliki siswa (pengetahuan, kemampuan dan sikap), dan gaya belajar siswa

2.1.2. State objectives

Langkah selanjutnya adalah menyatakan standar dan tujuan pembelajaran yang spesifik mungkin. Tujuan pembelajaran dapat diperoleh dari kurikulum atau silabus, keterangan dari buku teks, atau dirumuskan sendiri oleh perancang pembelajaran.

2.1.3. Select instructional methods, media and materials

Tahap ini adalah memilih metode, media dan bahan ajar yang akan digunakan. Dalam memilih metode, media dan bahan ajar yang akan digunakan, terdapat beberapa pilihan, yaitu memilih media dan bahan ajar yang telah ada, memodifikasi bahan ajar, atau membuat bahan ajar yang baru.

2.1.4. Utilize media and materials

Tahap selanjutnya metode, media dan bahan ajar diuji coba untuk memastikan bahwa ketiga komponen tersebut dapat berfungsi efektif untuk digunakan dalam situasi sebenarnya. Untuk melakukannya melalui proses 5P, yaitu: preview (mengulas) metode, media dan bahan ajar; prepare (menyiapkan) metode, media dan

bahan ajar;prepare (menyiapkan) lingkungan;prepare (menyiapkan) para pemelajar; dan provide (memberikan) pengalaman belajar.

2.1.5. Require learner participation

Keterlibatan siswa secara aktif menunjukkan apakah media yang digunakan efektif atau tidak. Pembelajaran harus didesain agar membuat aktivitas yang memungkinkan siswa menerapkan pengetahuan atau kemampuan baru dan menerima umpan balik mengenai kesesuaian usaha mereka sebelum dan sesudah pembelajaran

2.1.6. Evaluate and revise

Tahap evaluasi dilakukan untuk menilai efektivitas pembelajaran dan juga hasil belajar siswa. Proses evaluasi dilakukan untuk memperoleh gambaran yang lengkap tentang kualitas sebuah pembelajaran.

Model ASSURE merupakan model desain pembelajaran yang bersifat praktis dan mudah diimplimentasikan dalam mendesain aktivitas pembelajaran yang bersifat individual maupun klasikal. Dalam menganalisis karakteristik siswa sangat memudahkan untuk menentukan metode, media dan bahan ajar yang akan digunakan, sehingga dapat menciptakan aktivitas pembelajaran yang efektif, efisien dan menarik

2.2. Model ADDIE

Salah satu model desain pembelajaran yang memperlihatkan tahapan-tahapan desain yang sederhana dan mudah dipelajari adalah model ADDIE (Analysis-Design-Develop-Implement-Evaluate). ADDIE muncul pada tahun 1990-an yang dikembangkan oleh Reiser dan Mollenda. Salah satu fungsinya yaitu menjadi pedoman dalam membangun perangkat dan infrastruktur program pelatihan yang efektif, dinamis dan mendukung kinerja pelatihan itu sendiri. Model ini menggunakan 5 tahap pengembangan yakni :

#### 2.2.1. Analysis

Analisis merupakan tahap pertama yang harus dilakukan oleh seorang pengembang pembelajaran. Kaye Shelton dan George Saltsman menyatakan ada tiga segmen yang harus dianalisis yaitu siswa, pembelajaran, serta media untuk menyampaikan bahan ajarnya. Langkah-langkah dalam tahapan analisis ini setidaknya adalah: menganalisis siswa; menentukan materi ajar; menentukan standar kompetensi (goal) yang akan dicapai; dan menentukan media yang akan digunakan.

#### 2.2.2. Design

Pendesainan dilakukan berdasarkan apa yang telah dirumuskan dalam tahapan analisis. Tahapan desain adalah analog dengan pembuatan silabus. Dalam silabus tersebut harus memuat informasi kontak, tujuan-tujuan pembelajaran, persyaratan kehadiran, kebijakan keterlambatan pekerjaan, jadwal pembelajaran, pengarahan, alat bantu komunikasi, kebijakan teknologi, serta desain tatap muka untuk pembelajaran. Langkah-langkah dalam tahapan ini adalah membuat silabus yang di dalamnya termasuk: memilih standar kompetensi (goal) yang telah dibuat dalam tahapan analisis; menentukan kompetensi dasar (objektive); menentukan indikator keberhasilan; memilih bentuk penilaian; menentukan sumber atau bahan-bahan belajar; menerapkan strategi pembelajaran; membuat story board; mendesain tatap muka.

#### 2.2.3. Development

Tahapan ini merupakan tahapan produksi dimana segala sesuatu yang telah dibuat dalam tahapan desain menjadi nyata. Langkah-langkah dalam tahapan ini diantaranya adalah: membuat objek-objek belajar (learning objects) seperti dokumen teks, animasi, gambar, video dan sebagainya; membuat dokumen-dokumen tambahan yang mendukung.

#### 2.2.4. Implementation

Pada tahapan ini sistem pembelajaran sudah siap untuk digunakan oleh siswa. Kegiatan yang dilakukan dalam tahapan ini adalah mempersiapkan dan memasarkannya ke target siswa

#### 2.2.5. Evaluation

Evaluasi dapat dilakukan dalam dua bentuk evaluasi yaitu formatif dan sumatif. Evaluasi formatif dilakukan selama dan di antara tahapan-tahapan tersebut. Tujuan dari evaluasi ini adalah untuk memperbaiki sistem pembelajaran yang dibuat sebelum versi terakhir diterapkan. Evaluasi sumatif dilakukan setelah versi terakhir diterapkan dan bertujuan untuk menilai keefektifan pembelajaran secara keseluruhan. Pertanyaan-pertanyaan yang dapat diajukan dalam tahapan evaluasi adalah: Apakah tujuan belajar tercapai oleh siswa?; Bagaimana perasaan siswa selama proses belajar? suka, atau tidak suka; Adakah elemen belajar yang bekerja dengan baik atau tidak baik?; Apa yang harus ditingkatkan?; Apakah informasi dan atau pesan yang disampaikan cukup jelas dan mudah untuk dimengerti?; Apakah pembelajaran menarik, penting, dan memotivasi?

#### 2.3. Model Jerold E. Kemp

Model desain sistem pembelajaran yang dikemukakan oleh Jerold E. Kemp dkk. (2001) berbentuk lingkaran atau Cycle. Menurut mereka, model berbentuk lingkaran menunjukkan adanya proses kontinyu dalam menerapkan desain sistem pembelajaran. Model desain sistem pembelajaran yang dikemukakan oleh Kemp dkk. terdiri atas komponen-komponen sebagai berikut:

- 2.3.1. Mengidentifikasi masalah dan menetapkan tujuan pembelajaran yaitu menentukan tujuan pembelajaran umum dimana tujuan yang ingin dicapai dalam mengajarkan masing-masing pokok bahasan
- 2.3.2. Menentukan dan menganalisis karakteristik siswa. Analisis ini diperlukan antara lain untuk mengetahui apakah latar belakang pendidikan dan sosial budaya siswa memungkinkan untuk mengikuti program, dan langkah apa yang perlu diambil.
- 2.3.3. Mengidentifikasi materi dan menganalisis komponen-komponen tugas belajar yang terkait dengan pencapaian tujuan pembelajaran.
- 2.3.4. Menetapkan tujuan pembelajaran khusus bagi siswa. Yaitu tujuan yang spesifik, operasional dan terukur, dengan demikian siswa akan tahu apa yang akan dipelajari, bagaimana mengerjakannya, dan apa ukurannya bahwa siswa telah berhasil. Dari segi guru rumusan itu dalam menyusun tes kemampuan dan pemilihan bahan/materi yang sesuai.
- 2.3.5. Membuat sistematika penyampaian materi pelajaran secara sistematis dan logis.
- 2.3.6. Merancang strategi pembelajaran. Kriteria umum untuk pemilihan strategi pembelajaran khusus tersebut: a) efisiensi, b) keefektifan, c) ekonomis, d) kepraktisan, peralatan, waktu, dan tenaga.
- 2.3.7. Menetapkan metode untuk menyampaikan materi pelajaran.
- 2.3.8. Mengembangkan instrument evaluasi. Yaitu untuk mengontrol dan mengkaji keberhasilan program secara keseluruhan, yaitu : a) siswa, b) program pembelajaran, c) instrumen evaluasi.
- 2.3.9. Memilih sumber-sumber yang dapat mendukung aktifitas pembelajaran.

### 3. Penelitian Tindakan Kelas

Penelitian tindakan kelas berasal dari istilah bahasa Inggris Classroom Action Research, yang berarti penelitian yang dilakukan pada sebuah kelas untuk

mengetahui akibat tindakan yang diterapkan pada suatu subyek penelitian di kelas tersebut. Pertama kali penelitian tindakan kelas diperkenalkan oleh Kurt Lewin pada tahun 1946, yang selanjutnya dikembangkan oleh Stephen Kemmis, Robin Mc Taggart, John Elliot, Dave Ebbutt dan lainnya. Pada awalnya penelitian tindakan menjadi salah satu model penelitian yang dilakukan pada bidang pekerjaan tertentu dimana peneliti melakukan pekerjaannya, baik di bidang pendidikan, kesehatan maupun pengelolaan sumber daya manusia. Salah satu contoh pekerjaan utama dalam bidang pendidikan adalah mengajar di kelas, menangani bimbingan dan konseling, dan mengelola sekolah. Dengan demikian yang menjadi subyek penelitian adalah situasi di kelas, individu siswa atau di sekolah. Para guru atau kepala sekolah dapat melakukan kegiatan penelitiannya tanpa harus pergi ke tempat lain seperti para peneliti konvensional pada umumnya.

Secara lebih luas penelitian tindakan diartikan sebagai penelitian yang berorientasi pada penerapan tindakan dengan tujuan peningkatan mutu atau pemecahan masalah pada sekelompok subyek yang diteliti dan mengamati tingkat keberhasilan atau akibat tindakannya, untuk kemudian diberikan tindakan lanjutan yang bersifat penyempurnaan tindakan atau penyesuaian dengan kondisi dan situasi sehingga diperoleh hasil yang lebih baik. Dalam konteks pekerjaan guru maka penelitian tindakan yang dilakukannya disebut Penelitian Tindakan Kelas, dengan demikian Penelitian Tindakan Kelas adalah suatu kegiatan penelitian dengan mencermati sebuah kegiatan belajar yang diberikan tindakan, yang secara sengaja dimunculkan dalam sebuah kelas, yang bertujuan memecahkan masalah atau meningkatkan mutu pembelajaran di kelas tersebut. Tindakan yang secara sengaja dimunculkan tersebut diberikan oleh guru atau berdasarkan arahan guru yang kemudian dilakukan oleh siswa.

Dalam hal ini arti Kelas tidak terikat pada pengertian ruang kelas, tetapi dalam pengertian yang lebih spesifik, yaitu kelas adalah sekelompok siswa yang dalam waktu yang sama, menerima pelajaran yang sama dari guru yang sama juga (Suharsimi: 2005).

Terdapat beberapa tujuan penelitian, diantaranya adalah untuk memecahkan masalah yang dihadapi manusia dan menemukan serta mengembangkan suatu pengetahuan. Khususnya untuk penelitian tindakan kelas memiliki tujuan untuk memperbaiki dan atau meningkatkan praktik pembelajaran secara berkesinambungan (Tim Pelatih Proyek PGSM : 1999).

Beberapa pakar mengemukakan karakteristik penelitian tindakan kelas sebagai berikut : (1) didasarkan atas masalah yang dihadapi guru dalam pembelajaran; (2) dilakukan secara kolaboratif melalui kerja sama dengan pihak lain; (3) peneliti sekaligus sebagai praktisi yang melakukan refleksi; (4) bertujuan memecahkan masalah atau meningkatkan mutu pembelajaran; dan (5) dilaksanakan dalam rangkaian langkah yang terdiri dari beberapa siklus; (6) yang diteliti adalah tindakan yang dilakukan, meliputi efektifitas metode, teknik, atau proses pembelajaran (termasuk perencanaan, pelaksanaan dan penilaian); (7) tindakan yang dilakukan adalah tindakan yang diberikan oleh guru kepada peserta didik.

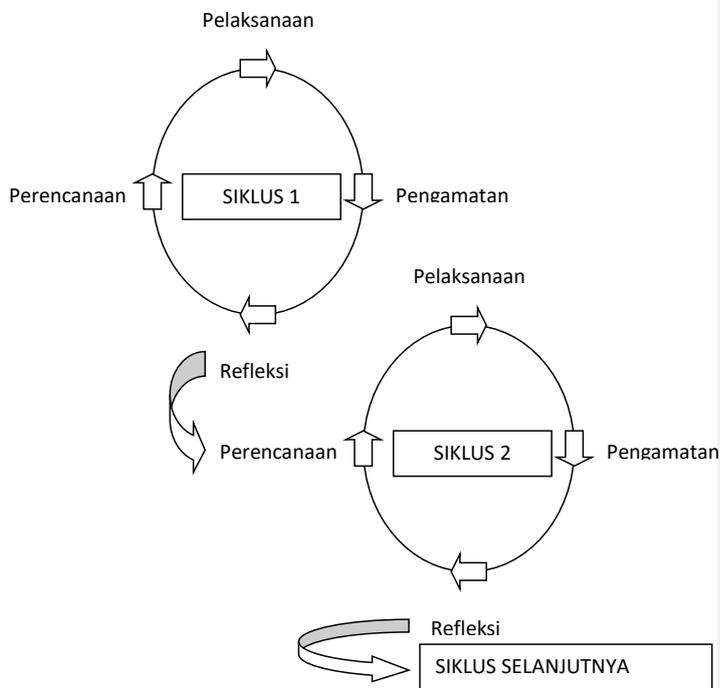
Agar peneliti memperoleh informasi atau kejelasan tetapi tidak menyalahi kaidah yang ditentukan, perlu kiranya difahami bersama prinsip-prinsip yang harus dipenuhi apabila sedang melakukan penelitian tindakan kelas. Secara umum prinsip-prinsip tersebut adalah : (1) tidak mengganggu komitmen guru sebagai pengajar; (2) metode pengumpulan data tidak menuntut waktu yang berlebihan; (3) metodologi yang digunakan harus reliable sehingga memungkinkan guru mengidentifikasi serta merumuskan hipotesis secara meyakinkan; (4) masalah berawal dari kondisi nyata di kelas yang dihadapi guru; (5) dalam penyelenggaraan penelitian, guru harus memperhatikan etika profesionalitas guru; (6) meskipun yang dilakukan adalah di kelas, tetapi harus dilihat dalam konteks sekolah secara menyeluruh; (7) tidak mengenal populasi dan sampel; (8) tidak mengenal kelompok eksperimen dan control; dan (9) tidak untuk digeneralisasikan.

### 3.1. Pelaksanaan Penelitian Tindakan Kelas

Ada beberapa ahli yang mengemukakan model penelitian tindakan kelas seperti dinyatakan sebelumnya, namun secara garis besar terdapat empat tahapan

yang lazim dilalui, yaitu tahap: (1) perencanaan, (2) pelaksanaan, (3) pengamatan, dan (4) refleksi. Namun perlu diketahui bahwa tahapan pelaksanaan dan pengamatan sesungguhnya dilakukan secara bersamaan. Adapun model dan penjelasan untuk masing-masing tahap adalah sebagai berikut.

**Gambar 1.2** Alur Penelitian Tindakan Kelas dengan 4 Tahap Kegiatan



**Tahap 1: Perencanaan tindakan**

Dalam tahap ini peneliti menjelaskan tentang apa, mengapa, kapan, di mana, oleh siapa, dan bagaimana tindakan tersebut dilakukan. Penelitian tindakan yang ideal sebetulnya dilakukan secara berpasangan antara pihak yang melakukan tindakan dan pihak yang mengamati proses jalannya tindakan

(apabila dilaksanakan secara kolaboratif). Cara ini dikatakan ideal karena adanya upaya untuk mengurangi unsur subjektivitas pengamat serta mutu kecermatan amatan yang dilakukan. Bila dilaksanakan sendiri oleh guru sebagai peneliti maka instrumen pengamatan harus disiapkan disertai lembar catatan lapangan. Yang perlu diingat bahwa pengamatan yang diarahkan pada diri sendiri biasanya kurang teliti dibanding dengan pengamatan yang dilakukan terhadap hal-hal yang berada di luar diri, karena adanya unsur subjektivitas yang berpengaruh, yaitu cenderung mengunggulkan dirinya. Dalam pelaksanaan pembelajaran rencana tindakan dalam rangka penelitian dituangkan dalam bentuk Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP).

#### **Tahap 2: Pelaksanaan Tindakan**

Tahap ke-2 dari penelitian tindakan adalah pelaksanaan, yaitu implementasi atau penerapan isi rencana tindakan di kelas yang diteliti. Hal yang perlu diingat adalah bahwa dalam tahap 2 ini pelaksana guru harus ingat dan berusaha mentaati apa yang sudah dirumuskan dalam rencana tindakan, tetapi harus pula berlaku wajar, tidak kaku dan tidak dibuat-buat. Dalam refleksi, keterkaitan antara pelaksanaan dengan perencanaan perlu diperhatikan.

#### **Tahap 3: Pengamatan terhadap tindakan**

Tahap ke-3, yaitu kegiatan pengamatan yang dilakukan oleh pengamat (baik oleh orang lain maupun guru sendiri). Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa kegiatan pengamatan ini tidak terpisah dengan pelaksanaan tindakan karena pengamatan dilakukan pada waktu tindakan sedang dilakukan. Jadi keduanya berlangsung dalam waktu yang sama. Sebutan tahap 2 dan 3 dimaksudkan untuk memberikan peluang kepada guru pelaksana yang berstatus juga sebagai pengamat, yang mana ketika guru tersebut sedang melakukan tindakan tentu tidak sempat menganalisis peristiwanya ketika sedang terjadi. Oleh karena itu kepada guru pelaksana yang berstatus sebagai pengamat ini untuk melakukan "pengamatan balik" terhadap apa yang terjadi

ketika tindakan berlangsung. Sambil melakukan pengamatan balik ini guru pelaksana mencatat sedikit demi sedikit apa yang terjadi.

#### **Tahap 4: Refleksi terhadap tindakan**

Tahap ke-4 ini merupakan kegiatan untuk mengemukakan kembali apa yang sudah dilakukan. Istilah "refleksi" dari kata bahasa Inggris reflection, yang diterjemahkan dalam bahasa Indonesia pemantulan. Kegiatan refleksi ini sebetulnya lebih tepat dikenakan ketika guru pelaksana sudah selesai melakukan tindakan, kemudian berhadapan dengan peneliti untuk mendiskusikan implementasi rancangan tindakan. Inilah inti dari penelitian tindakan, yaitu ketika guru pelaku tindakan mengatakan kepada peneliti pengamat tentang hal-hal yang dirasakan sudah berjalan baik dan bagian mana yang belum. Apabila guru pelaksana juga berstatus sebagai pengamat, maka refleksi dilakukan terhadap diri sendiri. Dengan kata lain guru tersebut melihat dirinya kembali, melakukan "dialog" untuk menemukan hal-hal yang sudah dirasakan memuaskan hati karena sudah sesuai dengan rancangan dan mengenali hal-hal yang masih perlu diperbaiki. Dalam hal seperti ini maka guru melakukan "self evaluation" yang diharapkan dilakukan secara obyektif. Untuk menjaga obyektifitas tersebut seringkali hasil refleksi ini diperiksa ulang atau divalidasi oleh orang lain, misalnya guru/teman sejawat yang diminta mengamati, ketua jurusan, kepala sekolah atau nara sumber yang menguasai bidang tersebut. Jadi pada intinya kegiatan refleksi adalah kegiatan evaluasi, analisis, pemaknaan, penjelasan, penyimpulan dan identifikasi tindak lanjut dalam perencanaan siklus selanjutnya.

Keempat tahap dalam penelitian tindakan tersebut adalah unsur untuk membentuk sebuah siklus, yaitu satu putaran kegiatan beruntun, dari tahap penyusunan rancangan sampai dengan refleksi, yang tidak lain adalah evaluasi. Apabila dikaitkan dengan "bentuk tindakan" sebagaimana disebutkan dalam uraian ini, maka yang dimaksud dengan bentuk tindakan adalah siklus tersebut. Jadi bentuk penelitian tindakan tidak pernah merupakan kegiatan tunggal tetapi

selalu berupa rangkaian kegiatan yang akan kembali ke asal, yaitu dalam bentuk siklus.

### 3.2. Teknik Pengumpulan Data

Di dalam kegiatan penelitian, cara memperoleh data ini dikenal sebagai metode pengumpulan data. Metode pengumpulan data yang lazim dilakukan dalam penelitian tindakan kelas adalah metode observasi, wawancara, kuesioner, dokumentasi dan tes, yang kesemuanya merupakan bagian dari metode pengumpulan data. Seringkali orang mengartikan observasi sebagai suatu aktivitas yang sempit, yakni memperhatikan sesuatu dengan menggunakan mata. Di dalam pengertian psikologi, observasi atau yang disebut pula dengan pengamatan, meliputi kegiatan pemusatan perhatian terhadap sesuatu obyek dengan menggunakan seluruh alat indera. Jadi mengobservasi dapat dilakukan melalui penglihatan, penciuman, pendengaran, peraba dan pengecap.

### 3.3. Variabel dan Hipotesis

Variabel Penelitian pada dasarnya adalah segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal tersebut, kemudian ditarik kesimpulannya. (Sugiyono, 2007). Beberapa pakar mengatakan bahwa dalam penelitian tindakan kelas hanya dikenal adanya variabel tunggal, yaitu variabel tindakan. Namun beberapa pakar lain menyebutkan **bahwa** terdapat dua variabel, yaitu variabel tindakan dan variabel masalah, karena tindakan yang dilakukan adalah untuk memecahkan masalah.

Tidak semua jenis penelitian mempunyai hipotesis. Hipotesis merupakan dugaan sementara yang selanjutnya diuji kebenarannya sesuai dengan model dan analisis yang cocok. Hipotesis penelitian dirumuskan atas dasar kerangka pikir yang merupakan jawaban sementara atas masalah yang dirumuskan.

### 3.4. Sasaran Penelitian

Sasaran atau objek dari penelitian tindakan kelas harus merupakan sesuatu yang aktif dan dapat dikenai aktivitas, bukan objek yang sedang diam dan tanpa gerak. Arikunto (2006). Beberapa pakar mengatakan bahwa dalam penelitian tindakan kelas tidak dikenal istilah populasi dan sampel, karena pada penelitian tindakan yang menjadi sasaran penelitian adalah keseluruhan siswa di sebuah kelas dan hasil penemuan serta kesimpulan penelitian hanya berlaku untuk kelas tersebut. Pakar lain menyebutkan bahwa penelitian tindakan kelas dapat dikatakan penelitian populasi karena yang diteliti adalah keseluruhan subyek penelitian. Namun yang pasti bahwa hasil temuan dan kesimpulan penelitian tidak untuk digeneralisasikan, misalnya bahwa keberhasilan sebuah metode pada sebuah kelas akan berhasil juga pada kelas lain di sekolah tersebut.

### 3.5. Persiapan dan Pelaksanaan Penelitian Tindakan Kelas

Sebelum melakukan penelitian tindakan kelas, perjelas lebih dulu latar belakang masalah, rumusan masalah dan tujuan penelitian. Yang perlu dilakukan adalah adanya kesinkronan antara masalah dan tujuan penelitian. Masalah penelitian dirumuskan dengan mendefinisikan masalah nyata di kelas, misalnya : siswa kurang aktif pada pembelajaran Fisika. Masalah kurang aktifnya siswa ini kemudian dipecahkan dengan upaya menerapkan metode pemberian tugas proyek. Gabungan dari masalah nyata di kelas dan pemecahannya selanjutnya ditulis dalam bentuk hipotesis, yaitu : "Penerapan metode pemberian tugas proyek dalam pembelajaran mampu meningkatkan aktifitas siswa pada pembelajaran Teknik Pemesinan XI SMK Wirausaha Tahun Ajaran 2014/2015". Karena tujuan penelitian adalah memecahkan masalah maka rumusan masalah penelitian disusun dengan mempertanyakan hipotesis, yaitu : "Apakah penerapan metode pemberian tugas proyek dalam pembelajaran mampu meningkatkan aktifitas siswa pada pembelajaran Teknik Pemesinan Kelas XI SMK Wirausaha Tahun Ajaran 2008/2009?". Dengan rumusan masalah penelitian seperti itu maka tujuan penelitian yang sesuai adalah : "Untuk

mengetahui keberhasilan penerapan metode pemberian tugas proyek dalam pembelajaran guna meningkatkan aktifitas siswa pada pembelajaran Teknik Pemesinan kelas XI SMK Wirausaha Tahun Ajaran 2008/2009”.

Setelah jelas masalah dan tujuannya maka ditentukan Indikator Keberhasilan penerapan Metode Pemberian Tugas Proyek, yang selanjutnya juga dibuat Indikator Proses dan Urutan Kegiatan sesuai tabel kisi-kisi di atas. Urutan kegiatan itulah yang dituangkan dalam bentuk Rencana Pelaksanaan Pembelajaran. Berdasarkan urutan kegiatan tersebut dapat ditentukan instrumen yang diperlukan yakni berupa lembar pengamatan (untuk mengamati tingkah laku siswa, guru, dan penggunaan sarana pembelajaran). Bila dirasakan perlu mengorek keterangan lebih jauh maka dapat disiapkan pedoman wawancara atau bahkan disiapkan angket. Setelah instrumen penelitian disiapkan maka disiapkan segala keperluan yang akan digunakan dalam pembelajaran, misalnya lembar materi, lembar tes, alat peraga dan sebagainya. Apabila sudah siap maka dimulailah penerapan tindakan dalam kelas yang diajar oleh guru. Penerapan tindakan mungkin saja dilakukan dalam beberapa kali tatap muka. Setiap kali tatap muka maka sekaligus dilakukan pengamatan oleh rekan mitra kerja atau oleh guru sendiri. Selesai satu tindakan, selanjutnya guru melakukan refleksi pelaksanaan pembelajaran atas dasar pengamatan yang sudah dilakukan. Dalam hal ini guru mengkaji isi lembar observasi, hasil tes, catatan lapangan, atau hasil angket bila ada. Yang perlu diingat adalah, sejauh mana penerapan tindakan tersebut telah mencapai keberhasilan sebagaimana ditunjukkan dalam Indikator Keberhasilan dan sejauh mana prosesnya telah sesuai dengan Indikator Proses yang direncanakan. Dari hasil refleksi yang berupa evaluasi pelaksanaan pembelajaran ini maka guru merencanakan tindakan lanjutan yang berupa perbaikan atas kekurangan yang terjadi dalam pelaksanaan pembelajaran sesuai dengan pemberian tindakan yang telah direncanakan. Demikian seterusnya proses berjalan siklus demi siklus sampai dirasakan bahwa tindakan yang diterapkan telah berhasil meningkatkan mutu pembelajaran.

### 3.6. Sistematika Proposal Penelitian

Seperti halnya pada jenis penelitian yang lain, untuk melakukan PTK pun diawali dengan pembuatan proposal yang berisi rancangan tindakan untuk mendapatkan kesepakatan/persetujuan dari pimpinan sekolah sebagai bentuk dukungan yang dapat menjadi motivasi dalam melaksanakan kegiatannya, Sistematika dari proposal PTK dapat dibuat seperti berikut.

#### **Halaman Judul**

Halaman ini minimal berisi Judul Penelitian, Nama Peneliti, dan Instansi Peneliti

#### **Halaman Pengesahan**

Halaman ini berisi pernyataan pengesahan Judul Penelitian oleh Pembimbing dan Pimpinan Instansi/Sekolah

#### **Kata Pengantar**

Halaman ini berisi ungkapan rasa syukur, ucapan terima kasih pada yang terlibat dalam penelitian, dan harapan peneliti dengan dilakukannya penelitian.

#### **Daftar Isi**

Halaman ini berisi sistematika dari isi proposal

### **BAB I PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Halaman ini dapat berisi Dasar Hukum Pelaksanaan Pendidikan (UU, PP atau Permendikbud), Keberadaan/Kondisi Sekolah, Permasalahan yang sering terjadi di sekolah, serta harapan peneliti setelah dilakukan penelitian.

#### **1.2 Identifikasi Masalah**

Halaman ini berisi hasil identifikasi setiap alinea pada latar belakang yang dapat memunculkan masalah dalam pelaksanaan persekolahan atau pembelajaran di kelas.

#### **1.3 Batasan Masalah**

Halaman ini berisi masalah yang dipilih untuk diteliti dari hasil identifikasi masalah

#### **1.4 Rumusan Masalah**

Halaman ini berisi ungkapan rumusan masalah yang dipilih pada batasan masalah. Biasanya diungkapkan dalam kalimat tanya. Dari rumusan masalah ini dapat menetapkan judul penelitian

#### **1.5 Tujuan Penelitian**

Halaman ini berisi ungkapan tujuan sesuai dengan rumusan masalah yang dibuat

#### **1.6 Manfaat Penelitian**

Halaman ini berisi manfaat hasil penelitian yang dapat dirinci untuk Dinas Pendidikan, Sekolah dan Guru.

### **BAB II KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1 Teori Pendukung**

Halaman ini berisi konsep/teori dari variabel penelitian

#### **2.2 Hasil Penelitian yang Relevan**

Halaman ini berupa kutipan hasil-hasil penelitian sejenis (ada kesamaan variabel penelitian) yang telah dilakukan.

#### **2.3 Hipotesis Tindakan**

Halaman ini berisi pernyataan hipotesis/asumsi/jawaban sementara dari tindakan yang akan dilakukan berdasarkan teori pendukung dan hasil penelitian yang relevan

### **BAB III METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Setting**

##### **3.1.1 Tempat Penelitian**

##### **3.1.2 Waktu dan Siklus Penelitian**

##### **3.1.3 Observer**

#### **3.2 Subyek Penelitian**

Halaman ini berisi jumlah siswa dan kelas berapa yang akan dijadikanobyek penelitian

### **3.3 Sumber Data**

Halaman ini berisi jenis data yang diperlukan dalam penelitian yang diambil dari proses pembelajaran dan atau nilai siswa

### **3.4 Teknik Pengumpulan Data**

Halaman ini berisi penjelasan teknik pengumpulan data menggunakan instrumen apa (pengamatan, penilaian atau perbandingan)

### **3.5 Validasi Data**

Halaman ini berisi ungkapan perlunya membandingkan data yang diperoleh dengan data sebelumnya yang telah dimiliki untuk keperluan validasi.

### **3.6 Teknik Pengolahan Data**

Halaman ini berisi cara mengolah data hasil penelitian baik yang berupa pernyataan atau kualitatif maupun yang berupa angka atau kuantitatif

### **3.7 Indikator Kinerja**

Halaman ini berisi ungkapan indikator yang dijadikan dasar untuk menentukan kapan penelitian ini sudah mencapai tujuannya

### **3.8 Prosedur Penelitian**

Halaman ini berisi langkah-langkah atau tahapan penelitian yang akan dilakukan dari awal sampai penyusunan laporan

### **3.9 Jadwal Penelitian**

Halaman ini berisi rencana pelaksanaan kegiatan-kegiatan penelitian

### **3.10 Rencana Anggaran**

Halaman ini berisi besaran dana yang diperlukan untuk masing-masing kegiatan penelitian dan alat bahan bahan yang diperlukan.

### **DAFTAR PUSTAKA**

### 3.7. Sistematika Laporan Penelitian

Salah satu bukti dari penelitian yang sudah dilaksanakan adalah dengan disusunnya laporan hasil penelitian. Untuk memudahkan penyusunan, dapat mengacu pada proposal yang telah dibuat sebelum penelitian dilakukan, khususnya untuk bab I dan bab II serta memodifikasi bab III nya, Secara utuh, isi dari laporan penelitian dapat dibuat seperti sistematika berikut.

Halaman Judul
Halaman Pengesahan
Abstrak
Kata Pengantar
Daftar Isi
Daftar Gambar/Tabel
I. Pendahuluan
1.1 Latar belakang
1.2 Identifikasi masalah (diidentifikasi dari setiap alinea pada latar belakang)
1.3 Pembatasan masalah (dipilih dari identifikasi masalah)
1.4 Rumusan masalah (dari pembatasan masalah)
1.5 Tujuan penelitian (sesuaikan dengan rumusan masalah)
1.6 Manfaat penelitian (bagi pribadi peneliti, teman sejawat dan sekolah)
II. Landasan Teori
2.1 Teori yang mendukung/relevan (variable penelitian dan keterangan yang tertulis dalam judul penelitian)
2.2 Hasil penelitian yang relevan (tuliskan nama peneliti, judul dan kesimpulan penelitiannya)
2.3 Kerangka berpikir/paradigma penelitian (alur antar variable bebas dan terikat atau alur dari kondisi awal ke kondisi akhir penelitian)
2.4 Hipotesis tindakan
III. Metode Penelitian

- 3.1 Setting (tempat, waktu, siklus, observer)
- 3.2 Subyek Penelitian (siswa, guru)
- 3.3 Sumber Data (melalui KBM, guru, siswa)
- 3.4 Teknik Pengumpulan Data (pengamatan, wawancara, dokumen, tes)
- 3.5 Validasi Data (Hasil belajar yang divalidasi instrumen tes dan proses pembelajaran yang divalidasi datanya)
- 3.6 Teknik Analisis Data (model interaktif dengan reduksi data atau model analisis normatif berdasarkan norma misalnya kurikulum)
- 3.7 Indikator kinerja (kondisi akhir yang diharapkan)
- 3.8 Prosedur/langkah-langkah penelitian
- IV. Hasil Penelitian dan Pembahasan
  - 4.1 Deskripsi Kondisi Awal
  - 4.2 Deskripsi Hasil Siklus I
    - 4.2.1 Perencanaan Tindakan
    - 4.2.2 Pelaksanaan Tindakan
    - 4.2.3 Hasil Pengamatan
    - 4.2.4 Refleksi
  - 4.3 Deskripsi Hasil Siklus II
  - 4.4 Pembahasan Tiap Siklus & Antarsiklus
  - 4.5 Kesimpulan dari Hasil Penelitian
    - 4.5.1 Sajikan tiap siklus (rencana tindakan, pelaksanaan pembelajaran guru-siswa, tanggapan siswa, variabel yang diteliti, analisis dan refleksi
    - 4.5.2 Siklus I
    - 4.5.3 Siklus II
    - 4.5.4 Pembahasan antarsiklus
- V. Penutup (Simpulan dan Saran)
- Daftar Pustaka
- Lampiran

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

Aktivitas pembelajaran yang dilakukan untuk mempelajari modul ini adalah sebagai berikut:

##### **Aktivitas 1: Membacaisi materi (Mengamati)**

Bacalah materi pembelajaran yang terdapat dalam modul ini, kemudian catatlah hal-hal yang belum Anda pahami dari hasil membaca tersebut.

##### **Aktivitas 2 :Tanya Jawab tentang materi (Menanya)**

Dari hasil membaca materi pada kegiatan sebelumnya lakukan tanya jawab dengan teman sekelompok ataupun dengan instruktur/widyaiswara dari hal-hal yang belum Anda mengerti dari konsep yang sudah dipelajari

##### **Aktivitas 3 :Mengumpulkan informasi tentangmateri (Mencoba)**

Carilah informasi berkenaan dengan materi yang dipelajari. Informasi bisa didapat dari sumber lain selain modul misalnya dari internet atau dari hasil wawancara dengan narasumber yang dianggap mampu menjawab persoalan pada aktivitas 2.

##### **Aktivitas 4: Menganalisis informasi berkaitan dengan materi(Menalar)**

Lakukan analisis terhadap informasi yang didapat pada aktivitas 3, kemudian olah informasi tersebut sehingga diperoleh jawaban yang tepat terhadap persoalan yang diberikan.

##### **Aktivitas 5: Mengkomunikasikan hasil diskusi (Mengomunikasikan)**

Lakukan presentasi di depan kelas dan mintalah masukan dari teman-teman Anda kemudian dari hasil masukan tersebut lakukan perbaikan terhadap permasalahan yang telah dibuat sebelumnya.

## E. Rangkuman

1. 7 (tujuh) prinsip pembelajaran mencakup (1) perhatian dan motivasi; (2) keaktifan; (3) keterlibatan langsung; (4) pengulangan; (5) tantangan; (6) balikan dan penguatan; dan (7) perbedaan individual.
2. Refleksi adalah suatu kegiatan yang dilakukan dalam proses belajar mengajar berupa penilaian tertulis maupun lisan oleh anak didik atau supervisor kepada guru, berisi ungkapan kesan, pesan, harapan serta kritik membangun atas pembelajaran yang telah dilakukan.
3. Faktor yang perlu direfleksikan mencakup tahap persiapan (setting kelas, fasilitas, bahan belajar dan RPP), pelaksanaan (keterlaksanaan RPP, ketepatan model/strategi/teknik pembelajaran, keterlibatan siswa, kecukupan waktu dan variasi guru mengelola kelas) serta evaluasi (kesesuaian soal dengan tujuan pembelajaran, teknik evaluasi dan tindak lanjut yang dibuat).
4. Pengembangan pembelajaran merupakan proses yang dilakukan oleh guru dalam menata atau merancang pembelajaran sehingga dapat memenuhi tujuan pembelajaran yang telah ditentukan sebelumnya.
5. Model pembelajaran ASSURE mencakup Analyze learner; State objectives; Select instructional methods, media and materials; Utilize media and materials; Require learner participation; Evaluate and revise.
6. Model pembelajaran ADDIE mencakup kegiatan Analysis, Design-Develop, Implement, dan Evaluate.
7. Model pembelajaran yang dikemukakan oleh Jerold E. Kemp dkk. berbentuk lingkaran atau Cycle. yang menunjukkan adanya proses kontinyu dalam menerapkan desain sistem pembelajaran.
8. Penelitian tindakan kelas diartikan sebagai penelitian yang berorientasi pada penerapan tindakan dengan tujuan peningkatan mutu atau pemecahan masalah pada sekelompok subyek yang diteliti dan mengamati tingkat keberhasilan atau akibat tindakannya, untuk kemudian diberikan tindakan lanjutan yang bersifat penyempurnaan tindakan atau penyesuaian dengan kondisi dan situasi sehingga diperoleh hasil yang lebih baik.

9. Pelaksanaan penelitian tindakan minimal dilakukan dalam dua siklus yang setiap siklus terdiri (1) perencanaan, (2) pelaksanaan, (3) pengamatan, dan (4) refleksi.

#### F. Tes Formatif

Pilihlah jawaban yang tepat dari soal berikut !

1. Perencanaan pembelajaran merupakan langkah awal bila guru akan melakukan peningkatan kualitas pembelajaran. Kegiatan yang paling penting dalam perencanaan adalah....
  - A. mengidentifikasi masalah yang akan timbul
  - B. menyiapkan rubrik penilaian dan post test
  - C. merancang secara rinci kegiatan yang akan dilakukan
  - D. memilih bahan ajar yang mengandung permasalahan
2. Refleksi merupakan kegiatan yang sangat penting dalam kegiatan pembelajaran, karena akan menentukan ....
  - A. apakah tindakan yang dilakukan mencapai tujuan
  - B. apakah siswa menunjukkan aktivitas yang lebih baik
  - C. apakah guru sudah jujur menilai proses pembelajaran
  - D. apakah aktivitas belajar mengajar sesuai jadwal
3. Refleksi hasil pembelajaran yang paling tepat dilakukan guru adalah ....
  - A. menyempurnakan rencana pelaksanaan pembelajarannya
  - B. melakukan wawancara dengan siswa tentang hasil pembelajaran
  - C. berdiskusi dengan guru lain yang mengajar di kelas yang sama
  - D. menerapkan strategi pembelajaran berbeda
4. Penelitian Tindakan Kelas (PTK) wajib dilakukan oleh guru di dalam kelas dengan fokus pada pembelajaran, karena tujuan utamanya adalah meningkatkan....
  - A. aktivitas guru dalam mengajar
  - B. partisipasi siswa dalam belajar
  - C. salah satu syarat kenaikan pangkat guru

- D. kualitas praktik pembelajaran di kelas
5. Langkah awal yang perlu disadari oleh semua guru yang akan melakukan Penelitian Tindakan Kelas (PTK) adalah....
- A. menuliskan judul penelitian
  - B. merumuskan tujuan penelitian
  - C. menyadari adanya masalah
  - D. menemukan metode yang sesuai
6. Manakah diantara judul penelitian berikut yang menggambarkan penelitian tindakan kelas....
- A. Peningkatan keterampilan menulis siswa SMP kelas VIII melalui metode tugas terstruktur
  - B. Peranan wali kelas dalam meningkatkan aktivitas siswa kelas VII SMP Negeri Y.
  - C. Usaha guru dalam meningkatkan keterampilan sosial siswa pada mata pelajaran IPS kelas VII SMP YY.
  - D. Hubungan antara tingkat sosial ekonomi orangtua siswa dengan hasil belajar siswa kelas X SMP Negeri Y
7. Menginventarisir berbagai masalah yang muncul di sekolah tempat guru mengajar dapat dikategorikan ke dalam kegiatan....
- A. merumuskan masalah
  - B. membatasi masalah
  - C. Identifikasi masalah
  - D. Penjelasan masalah
8. Hasil nyata dari penelitian tindakan kelas dalam proses pembelajaran adalah....
- A. tersusunnya laporan penelitian kelas
  - B. meningkatnya hasil belajar siswa
  - C. aktivitas belajar mengajar semakin meningkat
  - D. tingginya aktivitas guru dalam mengajar
9. Dalam melakukan penelitian tindakan kelas guru seringkali berbuat kesalahan berikut ini, kecuali...
- A. Mengganti metode pada siklus berikutnya

- B. Tiap siklus menggunakan kelas yang berbeda
  - C. Materi pelajaran di ulang-ulang pada tiap siklus
  - D. Kondisi siswa dalam setting belajar yang alami
10. Tindakan yang akan dilakukan oleh guru dalam PTK untuk memperbaiki proses pembelajaran atau hasil belajar yang ingin dicapai siswa seharusnya berbasis....
- A. Perijinan dan dana yang dimiliki oleh guru
  - B. Waktu dan materi yang dialokasikan dalam kurikulum
  - C. Rendahnya hasil dan kesulitan belajar siswadi kelas
  - D. Besarnya angka kredit yang ingin dicapai oleh guru
11. Bab II berisi tentang tinjauan pustaka yang memuat berbagai teori yang akan menjadi fondasi dalam pemecahan masalah, karena itu harus berisi....
- A. Filosofi tentang hakikat pendidikan
  - B. Konsep-konsep yang terkait dengan judul
  - C. Berbagai model dan metode pembelajaran
  - D. Materi pembelajaran yang akan diajarkan
12. Perencanaan pembelajaran merupakan langkah awal bila guru akan melakukan tindakan kelas, kegiatan yang paling penting dalam perencanaan adalah....
- A. Mengidentifikasi masalah yang akan timbul
  - B. Menyiapkan rubrik penilaian dan post test
  - C. Memilih bahan ajar yang mengandung permasalahan
  - D. Merancang secara rinci kegiatan yang akan dilakukan
13. Refleksi merupakan kegiatan yang sangat penting dalam kegiatan penelitian tindakan kelas, karena akan menentukan .....
- A. apakah tindakan yang dilakukan mencapai tujuan
  - B. apakah siswa menunjukkan aktivitas yang lebih baik
  - C. apakah guru sudah jujur menilai proses pembelajaran
  - D. apakah aktivits belajar mengajar sesuai jadual
14. Penelitian tindakan kelas tidak mengganggu proses belajar mengajar yang rutin dilakukan oleh guru, karena penelitian tindakan kelas ....
- A. komprehensif antara metode dengan media

- B. integrasi dengan belajar mengajar sehari-hari
  - C. mengikuti etika akademis
  - D. mempergunakan post dan pretest design
15. Langkah-langkah manakah yang sistematis dalam melaksanakan penelitian tindakan kelas (PTK) ....
- A. Perencanaan-Tindakan- Pengamatan-Evaluasi dan Refleksi
  - B. Perencanaan- Pengamatan-Tindakan-Evaluasi dan Refleksi
  - C. Perencanaan-Tindakan-Evaluasi dan Refleksi- Pengamatan
  - D. Perencanaan-Pengamatan-Evaluasi dan Refleksi-Tindakan

### G. Kunci Jawaban

1. C
2. A
3. B
4. D
5. C
6. A
7. C
8. B
9. D
10. C
11. B
12. D
13. A
14. B
15. A

## KEGIATAN PEMBELAJARAN 2 : PERENCANAAN APLIKASI PLTB

### A. Tujuan

Setelah mempelajari kegiatan pembelajaran 2 perencanaan aplikasi PLTB peserta mampu memahami sejarah pemanfaatan energi angin, karakteristik teknologi angin dan konfigurasi turbin angin.

### B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Indikator pencapaian kompetensi, peserta mampu:

- Menyusun prinsip studi kelayakan dengan benar
- Menyusun perencanaan studi kelayakan dengan benar dan runtut.

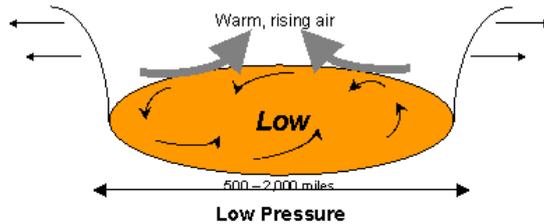
### C. Uraian Materi

#### 2.1 Apakah Angin itu ?

Angin adalah gerakan udara di atas permukaan bumi, yang bertiup dari daerah yang bertekanan tinggi ke daerah yang bertekanan rendah. Daerah udara bertekanan tinggi terbentuk jika suatu massa udara mengalami pendinginan di atas permukaan tanah atau laut. Pendinginan ini menyebabkan lapisan udara menyusut dan menjadi lebih tipis. Kemudian, penyusutan ini menyebabkan udara sekeliling pada troposfir sebelah atas akan mengisi ruang ekstra akibat penyusutan tadi. Penambahan berat akibat udara ekstra ini menyebabkan tekanan yang lebih tinggi pada permukaan. Udara bertekanan lebih tinggi pada permukaan ini bertiup menuju ke daerah bertekanan lebih rendah, tetapi karena perputaran bumi, maka angin menjadi berbelok. Gambar 2.1 menunjukkan ilustrasi terjadinya daerah bertekanan tinggi.



Gambar 2. 2 Ilustrasi Terjadinya Daerah Bertekanan Rendah



Sedangkan daerah udara bertekanan rendah terbentuk jika suatu massa udara mengalami pemanasan di atas permukaan tanah atau laut, atau pemanasan akibat kondensasi uap air dalam kondisi hujan lebat. Pemanasan ini menyebabkan lapisan udara berekspansi ke atas, sehingga lapisan udara menjadi lebih tebal. Pengembangan ini menyebabkan udara pada troposfir sebelah atas terdorong dan menimbulkan pengurangan massa dan juga berarti pengurangan berat, sehingga timbul daerah bertekanan rendah. Gambar 2.2 menunjukkan ilustrasi terjadinya daerah bertekanan rendah.

Mengapa Tekanan Udara Berbeda-beda ?

Ada 2 penyebab terjadinya perbedaan tekanan tersebut, yaitu :

1. Rotasi bumi

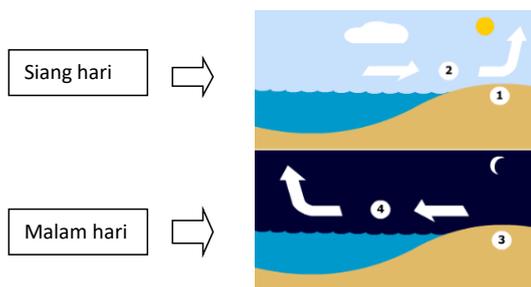
Perputaran bumi pada sumbunya menyebabkan udara di sekeliling permukaan bumi ikut bergerak bersama-sama. Tetapi, udara pada atmosfer yang lebih tinggi kurang terpengaruh oleh putaran bumi ini, sehingga terjadi perbedaan kecepatan udara. Keadaan ini menyebabkan timbulnya angin pada permukaan bumi.

2. Pengaruh pemanasan matahari

Pengaruh pemanasan matahari berbeda-beda pada tiap ruang dan waktu dalam sehari. Udara yang lebih panas memiliki kerapatan (= massa jenis) yang lebih kecil dibandingkan dengan udara yang lebih dingin. Tekanan udara di daerah katulistiwa lebih rendah dari tekanan udara di daerah kutub. Selain itu, terdapat

pula pengaruh-pengaruh lokal terjadinya angin. Daratan akan memanas dan mendingin secara lebih cepat jika dibandingkan dengan lautan.

Gambar 2.3 Terjadinya Angin Akibat Pengaruh Lokal Di Daerah Perairan



Keterangan Gambar 2.3 :

1. Selama siang hari udara di atas daratan memanas, memuai dan menjadi lebih kecil massa jenisnya. Selanjutnya, udara ini akan naik.
2. Tekanan udara di atas daratan turun dan udara dari arah lautan, yang tekanannya lebih tinggi, akan bergerak menuju daratan tersebut. Hembusan angin dari arah lautan ke daratan akan terjadi.
3. Pada saat malam temperatur daratan turun lebih cepat dari temperatur lautan.
4. Udara di atas lautan menjadi lebih panas dari udara di atas daratan, sehingga udara di atas lautan akan naik dan berhembus dari perairan menuju lautan.

#### Karakteristik angin

Berdasarkan terjadinya angin serta berbagai aliran angin, beberapa karakteristik utama angin adalah sebagai berikut:

- Angin terjadi karena perbedaan tekanan udara di atmosfer
- Pola aliran angin bergantung pada kondisi lokasi dan dataran ( angin darat dan angin laut, angin gunung dan lembah, dll)

- Angin mengalir dengan kecepatan dan arah yang selalu berubah ubah yang dipengaruhi oleh ketinggian dan kekasaran permukaan (wind velocity merupakan vektor kecepatan untuk menunjukkan laju aliran angin yang terdiri dari besarnya kecepatan angin (wind speed, dalam m/s) dan arah angin (wind direction, dalam derajat) dengan Utara sebagai referensi nol )
- Kerapatan atau massa jenis angin (dalam  $\text{kg/m}^3$ ) bergantung pada tekanan atmosfer, tekanan uap air dan temperatur atmosfer dan juga pada ketinggian
- Profil angin adalah kurva yang memberikan hubungan antara kecepatan angin di atas permukaan tanah atau air yang dipengaruhi oleh kekasaran permukaan tanah. Profil daya angin (wind power profile) adalah profil yang memberikan hubungan antara daya angin terhadap kecepatan angin.

Informasi sumber data angin

a. Sirkulasi Global

Sumber energi angin adalah energi matahari. Daya matahari total yang diserap oleh bumi adalah dalam orde  $10^{17}$  W yakni sekitar 10.000 kali laju kebutuhan total manusia dan sekitar 1 % (atau  $10^{15}$  W atau 100 kali kebutuhan manusia) dari daya matahari tersebut selanjutnya diubah menjadi gerakan atmosfer atau angin. Dengan demikian dua faktor utama dalam sirkulasi global adalah radiasi matahari serta pergerakan atmosfer dan perputaran bumi.

Sirkulasi atau gerakan atmosfer ini berubah menurut skala waktu dan jarak di mana antara masing-masing skala tersebut saling berinteraksi. Berdasarkan hal ini, sirkulasi atau gerak atmosfer dapat di kelompokkan dalam skala berikut :

Angin skala makro (macro scale wind ) adalah angin yang tak terganggu oleh ciri rinci permukaan bumi kecuali pada pegunungan dengan ketinggian di atas 1000m.

Dalam skala meso, variasi ciri permukaan bumi dengan skala horizontal dari 10 km hingga 100 km mengakibatkan pengaruh terhadap pola aliran angin pada ketinggian antara 100m dan 1000 m di atas dataran, sehingga topografi adalah penting. Setiap kekasaran skala besar dari permukaan bumi akan mengurangi

aliran udara. Contoh pola yang dapat diamati adalah angin darat dan angin laut dekat pantai dan juga angin gunung dan angin lembah

Skala mikro (micro scale) adalah angin permukaan pada ketinggian kurang dari 60m hingga 100m di atas dataran dan dipengaruhi oleh kondisi permukaan dan rintangan setempat, antara lain : tanaman, bangunan dan rintangan lainnya.

Berdasarkan kategori tersebut, sirkulasi atau gerak atmosfer dapat dikelompokkan sebagai berikut:

**Tabel C.1 Sirkulasi dan Gerak Atmosfir**

	Sirkulasi/Gerak atmosfer	Waktu gerakan	Jarak gerakan, km	Contoh
1	Sirkulasi Global (Skala Makro /Planetary scale)	<ul style="list-style-type: none"> <li>dalam minggu hingga tahun</li> <li>Pada ketinggian diatas 1000 m</li> </ul>	1000- 40.000	Trade winds, jet stream
2	Skala sinoptik (synoptic)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dalam hari hingga minggu</li> <li>60m – 100 m di atas permukaan dataran</li> </ul>	100 - 5000	Siklon,anti siklon, angin bagai
3	Skala Meso (meso scale)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dalam menit hingga hari</li> <li>ketinggian 100m – 1000m di atas permukaan dataran</li> </ul>	1 – 100 5 – 200	Tornado,thunders torm,angin darat, angin laut
4	Skala mikro (micro scale)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dalam detik hingga hari</li> <li>ketinggian &lt; 60m – 100 m</li> </ul>	< 1,0	Turbulensi

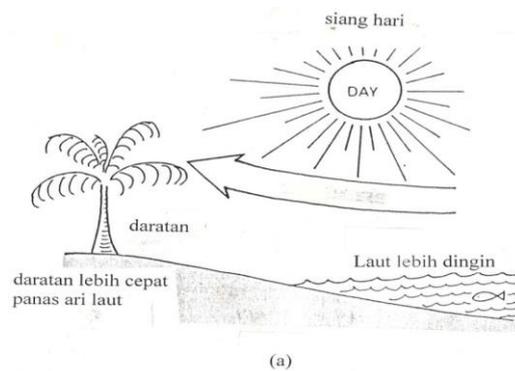
- Angin Laut dan Angin Darat

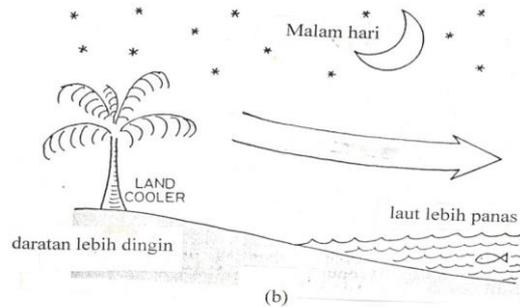
Kedua jenis angin ini termasuk dalam skala meso (meso scale) yang disebabkan oleh perbedaan tekanan setempat, dipengaruhi oleh topografi, kekasaran permukaan (gunung, lembah, dll) dan terjadinya variasi diurnal (24 jam) karena perbedaan temperatur antara siang dan malam hari. Perbedaan temperatur antara daratan dan lautan juga menyebabkan breeze, akan tetapi tidak terlalu jauh memasuki daratan .

Pada siang hari, daratan lebih panas dari pada laut sehingga kerapatan udara di daratan akan lebih kecil dibandingkan dengan di lautan. Hal ini akan mengakibatkan udara dari laut dengan kerapatan yang lebih tinggi akan mengisi udara yang lebih renggang di daratan sehingga angin akan bergerak dari arah laut menuju daratan dan menghasilkan angin laut. Sebaliknya pada malam hari, daratan lebih cepat dingin dari pada lautan sehingga angin akan bergerak dari daratan ke laut dan menghasilkan angin darat.

Gambar 2. 4

Angin Laut dan Angin Darat





Di daerah pantai, angin laut mempunyai pengaruh yang cukup signifikan terhadap temperatur dan segera setelah angin laut bertiup, temperatur daratan dapat turun hingga 5 – 10 derajat Celcius. Di daerah tropis, efek pendinginan angin laut ini umumnya paling jauh mencapai 100 km ke dalam daratan, sedangkan di daerah lintang (Utara dan Selatan) hanya sekitar setengahnya yaitu 50 km. Angin laut yang dingin ini segera bertiup sebelum siang dan mencapai intensitas paling besar pada waktu pertengahan sore hari, yaitu sekitar 10 – 20 km/jam. Angin laut dalam skala yang lebih kecil juga dapat di timbulkan sepanjang pantai danau besar.

Skala angin laut dan angin darat bergantung pada lokasi dan waktu tahunan. Daerah tropis dengan pemanasan matahari yang lebih intens dan kontinu sepanjang tahun mengalami angin laut yang lebih sering dan lebih kuat di bandingkan dengan daerah lintang. Angin laut paling intens terjadi sepanjang garis pantai tropis yang berdekatan dengan arus laut yang dingin. Di daerah lintang tengah, angin laut lebih lazim terjadi selama bulan-bulan terpanas dalam 1 tahun, akan tetapi angin darat sering hilang karena daratan yang tidak selalu dingin di bawah temperatur laut. Di daerah lintang tengah yang lebih tinggi, perpindahan sistem tekanan yang sering terjadi umumnya mendominasi sirkulasi sehingga di daerah tersebut, angin darat dan angin laut kurang

- Angin Gunung dan Angin Lembah

Angin gunung dan lembah terjadi di daerah pegunungan. Di daerah pegunungan tinggi, angin bertiup setiap jam (diurnal) atau angin harian yang serupa dengan angin darat dan angin laut. Pada waktu siang hari, udara sepanjang bagian puncak gunung akan lebih panas dibandingkan dengan udara pada ketinggian yang sama melalui dasar lembah. Udara dingin dari dasar lembah tersebut bergerak naik sepanjang lereng gunung dan menimbulkan angin lembah. Terjadinya angin lembah di siang hari sering dapat dikenali dengan adanya awan kumulus (cumulus cloud) yang mengembang melalui puncak-puncak gunung yang saling berdekatan.

Kejadian sebaliknya akan terjadi pada malam hari atau setelah matahari terbenam. Kehilangan panas radiasi yang cepat sepanjang lereng gunung akan menghasilkan aliran udara dingin menuju lembah di bawahnya dan menghasilkan angin gunung.

- Angin Passat (trade winds)

Merupakan angin yang bertiup dalam satu arah yang teratur (regular), yaitu dari arah 30° LU menuju khatulistiwa atau dari 30° LS menuju khatulistiwa, angin yang lebih banyak adalah diatas lautan dan dapat bertiup sepanjang tahun

Dibandingkan dengan daerah lintang (Utara atau Selatan), daerah tropis memiliki kerapatan udara yang lebih kecil sehingga udara naik secara vertikal dengan tekanan yang relatif rendah (dikenal sebagai lingkungan doldrum). Pada waktu mencapai perbatasan lapisan tropopause, udara yang berkembang tersebut tidak terus naik ke lapisan stratosfer, akan tetapi berbelok ke Utara dan ke Selatan dan sekitar LU 30° dan LS 30° udara tersebut turun memampatkan diri dan menghasilkan daerah bertekanan udara maksimum. Pada 30 LU atau 30 LS tersebut, langit selalu sedikit membiru atau tak berawan.

Angin passat dapat berimpit atau berlawanan dengan angin muson. Angin passat Timur Laut dan angin Barat khatulistiwa merupakan angin passat

yang berimpit dengan angin muson sewaktu terjadi musim hujan di Indonesia.

- Angin Musim (muson, monsoon)

Angin ini terjadi karena perbedaan temperatur dan tekanan udara antara daratan (kontinen) dan lautan. Merupakan angin musiman yang di Lautan Hindia dan Asia Selatan bertiup dari arah Barat Daya pada bulan April hingga Oktober dan dari arah Timur Laut pada bulan November hingga Maret yang biasanya ditandai dengan hujan lebat. Arah angin ini berubah atau berbalik secara periodik.

Untuk Indonesia, pergantian musim mempengaruhi arah angin musim dan juga curah hujan. Angin musim Barat pada bulan Januari- Februari mengakibatkan hujan besar hampir di seluruh Indonesia, sedangkan pada bulan Juli-September terjadi angin musim Tenggara atau musim Timur

Angin darat dan angin laut juga merupakan angin musiman. Selama musim panas, angin lembah lebih umum karena radiasi matahari yang lebih intens di bagian atas gunung. Angin musim yang lemah terdapat di daerah sepanjang pantai Sumatera Barat dan untuk daerah ini, angin khas yang terjadi adalah angin gunung, angin lembah, angin darat dan angin laut.

- Angin Lokal Lainnya

Pada dasarnya jenis angin ini merupakan angin gunung yang turun ke lembah yang dalam prosesnya mengalami kenaikan temperatur dan menghasilkan temperatur yang lebih tinggi dari temperatur udara yang dilaluinya, namun juga dapat terjadi suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan sekitarnya. Angin lokal ini dapat mempengaruhi keadaan lingkungan yang dapat menguntungkan atau mengakibatkan kerugian bahkan kerusakan. Dengan demikian, angin ini tidak sesuai sebagai sumber energi untuk pembangkit listrik.

Contoh angin lokal yang terjadi di Indonesia adalah :

- angin Bohorok di Asahan Sumatera Utara . Angin yang panas dan kering ini turun dari bukit Barisan menuju daerah Asahan; dan karena

temperaturnya yang relatif tinggi, sering merusak tanaman tembakau di perkebunan Deli. Angin ini umumnya terjadi pada bulan Juli.

- Angin Brudu di Ujung Pandang (Sulawesi Selatan). Merupakan angin jatuh yang dingin yang datang dari lereng utara Gunung Lompo batang.
  - Angin Kumbang di daerah Cirebon dan Tegal. Merupakan angin jatuh yang datang dari lereng deretan pegunungan di Jawa Tengah dan melintas menuju daerah Cirebon dan Tegal, Jawa Tengah.
  - Angin Gending di daerah Bromo. Angin yang datang dari lereng Utara pegunungan Tengger-Bromo menuju Pasuruan dan Probolinggo, Jawa Timur
  - Angin Wambraw di Pulau Biak, Irian Jaya di tepi lautan Pasifik, merupakan angin jatuh yang serupa dengan angin gending dan angin Kumbang di Pulau Biak
- Profil Angin (Wind Profile)

Profil angin merupakan besarnya kecepatan angin sebagai fungsi ketinggian di atas permukaan tanah yang bentuknya terutama bergantung pada kekasaran permukaan dataran (roughness), nilai kekasaran yang lebih besar (sehubungan dengan ketinggian rata rata rintangan) akan menghasilkan penurunan angin yang lebih besar mendekati permukaan tanah, dan metode klasifikasi yang umum telah dikembangkan untuk menyatakan kuantitas kekasaran. Kekasaran yang diamati di suatu lokasi spesifik dapat berbeda untuk arah angin yang berbeda, sehingga profile angin juga bergantung pada arah angin.

Profil angin untuk suatu lokasi wilayah dapat dinyatakan secara matematis dan digambarkan secara grafis sebagai berikut:

Untuk ketinggian diatas referensi,

$$V = V_r \left( \frac{H}{H_r} \right)^\alpha$$

dengan V (dalam m/s) adalah kecepatan pada suatu ketinggian H (dalam m).  $V_r$  adalah kecepatan referensi (m/s) dan  $H_r$  adalah ketinggian referensi

(umumnya 10 m untuk standar WMO), sedangkan  $\alpha$  (disebut geser angin-wind shear) adalah suatu konstanta yang nilainya adalah  $\frac{1}{2}$  untuk  $V < 5$  mph,  $= 1/5$  untuk  $V = 5 - 35$  mph,  $= 1/7$  untuk  $V > 35$  mph, dan  $= 1/7$  untuk permukaan rata

Bila angin melintasi suatu dataran dengan perubahan kekasaran yang berbeda, maka akan terjadi perubahan kecepatan angin yang mendadak yang disebut turbulensi. Hal ini terjadi bila angin mengalir melalui rintangan rintangan sebelum sampai ke lokasi pemasangan turbin angin.

Besarnya kecepatan angin ( $V$ ) pada suatu ketinggian ( $z$ ) mengacu pada ketinggian referensi  $r$  dengan kecepatan referensi  $V_r$  dinyatakan oleh hubungan sebagai berikut :

$$\frac{V_z}{V_r} = \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) / \ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right)$$

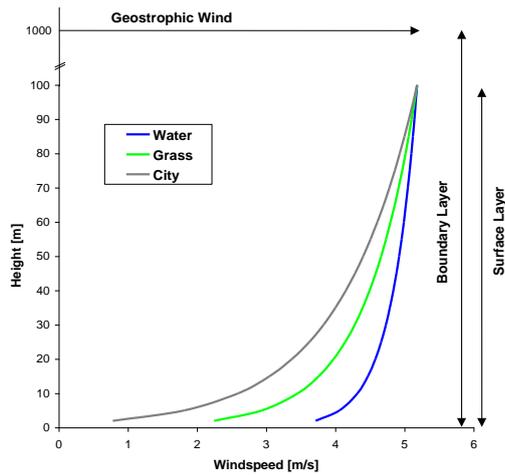
Dengan nilai  $Z$  (atau  $Z_0$ ) ditentukan oleh bentuk kekasaran dataran atau permukaan, sebagai berikut:

Tabel C.2 Kekasaran Permukaan

Deskripsi	Nilai $Z_0$
Dataran rata (pantai, permukaan es, lautan)	0,005 m
Dataran terbuka (rumput rendah, lapangan terbang, lahan)	0,03 m
Rumput tinggi, tanaman rendah	0,10 m
Permukaan kasar (tanaman tinggi, kayu rendah)	0,25
Permukaan sangat kasar (hutan, kebun buah-buahan)	0,30
Dataran tertutup (desa, pinggir kota)	➤ 1,0
Kota (pusat kota, lapangan kosong dalam hutan)	➤ 2,0

Secara grafis, bentuk profil angin menurut kondisi dataran diperlihatkan pada Gambar 2.2, berikut :

Gambar 2. 5 Profil Angin Terhadap Beda Ketinggian



### Penilaian Potensi Angin dan Klasifikasi

Kriteria utama untuk penilaian potensi energi angin di suatu lokasi/wilayah adalah besarnya energi angin yang secara kuantitatif dinyatakan oleh daya spesifik atau rapat daya angin (WPD - Wind Power Density) dalam  $W/m^2$  atau energi spesifik ( $Wh/m^2$ ) dalam 1 tahun yang ditentukan dari kecepatan angin rata-rata tahunan (m/s) berdasarkan hasil monitoring, pengolahan dan evaluasi data angin, sedangkan parameter lain yang mempengaruhi adalah rapat massa udara di lokasi (dalam  $kg/m^3$ ). Penilaian potensi angin di suatu lokasi terutama ditujukan untuk menaksir besarnya energi yang dapat dimanfaatkan di lokasi tersebut dinyatakan dalam kWh (kilowatt hour) dan dalam satu tahun dinyatakan oleh AEP (annual energy production) dalam satuan kWh (disebut juga AkWh- annual kWh).

Dalam beberapa penyajian data potensi angin dari hasil penelitian dan pengukuran, sering dijumpai penyajian data-data dalam kecepatan angin rata-rata tahunan, kecepatan angin rata-rata bulanan, distribusi frekuensi weibull dll. Berdasarkan data-data tersebut, perhitungan WPD dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut :

- Untuk data rata-rata tahunan .

Perhitungan WPD, dengan menggunakan persamaan :

$$\overline{WPD} = 0.955 \bar{\rho} \bar{v}^3$$

b. Untuk data statistik distribusi Weibul .

Perhitungan WPD, dengan menggunakan persamaan :

$$\overline{WPD} = \frac{1}{2n} \bar{\rho} \sum_{j=1}^c \rho_j v_j^3$$

c. Untuk data rata-rata jam-jaman/dalam time series .

Perhitungan WPD, dengan menggunakan persamaan :

$$WPD = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \rho_i v_i^3$$

Penilaian potensi energi angin di suatu lokasi dilakukan berdasarkan pengelompokan (klasisfikasi) besarnya kecepatan angin rata rata yang dapat digunakan sebagai petunjuk dalam pemanfaatan (skala kecil, menengah dan besar) diperlihatkan pada Tabel.2.3. Dengan demikian, rancangan atau pemilihan ukuran turbin angin yang akan digunakan dapat mengacu pada kelas kecepatan angin tersebut.

Tabel C.3 Kelas Kecepatan Angin

Kelas	Kec angin,m/s	Turbin angin	WPD,W/m <sup>2</sup>	Kapasitas, kW
1	2,5 – 4,0	Skala Kecil	< 75	≤ 10,00
2	4,0 – 5,0	Skala Menengah	75 - 150	10 – 100 kW
3	5,0 – 6,0	Skala besar	150 - 200	100 – 300
4	➤ 6,0	interkoneksi	> 200	> 300

Tahapan yang umumnya dilakukan dalam penilaian atau penaksiran potensi tersebut adalah sebagai berikut:

- Pengukuran dan monitoring data angin (kecepatan dan arah angin) di lokasi dengan menggunakan anemometer dan sensor arah angin yang dilengkapi dengan data logger. Pengukuran data angin dapat dilakukan pada ketinggian anemometer dan sensor arah angin tertentu (misalnya 10m, 20m, 30m atau 50m), dan jumlah

anemometer dan wind vane pada sebuah menara dapat satu atau lebih. Penempatan dua anemometer atau lebih pada sebuah menara dimaksudkan untuk mengetahui/menentukan geser angin (wind shear) di lokasi tersebut

- b) Penyajian data statistik berdasarkan hasil komputasi ,antara lain:
- kecepatan dan arah angin rata rata
  - kecepatan angin minimum dan maksimum
  - Standara deviasi kecepatan angin
  - kecepatan angin kencang (gust)
  - distribusi kecepatan angin
  - distrubusi Weibull
  - Wind rose
  - Pola kecepatan angin harian.dll
- c) Data data ini juga dapat dinyatakan secara grafis dalam bentuk histogram, kurva distribusi,dll
- d) Perhitungan dan pengolahan data sekunder berupa daya spesifik,daya rata rata,daya maksimum,energi angin
- e) Pengolahan data untuk mendapatkan besarnya WPD di lokasi
- f). Perkiraan daya dan energi (AEP- annual energy production) yang akan dihasilkan di lokasi selama 1 tahun, dengan menggunakan referensi turbin angin yang dilengkapi dengan karakteristik daya,.

#### **Syarat dan Teknik Pengukuran Data**

- **Metoda Pengukuran**

Metoda pengukuran data angin dapat dilakukan sebagai berikut :

- a. **Langsung**

Pengukuran 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 = 10m), atau pada ketinggian yang dirancang untuk tinggi aktual menara turbin angin yang digunakan
  - menggunakan peralatan standar (anemometer analog atau digital) yang dilengkapi dengan perekam dan penyimpan data (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 )
  - pengukuran minimum satu tahun
- b. Pengukuran sesaat di lokasi (survey) :**
- Kecepatan angin diukur setiap 1 atau 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
- c. Ekstrapolasi**
- Dilakukan untuk membandingkan terhadap hasil pengukuran standart (10m atau lebih) guna menaksir kecepatan angin pada suatu ketinggian di atas ketinggian standar, misalnya pada 15m, 24m, 30m, dan lain lain.
- Ekstrapolasi pada ketinggian yang berbeda dengan tinggi pengukuran dapat menggunakan persamaan 2-1 dan 2-2.
- **Data pengukuran dan persyaratan.**  
Beberapa syarat yang harus dipenuhi untuk mendapatkan data yang handal adalah :
    - a. Menggunakan peralatan standar yaitu anemometer (analog. atau digital) dan sensor arah angin dengan spesifikasi tertentu.

**Anemometer mangkok (cup anemometer)**; berfungsi untuk mengukur kecepatan angin setiap saat. Anemometer terdiri dari 3 mangkok yang digandengkan dengan sebuah dinamo kecil (generator arus searah) yang berfungsi untuk mengubah putaran mekanik (rpm) menjadi tegangan listrik searah (mV) yang sebanding dengan kecepatan angin setiap saat oleh fabrikasi telah dikalibrasi agar menghasilkan hubungan antara tegangan listrik dan kecepatan angin yang jelas. Tipe lain menggunakan system kontak / pulse yang dikalibrasikan bersaran jumlah putaran dengan nilai kecepatan angin.

**Sensor arah angin(wind vane)** terdiri dari daun ekor sebagai bagian yang langsung menerima perubahan arah angin dan potensiometer yang tahanan listriknya (ohm) akan berubah karena variasi arah angin melalui kontak geser, berfungsi untuk mengukur arah angin setiap saat berdasarkan perubahan tahanan potensiometer dan dengan memberikan eksitasi (catu daya) pada sensor tersebut, akan menghasilkan perubahan tegangan pada potensiometer yang sebanding dengan perubahan arah angin setiap saat.

Beberapa contoh anemometer dan sensor arah angin diperlihatkan pada Gambar 2.3 untuk penggunaan survai lapangan dengan data sesaat, dan Gambar 2.4. untuk pengukuran di suatu lokasi dengan penyimpanan data (data logger).

Gambar C.1 Anemometer Dan Arah Angin Untuk Survey Lapangan



Gambar C.2 Anemometer Dan Data Logger



Persyaratan yang harus dipenuhi oleh sebuah anemometer dan sensor arah angin adalah sebagai berikut:

Tabel C.4 Spesifikasi Anemometer Dan Wind Vane

Spesifikasi	Anemometer	Sensor arah angin
Julat pengukuran(range)	0 – 50 m/s	0 -360 derajat
Ambang asut	≤ 1,0 m/s	≤ 1,0 m/s
Julat temperatur	0 – 60 C	0 – 60 C
Kelembanan	0 -100 %	0 -100 %

Kesalahan/error	≤1 %	≤ 5%
Resolusi	≤ 0,1 m/s	≤ 1 derajat

Guna memperoleh data secara on-line, anemometer dan sensor arah angin dihubungkan dengan data logger yang merupakan perangkat computer kecil yang mampu untuk merekam data setiap saat, menyimpan data, dan mengambilnya setiap saat. Misalnya data dapat diambil di lokasi dengan menggunakan unit penyimpan data jenis USB dan selanjutnya mengolahnya dengan perangkat computer di tempat lain dengan menggunakan perangkat lunak (software) yang telah disediakan untuk itu.

#### Durasi atau lama pengukuran

Pengukuran atau monitoring data angin dilakukan minimal dalam waktu 1 tahun dan untuk aplikasi turbin angin skala besar, idealnya adalah 5 tahun atau lebih, Hal ini terutama diperlukan untuk wilayah-wilayah yang mengalami perubahan iklim yang signifikan dari tahun ke tahun.

Untuk kebutuhan survei di lapangan, pengukuran data dapat dilakukan dengan menggunakan anemometer tangan (hand anemometer) yang juga sering dilengkapi dengan sensor arah angin. Data diambil setiap 10 menit yang akan menghasilkan kecepatan angin rata rata setiap 10 menit dan juga setiap jam. Anemometer tangan dapat berupa anemometer analog maupun digital, seperti contoh anemometer diperlihatkan pada Gambar.

Prediksi dan ramalan kecepatan angin dapat dilakukan dengan 2 (dua) metode berikut :

- Ramalan variasi turbulensi jangka pendek dalam skala waktu detik hingga menit digunakan untuk rancangan pengontrolan operasional turbin angin, khususnya bilamana terjadi angin angin kencang. Ramalan jangka pendek ini mengandalkan teknik statistik dengan ekstrapolasi data pengukuran yang lalu (data historis)
- Ramalan variasi jangka panjang dalam periode waktu beberapa jam atau hari dengan memanfaatkan metode cuaca.

Kombinasi ramalan cuaca dan statistik dapat memberikan prediksi daya angin yang sangat bermanfaat di lokasi.

- **Tinggi pengukuran**

Standar ketinggian untuk pengukuran data meteorologi termasuk kecepatan dan arah angin menurut WMO (World Meteorological Organization) adalah 10 m, namun untuk pemasangan turbin angin aktual di lokasi, pengukuran data angin dapat disesuaikan dengan tinggi menara turbin angin yang akan dipasang bergantung pada tipe dan kapasitas turbin angin serta kebutuhan kecepatan angin di lokasi. Pengukuran dapat dilakukan pada ketinggian 10 m, 20 m, 30 m, 50 m atau lebih sesuai kebutuhan.

- **Pengolahan Data Angin**

Pengolahan data angin berdasarkan hasil pengukuran di lokasi akan memberikan informasi berikut :

- a. Kecepatan angin setiap 10 menit sampling dan setiap jam
- b. Kecepatan angin harian dan setiap bulan  
Dicatat setiap hari selama 1 bulan yang menghasilkan kecepatan angin rata-rata harian berdasarkan pengukuran selama 24 jam (disebut mean diurnal speed) dan kecepatan rata-rata bulanan .
- c. Distribusi waktu (time distribution)  
Menggambarkan hubungan kecepatan rata-rata harian (berdasarkan diurnal) terhadap waktu (dalam jam) dalam bulan tertentu. Dengan cara yang sama dapat digambarkan kecepatan angin rata-rata tahunan di suatu lokasi berdasarkan data bulanan tersebut.
- d. Kondisi Lull  
Merupakan kondisi dengan kecepatan angin rendah (di bawah cut in) yang periodanya dapat diperoleh dari distribusi waktu. Informasi ini dibutuhkan untuk menentukan kapasitas unit penyimpanan.

e. Distribusi Frekuensi ( Distribusi Weibull, Rayleigh)

Memberikan informasi mengenai jumlah jam terjadinya kecepatan angin tertentu dalam 1 bulan atau 1 tahun. Ditentukan dengan membagi kecepatan angin dalam interval - interval dengan selang waktu (bin) 1 m/s atau  $\frac{1}{2}$  m/s. Informasi ini dapat dibuat dalam bentuk tabel atau histogram.

• **Perolehan Data**

Berdasarkan pengolahan data pengukuran di suatu lokasi, informasi yang diperoleh sebagai bentuk perolehan data yang akan digunakan untuk mengidentifikasi potensi sebuah lokasi adalah :

a. Kecepatan dan arah angin :

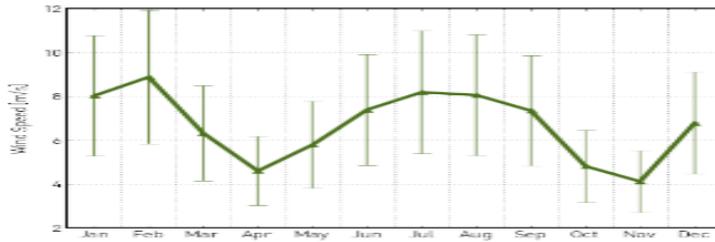
- rata rata harian, bulanan dan tahunan
- kecepatan angin minimum dan maksimum
- kecepatan lull
- informasi statistik : rata-rata, deviasi standar, distribusi, kecepatan angin, histogram, dll
- Distribusi arah angin harian, bulanan atau tahunan yang dinyatakan dalam sektor - sektor arah angin (8 atau 12 sektor) yang memberikan persentase arah angin (disebut wind rose) .

b. Daya angin spesifik di lokasi (WPD-Wind Power Density) : harian, bulanan, tahunan dalam  $W/m^2$ .

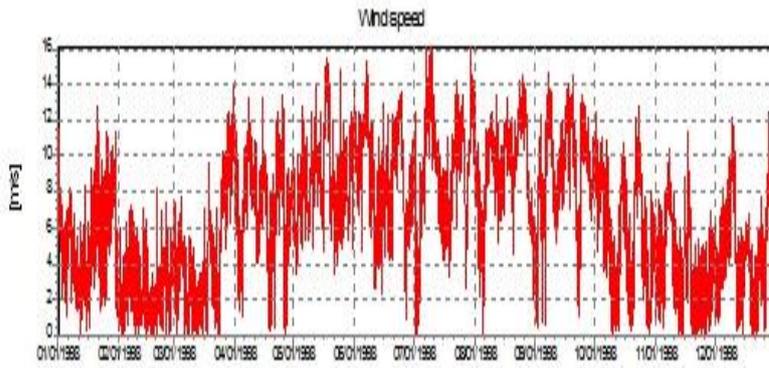
c. Energi angindi lokasi ( AEP dinyatakan dalam  $AkWh/m^2$ )

Contoh hasil peroleh data diperlihatkan pada Gambar 2.5 s/d Gambar 2.10 berikut :

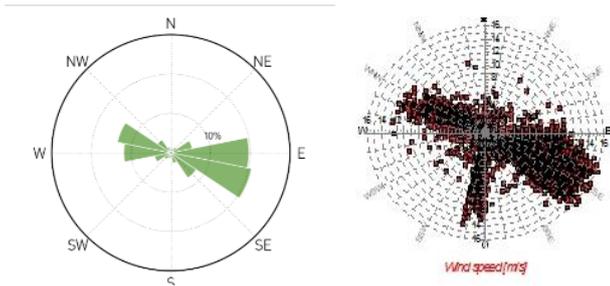
Gambar C.3 Kecepatan Angin Rata-Rata Bulanan



Gambar C.4 Garfik Kecepatan Angin Jam-Jaman

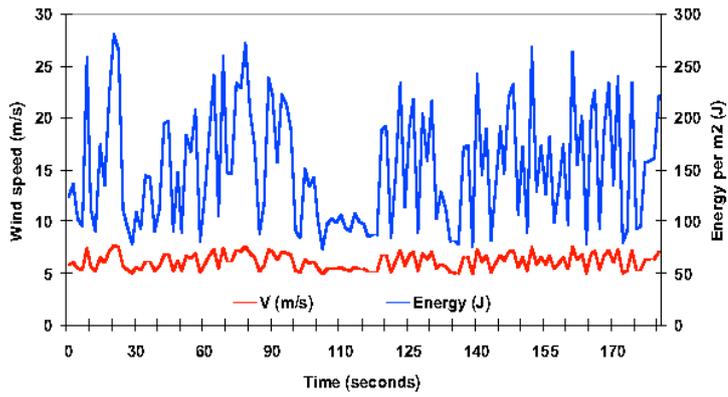


Gambar C.5 Wind Rose



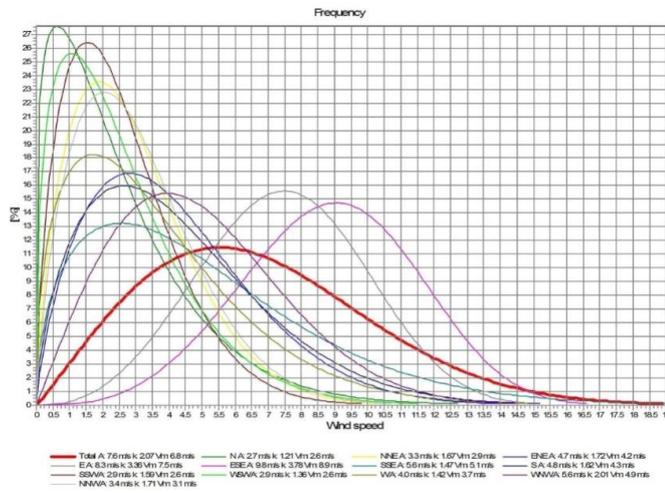
Gambar C.6

Garfik Kecepatan Angin Dan Energi Angin



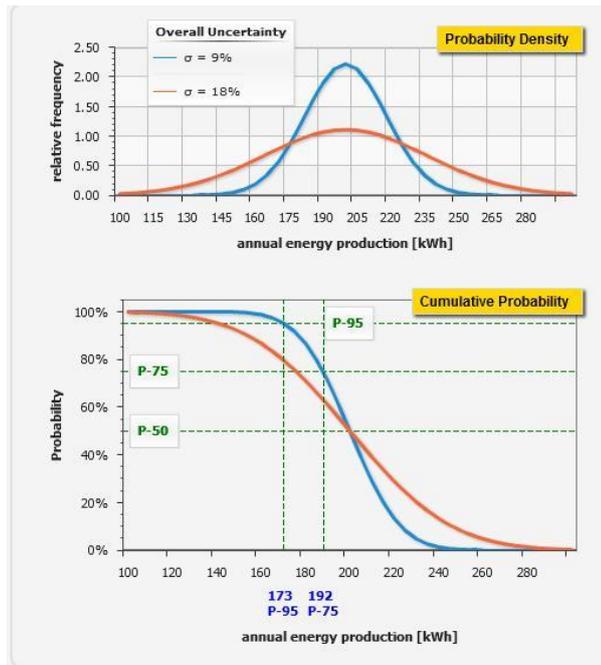
Gambar C.7

Garfik Distribusi Weibull



Gambar C.8

Annual Energi Production



- **Review Software Analisa Data**

Perkembangan software untuk pengolahan dan analisa data untuk suatu lokasi dimaksudkan untuk mendapatkan data dan informasi bermanfaat dan juga menaksir energi angin tahunan di lokasi tersebut, dengan hasil antara lain:

- Data angin setiap jam, setiap hari atau bulan (kecepatan dan arah angin) di lokasi berdasarkan sampling tiap 10 menit
- Data sekunder dalam bentuk data maupun informasi statistik, antara lain nilai rata rata, maksimum dan minimum, daya angin harian maupun bulanan dan tahunan, rapat daya (WPD– Wind Power Density, dalam  $W/m^2$ )
- Ekstrapolasi digunakan untuk penaksiran kecepatan angin pada suatu ketinggian dengan mengacu pada hasil pengukuran di beberapa ketinggian, misalnya

- kecepatan angin rata rata dapat di taksir dengan menggunakan data hasil pengukuran pada ketinggian 30m dan 50m
- d. Distribusi kecepatan angin di lokasi diperoleh berdasarkan data kontur, misalnya distribusi Weibull, distribusi Rayleigh, dll
  - e. Penggunaan data satelit digunakan untuk penaksiran secara umum pada suatu ketinggian yang lebih tinggi, misalnya data 3TIER
  - f. Penaksiran potensi energi angin di lokasi dalam bulanan atau 1 tahun ( AEP-annual energy production)

Beberapa software yang dapat digunakan untuk keperluan ini antara lain adalah : ALWIN, Wilog, NRG Data Retreiver, Nomad2, WaSP, Homer, WindPro, dll.

- **Pemanfaatan Energi Angin**

Awal Kincir Angin ( Windmill )

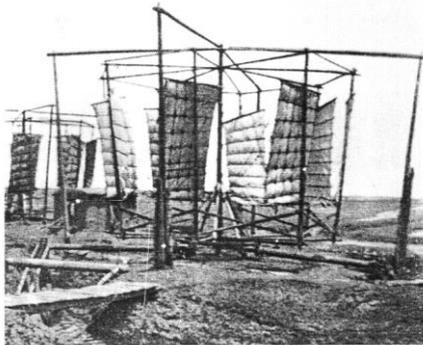
Sejak zaman dahulu ( sebelum masehi ), energi angin sudah dimanfaatkan untuk menggiling biji-bijian, memompa air dan penggunaan-penggunaan lainnya. Gambar 2.4 menunjukkan kincir angin (windmill) primitif di Afghanistan yang berfungsi untuk menggiling biji-bijian. Sedangkan Gambar 2.5 menunjukkan suatu kincir angin Cina yang strukturnya terbuat dari batang-batang bambu dan layarnya terbuat dari kain dan berfungsi untuk pemompaan air.

Gambar 2. 6 Kincir Angin Sumbu Vertikal Untuk Menggiling Biji-Bijian, Afghanistan



Gambar 2. 7

Kincir Angin Cina Untuk Pemompaan Air



#### Kincir Angin Eropa

Perkembangan kincir angin di Eropa dimulai kira-kira pada tahun 1200 Masehi. Kincir angin tersebut memiliki rumah kincir yang dapat berputar jika angin berubah arah. Kincir angin tersebut terkenal dengan nama Post Windmill (Gambar 2.6).

Gambar 2. 8

German Post Windmill



Gambar 2.9

Hollow Post Mill Atau Kokermolen Atau Wipmolen

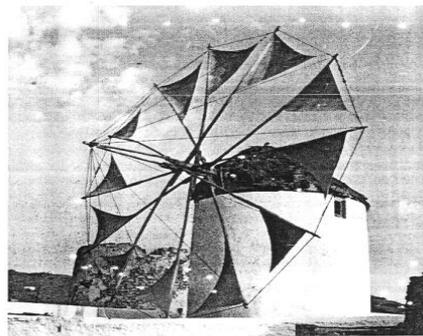


Pada awal abad ke 15, post windmill mengalami perkembangan. Perkembangan tersebut terletak pada bagian rumah yang berputar untuk mengantisipasi perubahan arah angin. Kincir angin yang telah mengalami perkembangan ini bernama Hollow post mill (Gambar 2.7).

Di daerah Mediteranian berkembang kincir angin yang rumah atau menaranya terbuat dari batu (Gambar 2.8), yang disebut Tower windmill. Pada pertengahan abad ke 19 mulailah perkembangan kincir angin yang lebih besar, lebih ekonomis dan lebih berdaya guna serta cakupan pemanfaatan yang lebih luas. Kincir angin tersebut ditunjukkan oleh Gambar 2.9 dan Gambar 2.10.

Gambar 2.10

Greek tower windmill



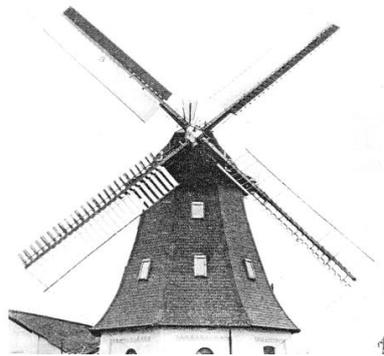
Gambar 2. 11

Dutch windmill



Gambar 2. 12

Dutch Ground Windmill



#### Kincir Angin / Turbin Angin Amerika

Pada saat orang-orang Eropa datang ke Amerika pada pertengahan tahun 1600, mereka membawa serta desain kincir angin. Sejak saat itu, kincir angin mulai banyak digunakan. Pada tahun 1854, seorang mekanik dari Connecticut yang bernama Daniel Halladay membuat kincir angin yang khusus untuk kebutuhan hidup di belahan barat dengan fungsi utama untuk pemompaan air. Kincir angin ini sudah

mulai menerapkan pengaturan sudut pitch sudu dan mulai mampu bertahan pada kecepatan angin yang sangat tinggi (Gambar 2.11).

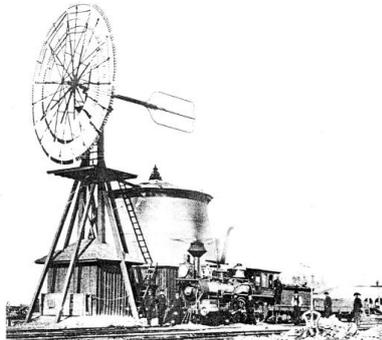
Gambar 2. 13

Halladay Wind Turbine



Gambar 2. 14

Turbin Angin Eclipse



Selanjutnya, turbin angin Halladay yang relatif lebih rumit ini disempurnakan oleh Leonhard R. Wheeler dari Wisconsin. Rancangan Wheeler ini dibuat dengan nama "Eclipse".

#### **Turbin Angin sebagai Pembangkit Listrik**

Pada abad ke 19, Poul La Cour dari Denmark menemukan turbin angin sebagai pembangkit listrik. Saat inilah awal mula pengembangan teknologi modern turbin angin sebagai pembangkit listrik. Gambar 2.13 menunjukkan turbin angin pembangkit listrik pertama hasil penemuan Poul La Cour pada tahun 1891 di Askov, Denmark.

Gambar 2. 15 Turbin Angin Pembangkit Listrik Pertama



Gambar 2. 16 "Wind charger" 1,8 sampai 3 kW),1932



Pada tahun 1922, Marcellus dan Joseph Jacobs bersaudara mulai mengembangkan rotor 3-sudu dengan diameter 4 meter yang dihubungkan dengan generator putaran rendah. Pada tahun 1932, hasil pengembangan mereka meraih sukses besar, yaitu

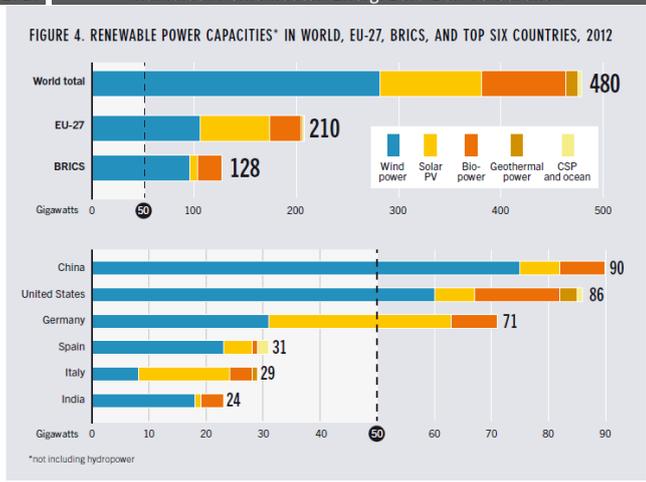
turbin angin pembangkit listrik yang diberi nama “wind charger”. Sukses diperoleh karena turbin mereka handal dan minim perawatan.

Pada tahun 1900 an, turbin angin skala besar juga dikembangkan, turbin angin skala besar dengan rotor 2-sudu yang terbuat dari baja tahan karat.

Pada tahun 1940 an, bahan bakar fosil menjadi sumber energi untuk pembangkit listrik yang sangat murah, sehingga turbin angin hampir ditinggalkan. Tetapi, setelah krisis energi pada tahun 1970 an, penggunaan energi angin mulai meningkat. Para ilmuwan dan insinyur merancang dan mengembang turbin angin generasi baru yang lebih efisien dan lebih ekonomis dibandingkan dengan model sebelumnya.. Sekarang, pertumbuhan penggunaan energi angin sebagai pembangkit listrik merupakan yang tercepat di dunia.

Pertumbuhan ekonomi suatu negara selalu didukung oleh pertumbuhan energi. Oleh karena itu, upaya untuk pemenuhan energi baik untuk industri, pertahanan, transportasi dan sebagainya menjadi agenda utama hamper semua Negara. Di sector kelistrikan, terdapat beberapa sumber energi yang tumbuh dan berkembang dengan cepat, sebagai upaya substitusi penggunaan bahan bakar minyak. Salah satu sumber energi masa depan adalah energi baru dan terbarukan (EBT).

Gambar 2. 17 Kumulatif Pemanfaatan Energi Baru Dan Terbarukan



Dari laporan World Renewable Energi magazine, pertumbuhan pemanfaatan energi baru dan terbarukan sangat signifikan dan untuk beberapa klaster mencapai 20 % per tahun. Sebagai gambaran informasi disajikan pemanfaatan energi baru terbarukan dari berbagai sumber energi seperti diperlihatkan pada Gambar 2.17.

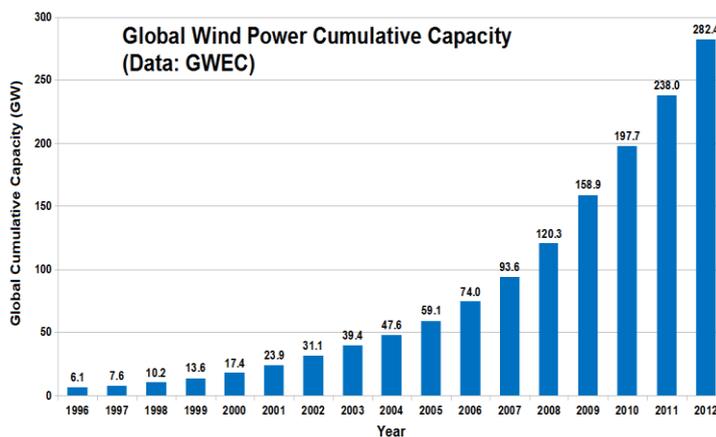
### Pemanfaatan Energi Angin

Energi angin sebagai salah satu bentuk dari energi terbarukan memiliki pertumbuhan yang paling cepat dibandingkan jenis energi terbarukan yang lain, hal dapat dilihat pada Gambar 2.17, bahwa pemanfaatan energi terbarukan secara global telah mencapai 480 GW, sementara dari energi angin telah mencapai 282 GW, atau sekitar 58 % dari kontribusi energi angin dari sumber energi baru dan terbarukan lainnya.

Berdasarkan data dari WWEA (World Wind Energy Association) sampai tahun 2012 hampir 282.5 GW energi listrik yang dihasilkan oleh energi angin yang merupakan lebih dari 1 % dari total kelistrikan secara global.

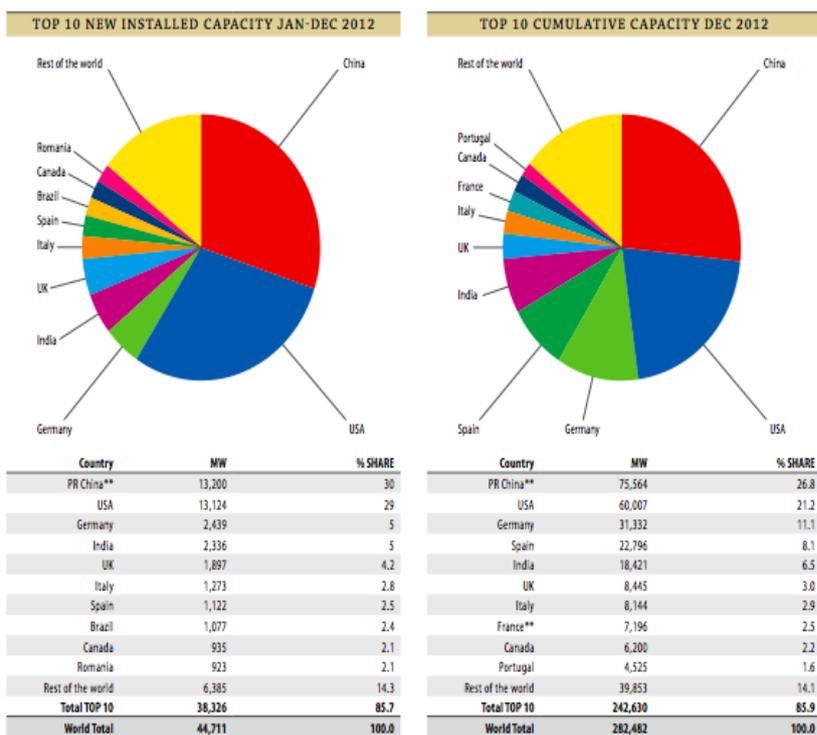
Adapun data perkembangan kapasitas terpasang pembangkit listrik yang dihasilkan oleh energi angin dapat dilihat di Gambar 2.18 ini :

Gambar 2. 18 Kumulatif Energi Angin Terpasang (GWEC)



Dapat dilihat terjadinya pertumbuhan yang cukup signifikan yaitu hampir 20% pertahun. Pertumbuhan yang sangat cepat dapat terlihat selama 10 tahun terakhir ini dari hanya 31,1 GW pada tahun 2002 menjadi 282,4GW pada tahun 2012. Dari implementasi pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) wind farm baik on maupun off shore, didominasi oleh 10 negara yang mencapai 85 % dari seluruh implementasi di dunia. Untuk 10 negara dengan jumlah kapasitas pasang terbesar dapat dilihat pada Gambar 2.19.

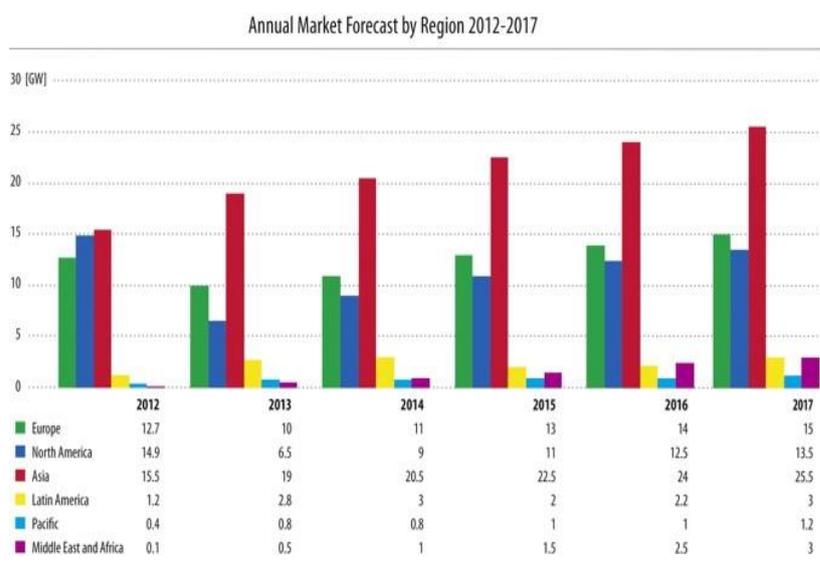
Gambar 2. 19 Kapasitas Terpasang Turbin Angin Di 10 Negara (WWEA)



Dapat dilihat bahwa untuk negara yang memiliki kapasitas listrik yang dihasilkan oleh energi angin terbesar di dunia adalah China dan disusul oleh Amerika Serikat. China memiliki kapasitas terpasang terbesar di dunia yaitu 75.364 MW dan Amerika Serikat 60.007 MW yang mana China memiliki bagian sekitar 26,8% kapasitas listrik yang dihasilkan oleh energi angin di Dunia.

Berdasarkan histori data pertumbuhan pemanfaatan energi angin dan pertumbuhan kebutuhan energi di suatu negara, maka diperkirakan perkembangan penggunaan teknologi energi angin dari kurun periode 2012-2017 seperti diperlihatkan pada Gambar 2.20.

Gambar 2. 20 Forecast Perkembangan Energi Angin 2012-2017 (Gwec)

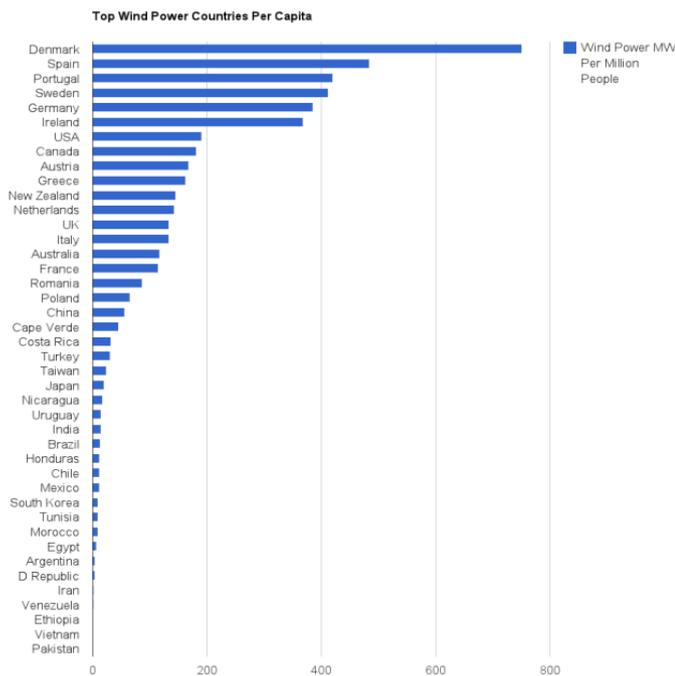


Dapat dilihat bahwa prediksi perkembangan energi angin yang paling cepat didominasi oleh negara di kawasan Asia dengan pertumbuhan kumulatif sekitar 20 sampai dengan 25 GW per tahun, adapun untuk kawasan Eropa mengalami pertumbuhan antara 10 sampai dengan 15 GW per tahunnya. Untuk Amerika Serikat memiliki kisaran pertumbuhan antara 6,5 sampai 13,5 GW pertahunnya.

Pertumbuhan energi angin yang sangat pesat di beberapa negara juga telah mengakibatkan peningkatan pemakaian per kapita yang cukup signifikan di beberapa negara.

Dari data – data yang dihimpun dan didokumentasikan oleh EWEA, bahwa negara yang memiliki pemakaian energi angin perkapita terbanyak adalah Denmark yaitu dengan kapasitas terpasang sekitar 800 MW per 1 juta penduduk dan disusul oleh Spanyol yaitu dengan 400 MW per 1 juta penduduk. Adapun untuk China yang memiliki kapasitas energi angin terbesar di dunia memiliki sekitar hanya 10MW per 1 juta penduduk dan Amerika Serikat sekitar hampir 200 MW per 1 juta penduduk. Pada Gambar 2.21.diperlihatkan urutan negara pengguna teknologi energi dengan perbandingan perkapita penduduk.

Gambar 2. 21 Total Energi Angin Terpasang Per 1 Juta Penduduk



Sebagai salah satu jenis energi terbarukan (ET), pemanfaatan energi angin di berbagai negara telah dimulai sejak lama yang diawali dengan penggunaan untuk penggerak mekanik (menggiling gandum di Negeri Belanda), pemompaan mekanik dengan menggunakan kincir angin sudu majemuk untuk menggerakkan pompa piston, dll. Perkembangan teknologi dari waktu ke waktu telah menghasilkan banyak produk mulai dari skala kecil hingga pengembangan sebagai pembangkit listrik dengan menggandengkan generator ke poros rotor turbin angin melalui unit transmisi dari skala kecil di bawah 100W dan hingga sekarang ini telah mencapai orde MW per unit. Pemanfaatan juga berkembang dari modus off-grid, hybrid ke on-grid hingga aplikasi off-shore.

Sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.21, beberapa negara telah mengembangkan dan memanfaatkan turbin angin pembangkit listrik untuk mendukung pemasokan listrik di negaranya antara lain adalah: Belanda, Jerman, Inggris, Denmark, Amerika, dll dengan kontribusi yang makin meningkat dan juga teknologi yang makin berkembang. Pemanfaatan juga berkembang dari sistem satu atau dua turbin angin menjadi ladang angin (wind farm) dengan puluhan bahkan ratusan turbin angin dalam satu area.

## 2.2 KARAKTERISTIK TEKNOLOGI ANGIN

### Energi dan Daya Angin

Daya yang dikandung oleh angin adalah energi kinetik angin per satuan waktu, yaitu:

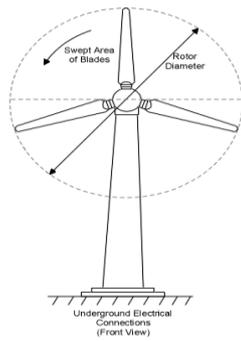
$$\begin{aligned}\text{Daya Angin} &= \text{Energi Kinetik Angin} / \text{Waktu} \\ &= W / t \\ &= (1/2) m \cdot V^2 / t \\ &= (1/2) \cdot \rho \cdot A \cdot V^3\end{aligned}$$

Keterangan :

- m = massa udara
- $\rho$  = massa jenis udara
- A = Luas sapuan rotor (Swept area)
- = Kecepatan angin sebelum mencapai rotor.

Gambar 2. 22

Luas Sapuan Rotor



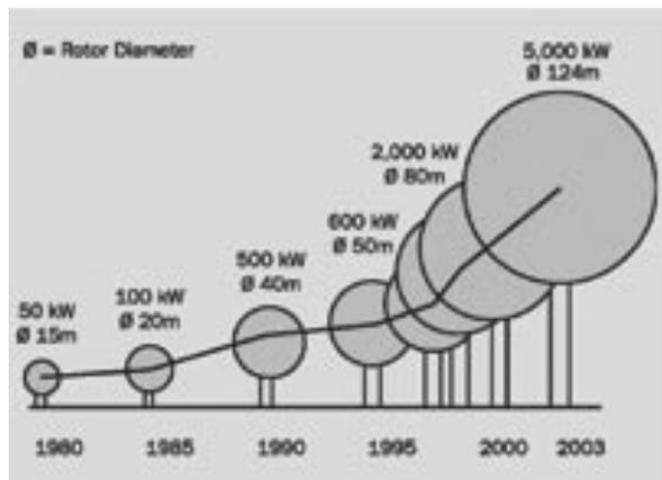
$$\text{Swept Area} - A = \pi R^2 \text{ (m}^2\text{)}$$

Area of the circle swept by the rotor.

Gambar berikut memberikan ilustrasi perkembangan diameter rotor dan swept area sampai saat ini.

Gambar 2. 23

Ilustrasi Perkembangan Ukuran Diameter Dan Swept Area



### Daya Ekstraksi oleh Rotor Turbin Angin

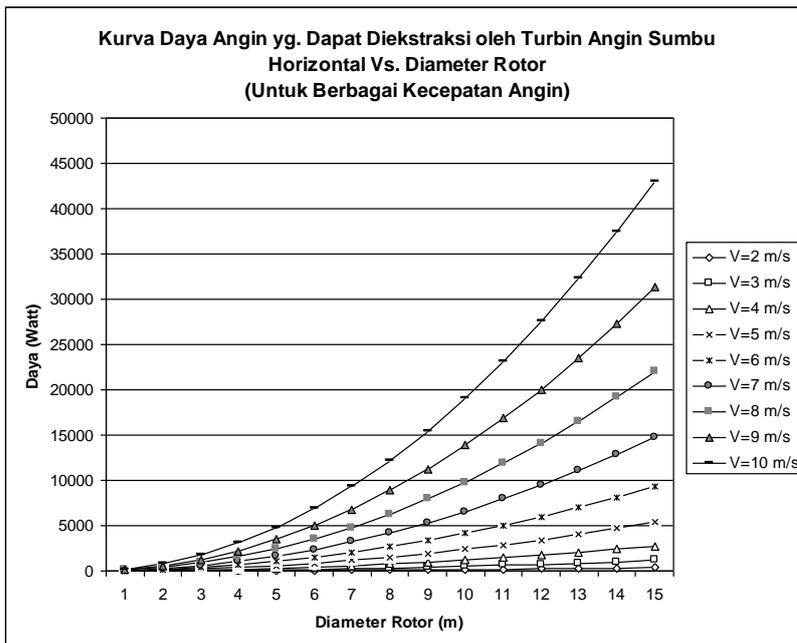
Besarnya daya angin yang dapat diekstraksi oleh suatu turbin angin mejadi energi mekanik poros mengikuti formula berikut :

$$\text{Daya (=P)} = C_p \cdot (1/2) \cdot \rho \cdot A \cdot V^3$$

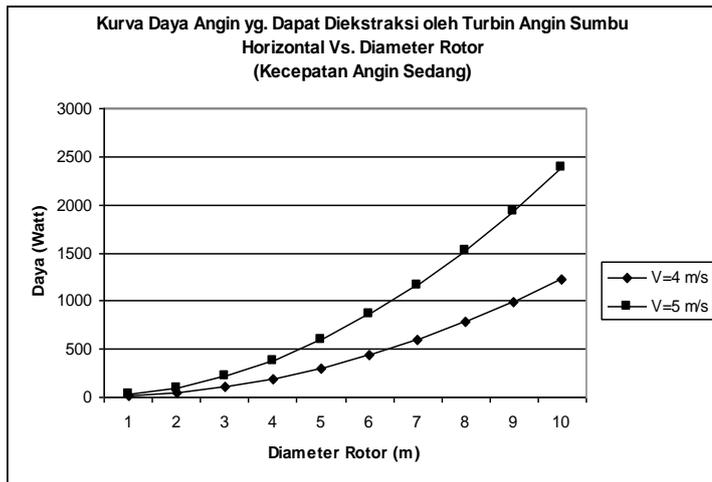
Dimana  $C_p$  adalah Power Coefficient yang merupakan efisiensi ekstraksi daya angin oleh rotor turbin angin. Biasanya harga  $C_p$  berkisar antara 0,25 s/d 0,45 ( Harga teoritisnya adalah 0,59).

Jika harga  $C_p$  diambil sebesar 0,45 dan massa jenis udara ( $\rho$ ) sebesar  $1,2 \text{ kg/m}^3$ , maka gambaran daya turbin pada berbagai diameter rotor dan kecepatan angin dapat dilihat pada Gambar berikut

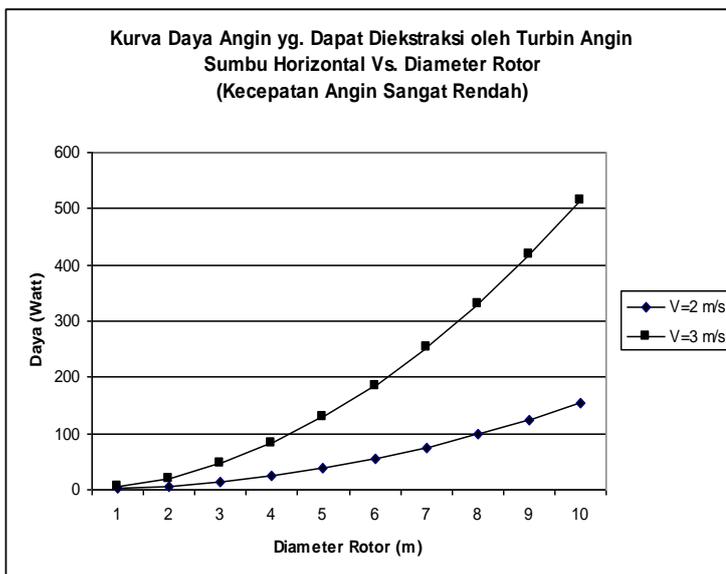
Gambar 2. 24 Daya Turbin Pada Berbagai Diameter Rotor Dan Kecepatan Angin



Gambar 2. 25 Daya Turbin Pada Kecepatan Angin Sedang



Gambar 2. 26 Daya Turbin Pada Kecepatan Angin Rendah



## Teknologi Turbin Angin

### Definisi dan Istilah

Beberapa istilah/terminologi yang digunakan antara lain adalah:

(1) SKEA (Sistem Konversi Energi Angin);

Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) adalah suatu sistem atau perangkat untuk mengubah energi angin menjadi energi mekanik atau listrik. Energi mekanik umumnya ditujukan untuk pemompaan mekanik, alat penggerak dll, sedangkan pengubahan menjadi listrik lebih ditujukan untuk pembangkitan listrik yang dapat dimanfaatkan oleh manusia. Dalam terminologi asing dikenal sebagai WECS (Wind Energy Conversion System).

(2) SKEA Mekanik;

SKEA yang digunakan untuk menghasilkan energi mekanik yang disebut juga kincir angin (wind mill)

(3) SKEA Listrik;

SKEA yang digunakan untuk menghasilkan listrik, dan tergantung pada tipe generator yang digunakan, akan menghasilkan listrik searah atau listrik bolak balik. SKEA listrik disebut juga turbin angin (WT-wind turbine) atau WTG (Wind Turbine Generator)

(4) PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu)

PLTB merupakan suatu sistem pembangkit lengkap untuk memasok daya listrik ke konsumen. Dengan demikian, sebuah PLTB terdiri atas satu atau beberapa turbin angin yang dilengkapi dengan panel monitor berisi peralatan pencatat besaran listrik (arus, tegangan, frekuensi, daya, energi) unit kontrol, terminal distribusi serta jaringan transmisi dan distribusi yang tersambung ke konsumen.

Secara umum, turbin angin dapat dikelompokkan menjadi 3, yaitu :

1. Skala Besar

Turbin angin skala besar memiliki kemampuan daya sebesar 600 kW sampai dengan orde MW per unit turbin

2. Skala Menengah

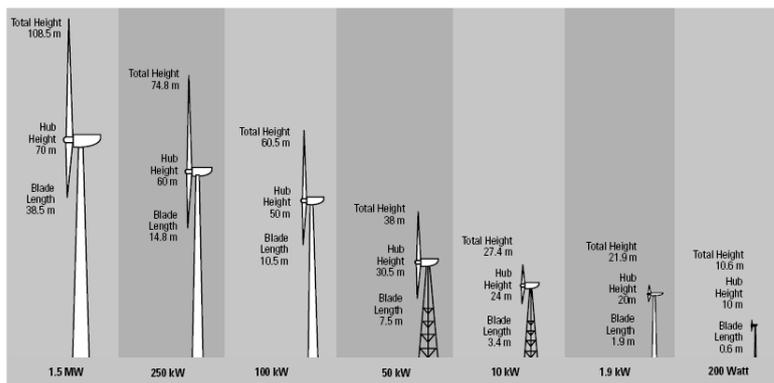
Turbin angin skala menengah memiliki kemampuan daya sebesar 100 kW sampai dengan orde  $\leq 600$  kW per unit turbin

### 3. Skala kecil

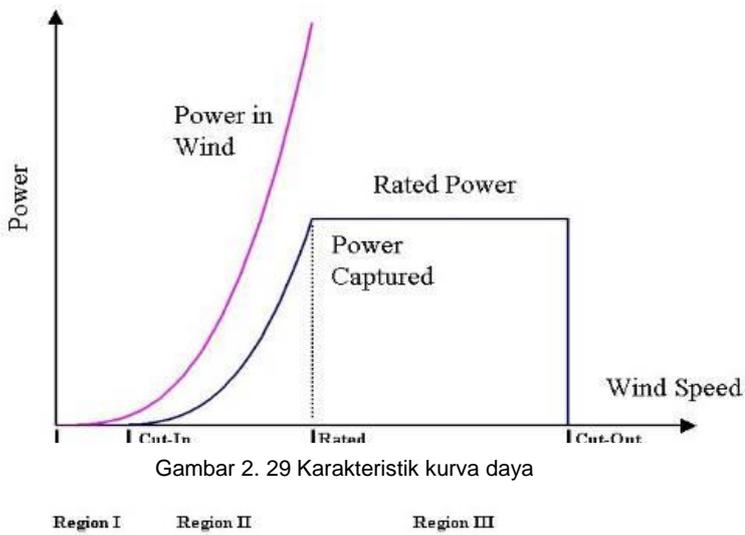
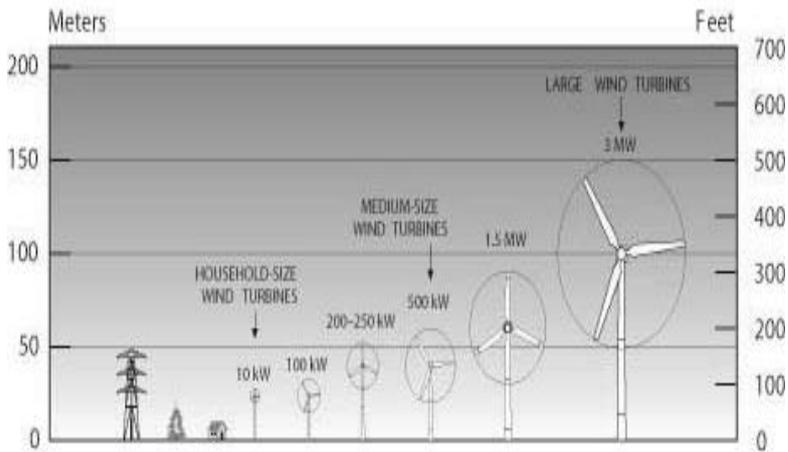
Turbin angin skala kecil memiliki kemampuan daya sebesar ratusan W sampai dengan orde  $< 100$  kW per unit turbin

Turbin angin skala besar umumnya memiliki konfigurasi susunan sumbu horizontal, memiliki 3 buah rotor, orientasi menghadap angin (upwind) dan memiliki yaw system aktif untuk menjaga agar rotor tetap menghadap angin yang datang. Gambar 20 menunjukkan secara proporsional, perbedaan ukuran turbin angin untuk berbagai rated power.

Gambar 2. 27 Perbandingan Turbin Angin



Gambar 2. 28 Pengelompokan Turbin Angin (Kecil, Menengah, Besar)



Gambar 2. 29 Karakteristik kurva daya

Penjelasan untuk keterangan pada Gambar diatas :

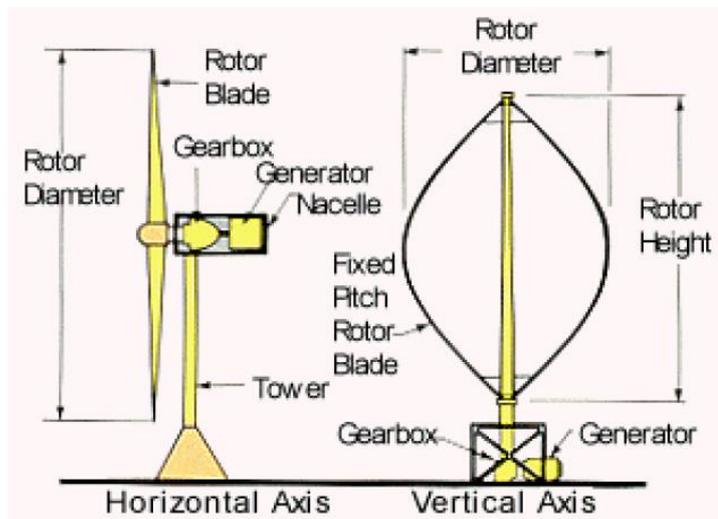
- Power in the Wind =  $1/2\rho AV^3$
- Betz Limit = 59% Max
- Power Coefficient -  $C_p$
- Rated Power = Daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh turbin
- Capacity factor = Energi aktual/energi maksimum
- Cut-in wind speed = adalah kecepatan angin saat turbin mulai menghasilkan listrik.
- Cut-out wind speed = adalah kecepatan angin saat turbin berhenti menghasilkan listrik.

## KONFIGURASI TURBIN ANGIN

### Tipe Konfigurasi Turbin Angin

Secara umum terdapat dua buah konfigurasi dasar turbin angin, yaitu turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal (Gambar 23).

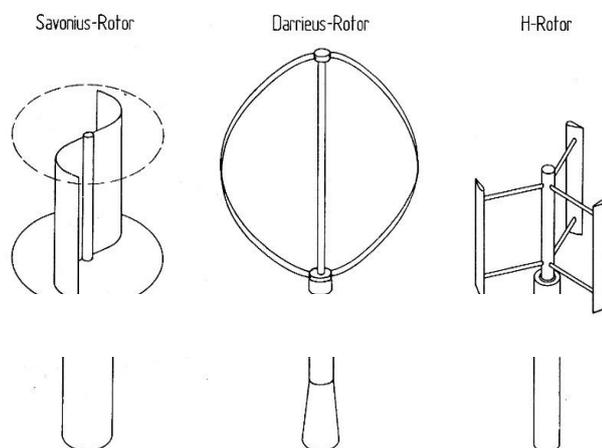
Gambar 2. 30 Konfigurasi Dasar Turbin Angin



### Turbin angin sumbu vertikal

Pemanfaatan energi angin pertama kali dilakukan adalah dengan menggunakan turbin angin sumbu vertikal. Pada tahap awal, gerak rotor turbin angin sumbu vertikal menggunakan gaya drag (Savonius rotor). Pada perkembangan berikutnya, turbin angin sumbu vertical menggunakan gaya lift untuk menggerakkan rotor (Darrieus rotor).

Gambar 2. 31 Konsep Turbin Angin Sumbu Vertical



### Savonius

Savonius merupakan jenis turbin angin yang paling sederhana dan versi besar dari anemometer. Turbin Savonius dapat berputar karena adanya gaya tarik (drag). Efisiensi yang bisa dicapai turbin angin jenis ini sekitar 30%.

Kincir angin Savonius merupakan sumber energi alternatif yang ramah

Cara kincir angin bekerja yaitu:

Angin (energy kinetic) meniup kincir angin sehingga sudu dan rotor bergerak.

Sudu dan rotor akan berputar pada porosnya. Putaran sudu dan rotor ini mempengaruhi kumparan stator yang ada di bawah rotor.



Dengan rotor berisi magnet dan stator berisi kumparan (generator), maka akan menghasilkan energy.

Melalui generator tersebut terjadi perubahan energy mekanik menjadi energy listrik yang dapat menyalakan lampu.

Berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor turbin ini memanfaatkan gayahambat (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. Dengan memanfaatkan gaya hambat, turbin angin savonius memiliki putaran dan daya yang rendah. Meskipun demikian turbin savonius tidak memerlukan energi awal memulai rotor untuk berputar yang merupakan keunggulan turbin ini.

1. Dengan prinsip kerja bahwa setiap pada terpaan / tiupan angin yang mengenai daun kincir, menyebabkan daun kincir tersebut berputar dengan arah putar satu arah yaitu kearah kanan secara terus menerus walaupun angin yang menerpa daun kincir datang dari arah

- yang berbeda-beda, sehingga energi putar yang dihasilkan dapat stabil dan menghasilkan energi putar yang cukup untuk dapat memulai alternator chass bekerja menchass baterey secara kontinyu, sehingga dapat menstabilkan inverter yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik AC.
2. Elemen-elemen konstruksi kincir angin model savonius adalah penampang daun kincir dua daun dipasang tegak lurus pada kincir (berporos vertical) terbuat dari bahan fiber glass, AS kincir, kopel bearing (pil blok) riga buah, dan satu buah pulley kincir.
  3. Besarnya tegangan AC yang dihasilkan oleh kincir angin model Savonius ditentukan seberapa besar kapasitas inverter yang digunakan.
  4. Semakin besar kecepatan angin, rapat massa udara luas penampang rotor/kincir angin, semakin besar pula daya yang dihasilkan.

### **Darrieus**

Turbin angin Darrieus mempunyai bilah sudu yang disusun dalam posisi simetri dengan sudut bilah diatur relatif terhadap poros. Pengaturan ini cukup efektif untuk menangkap berbagai arah angin. Berbeda dengan Savonius, Darrieus memanfaatkan gaya angkat yang terjadi ketika angin bertiup. Bilah sudu turbin Darrieus bergerak berputar mengelilingi sumbu.

#### **Kelebihan :**

- Ramah lingkungan ( tidak polusi, bersih)
- Merupakan renewable energy (energi yang tidak dapat habis)
- Sering dipadukan dengan sumber energi lain terutama sumber energi yang terbarukan.
- Merendahkan efek rumah kaca.-
- Tidak memerlukan pengaturan yaw, sehingga desain lebih sederhana.
- Generator dan gearbox terletak dipermukaan tanah, sehingga perawatan menjadi lebih mudah.

- Desain tiang dan struktur lebih sederhana dan biaya lebih murah.
- Tidak ada pengaturan sudut pitch rotor.

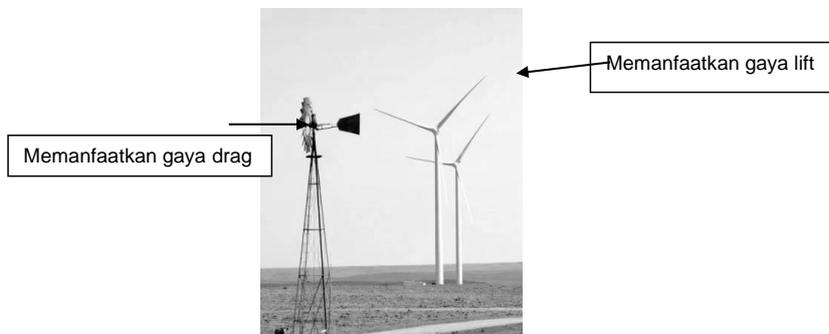
**Kekurangan :**

- Hanya bisa di tempat-tempat tertentu yang memiliki banyak angin (tidak bisa di sembarang tempat)
- Butuh lahan yang cukup besar
- Efisiensi rendah.
- Sukar untuk mengendalikan putaran rotor yang berlebihan.
- Memerlukan motor sebagai penggerak awal turbin.

**Turbin angin sumbu horizontal**

Rotor turbin angin sumbu horizontal berputar dengan memanfaatkan gaya lift dan ada pula yang memanfaatkan gaya drag.

Gambar 2. 33 Turbin Angin Sumbu Horizontal



Turbin yang memanfaatkan sistem drag memiliki bilah rotor yang datar dan gerak putarnya menggunakan gaya drag akibat angin yang menerpa permukaan bilah rotor. Tip speed ratio rotor yang dimiliki rendah dan umumnya tidak efisien. Sistem lift lebih disukai karena memiliki tip speed ratio yang lebih tinggi, efisiensi yang tinggi dan memiliki rasio daya perberat yang rendah.

**Kelebihan :**

- Efisiensi yang tinggi.
- Memiliki kemampuan untuk mengubah arah rotor sehingga sejajar dengan arah angin.
- Cut-in wind speed rendah.
- Memiliki rasio “biaya per daya keluaran” yang rendah

**Kekurangan :**

- Memerlukan ekor atau kendali gerak yaw.
- Generator dan gearbox terletak di atas tiang atau menara bersama-sama dengan rotor.

Klasifikasi kecepatan angin terhadap kapasitas

Scale	Capacity (kW)	Wind Speed (m/s)	Specific Power (W/m <sup>2</sup> )
Low	s/d 10	2,5 – 4,0	< 75
Middle	10 – 100	4,0 - 5,0	75 - 150
Huge	> 100	> 5,0	> 150

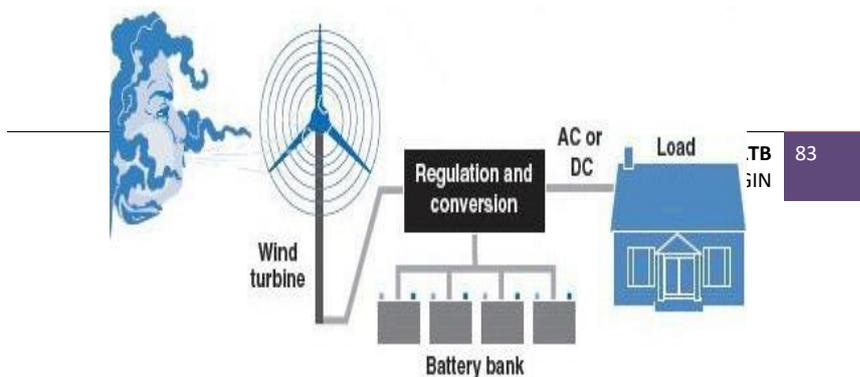
**APLIKASI ENERGI ANGIN**

**Stand alone sistem**

Stand alone sistem artinya adalah sistem yang berdiri sendiri. Dalam hal ini turbin angin dapat digunakan untuk keperluan sebagai berikut :

- Keperluan listrik rumah tangga. Pada sistem ini energi yang dihasilkan disimpan pada baterai dan digunakan untuk keperluan listrik biasanya penerangan dengan system 12 VDC atau 220 VAC dengan inverter.
- Pompa air di daerah pertanian. Sistem ini dapat berupa dua pilihan yaitu turbin angin dikopel langsung dengan pompa air atau menggunakan baterai dan inverter sehingga listrik digunakan untuk memutar pompa air.

Gambar 2. 34 Instalasi PLTB



### Hybrid system

Sistem Hybrid adalah system pembangkit listrik yang terdiri dari 2 atau lebih system pembangkit dengan sumber energy berbeda. Misalnya Listrik Tenaga Surya (Photovoltaic, - PV) dipadu dengan genset, maka disebut Hybrid PV-Genset. System Hybrid yang pernah diterapkan di Indonesia adalah: Hybrid PV-Genset, Hybrid PV-Mikrohydro, Hybrid PV-Bayu (angin), dan bahkan Hybrid PV-Bayu-Genset.

Dilihat dari cara pendistribusian listriknya, system hybrid adalah system centralized, yakni pembangkit berada disuatu lokasi, dan listrik yang dihasilkan didistribusikan melalui jaringan distribusi ke rumah-rumah konsumen. Istilah hybrid sering juga digunakan untuk system Grid Connected PV (yakni menggabungkan/"mencantolkan" Pembangkit Listrik Tenaga Surya ke jaringan PLN). System hybrid yang penempatan PLTS nya diselaraskan dengan arsitektur bangunan (tidak sekadar ditempelkan) disebut BIPV (Building Integration PV). System seperti ini belum pernah ada di Indonesia.

System hybrid PLTS tidak hanya diterapkan di listrik pedesaan tetapi juga banyak diterapkan di perkotaan.

Alasan teknis dimanfaatkannya system hybrid adalah sebagai berikut:

- Saling melengkapi keunggulan dan kelemahan masing-masing pembangkit : Misalnya untuk Hybrid PV-Mikrohydro, pada musim penghujan air banyak tetapi matahari relatif sedikit, dan sebaliknya jika musim kemarau.
- Mengoptimalkan kemampuan system pembangkit : pada Hybrid PV-Genset, genset untuk memenuhi kebutuhan pada saat "peak load", sedangkan pada saat "base load" genset dimatikan dan PLTS mencatu listrik ke jaringan, dengan

demikian masing-masing pembangkit dapat beroperasi pada kapasitas optimalnya.

- Mengurangi ketergantungan pada suplai BBM: pada Hybrid PV-Genset pemakaian genset dapat dikurangi sampai dengan 75%, tanpa mengganggu suplai kebutuhan listrik, sehingga ketergantungan suplai BBM untuk genset dapat dikurangi.
- Meningkatkan keandalan (reliability) dan kualitas suplai listrik. Grid connected/BIPV dapat meningkatkan keandalan dan kualitas suplai listrik karena listrik yang disuplai lebih stabil dan dapat di-set agar memiliki fungsi back up.

Alasan ekonomisnya adalah sebagai berikut:

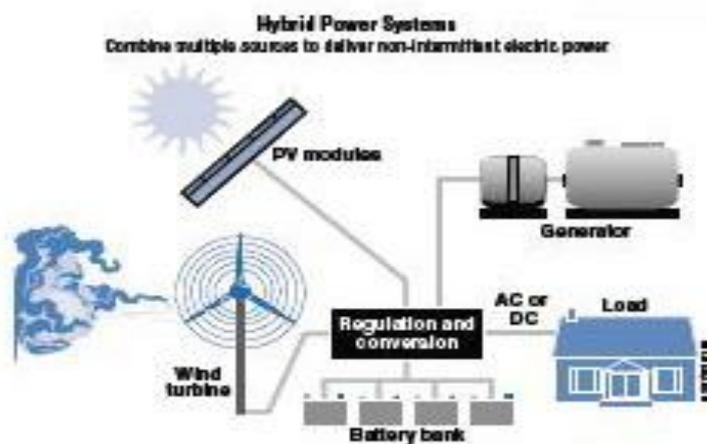
- Meningkatkan efisiensi system pembangkit: Hybrid PV-Genset mengurangi biaya operasional system, karena pada saat "base load" dimana kebutuhan listrik konsumen jauh dibawah kapasitas genset, maka genset dapat dimatikan dan PLTS menggantikan, sehingga genset tidak dibiarkan beroperasi pada kapasitas dibawah kapasitas optimum.
- Meningkatkan keandalan (reliability) dan pelayanan, secara ekonomis. Listrik pedesaan yang beroperasi 6-12 jam per hari dapat ditingkatkan menjadi beroperasi penuh 24 jam/hari secara ekonomis. Apabila peningkatan dilakukan dengan menggunakan genset saja maka investasi yang dibutuhkan kecil tetapi biaya operasi akan meningkat karena pada saat "base load" genset terus beroperasi, ketergantungan terhadap suplai BBM juga semakin tinggi (di pedesaan/pulau terpencil sulit diharapkan kepastian suplai BBM). Apabila peningkatan dilakukan dengan menambah PV saja, meskipun biaya operasi menjadi nol tetapi biaya investasi akan membengkak. Hybrid PV-genset dapat meningkatkan keandalan dan suply listrik 24 jam (layanan kepada pelanggan) dengan menghindari penambahan investasi awal yang terlalu besar, menghindari biaya operasi yang besar, dan mengurangi ketergantungan terhadap suplai BBM.

System hybrid pada dasarnya adalah customized system. System dirancang dengan memperhatikan kebutuhan spesifik dan target yang ingin dicapai, oleh karenanya komposisi kontribusi masing-masing pembangkit dapat diatur agar target dapat dicapai dengan baik. System Hybrid PV-Genset untuk listrik pedesaan di isolated grid misalnya, umumnya dirancang 20-30% PLTS dan 70-80% genset, rancangan ini didasarkan pada load profile listrik pedesaan dimana umumnya "base load" berkisar antara 20-30% dari "peak load". Kapasitas System Hybrid umumnya adalah 20kW, 40kW, 60kW, 80kW, 100kW. System paling besar yang pernah diterapkan di dunia adalah 10MW.

Dengan menggunakan teknologi moduler, system hybrid dari Pt Azet dapat dibangun dengan prinsip rumah tumbuh, misalnya jika diinginkan system hybrid 100kW tetapi kesiapan investasi hanya cukup untuk 20kW dahulu, maka dapat dibangun system yang 20kW dulu kemudian sisanya dibangun menyusul, system yang sdh dipasang terdahulu tidak akan dibuang.

Sistem ini menggabungkan turbin angin dengan berbagai macam sumber energi seperti photovoltaic, mikrohidro atau diesel genset. Tujuan dari sistem ini adalah untuk mensuplai energi pada saat salah satu sumber tidak aktif (misal, tidak ada angin) atau untuk meningkatkan kapasitas dari sistem. Sistem hybrid bisanya untuk mensuplai beberapa rumah atau satu kampung atau bisa juga untuk keperluan sistem komunikasi, kesehatan atau fasilitas umum lainnya.

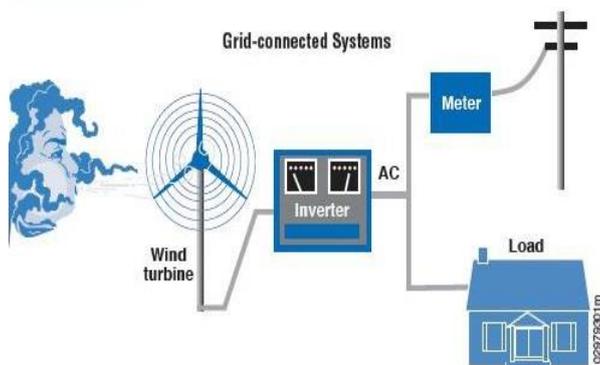
Gambar 2. 35 Hybrid System



### Interkoneksi dengan Jaringan

System ini memungkinkan untuk parallel dengan jaringan listrik yang sudah ada. Sistem ini cukup kompleks dan jarang diaplikasikan di Indonesia dengan berbagai pertimbangan.

Gambar 2. 36 Interkoneksi Dengan Jaringan



### PERENCANAAN APLIKASI PLTB

#### PEMILIHAN LOKASI

Dalam tahap perencanaan dan pemilihan untuk memanfaatkan tenaga angin perlu diketahui fakta mengenai angin sebagai berikut :

#### Karakteristik Angin

- Bersih dan terbarukan
- Site-specific
- Kecepatan dan arah berubah-ubah
- Kecepatan bertambah terhadap ketinggian → energi sebanding dengan pangkat tiga kecepatan
- Potensi aktual ditentukan oleh distribusi kecepatan angin (topografi) lokasi
- Tidak tersedia sepanjang hari

#### **Tahapan penelitian potensi energi angin**

Dalam perencanaan, ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan sebelum suatu proyek benar benar di laksanakan. Tahapan ini penting untuk menentukan karakteristik teknis dari sistem tenaga angin yang terbaik sesuai dengan lokasi, juga dampak sosial ekonomi bagi masyarakat sekitar serta perkiraan biaya yang dibutuhkan. Berikut ini tahapan tahapan yang disarankan dalam penelitian potensi energi angin:

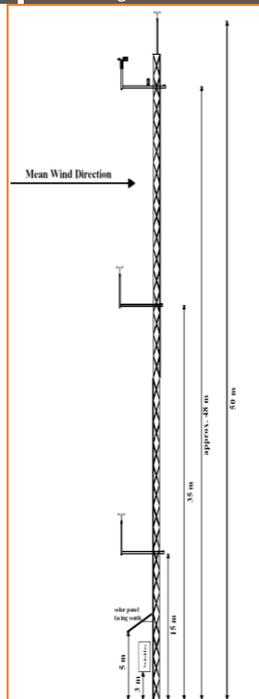
- Informasi data yang sudah ada dari berbagai sumber
- Survei lokasi di daerah yang dianggap potensial
- Mendata berbagai parameter yang terkait seperti curah hujan, akses transportasi dan perkiraan beban konsumen
- Menentukan lokasi pengukuran
- Memilih dan memasang peralatan ukur
- Mengolah & evaluasi data
- AkWH (annual kiloWatt hours), Distribusi Kec. dan arah angin.
- Pembuatan peta potensi angin

Sumber data potensi energi angin dapat diperoleh dari sumber sumber seperti :

- Survei dan Pengukuran langsung di lokasi
- LAPAN : >130 lokasi di berbagai wilayah Indonesia

- Wind Guard: 12 lokasi (NTT)
- Windrock Int : 20 lokasi (NTT)
- Soluziona : 3 lokasi (Sulsel dan Jateng)
- Nipsa : 2 lokasi (Sulut)
- Data dari : BMG , WMO dan NCDC
- Peta potensi energi angin NTT : Sumba dan Timor (NREL)
- Berbagai instansi di beberapa lokasi

Gambar 2. 37 Konfigurasi Peralatan Ukur Potensi Angin dengan anemometer (LAPAN)



- Tinggi Tower : 50 m
- Sensor Anemometer : 20 , 35 dan 50 m
- Sensor arah angin : 35 m dan 51,5m
- Logger : 3 m ( bisa 12 kanal)
- Transfer data : by download / internet
- Tipe tower : tree angle dia 16 mm, hot dip galvanis steel



### Pengukuran kecepatan dan arah angin

#### Anemometer

Cara yang paling sering digunakan untuk mengukur kecepatan dan arah angin adalah anemometer. Data angin yang diperoleh bisa disambungkan ke komputer maupun dengan data loger untuk monitoring dan pengukuran dalam jangka waktu yang lama.

#### Automatic weather system

Cara yang lebih menyeluruh adalah dengan menggunakan alat yang disebut AWS (Automatic Weather System). Selain mengukur kecepatan dan arah angin, alat ini juga memantau data data meteorologi seperti temperatur, tekanan udara, curah hujan dan kelembaban. Untuk kapasitas kecil alat ini jarang digunakan karena biayanya yang cukup mahal. Alat ini biasanya dipakai pada stasiun pemantau cuaca yang diperuntukan untuk pengumpulan data data meteorologis secara umum pada daerah tertentu.

Gambar 2. 38

Automatic Weather System

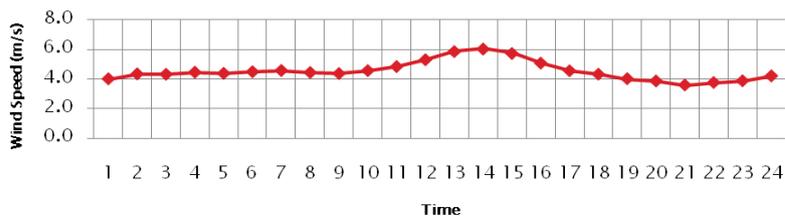
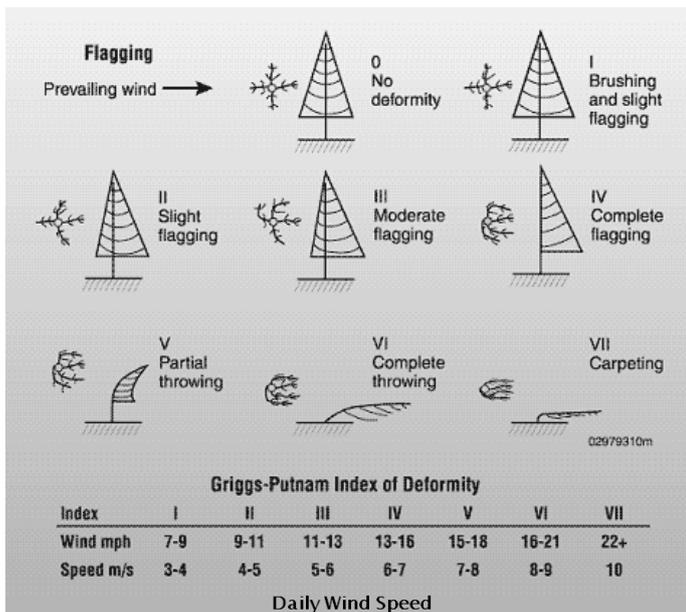


#### Metode pengamatan alami / perkiraan

Kebanyakan turbin angin kecil memerlukan kecepatan angin yang relatif rendah untuk mulai beroperasi, sedangkan turbin angin skala menengah dan skala besar memerlukan kecepatan angin awal yang lebih tinggi. Data kecepatan angin rata-rata suatu wilayah tidak selalu merupakan indikator terbaik bagi suatu wilayah, karena masih ada pengaruh geografi lokal. Memonitor secara langsung kecepatan angin pada lokasi dan ketinggian tertentu untuk

suatu lokasi merupakan cara terbaik. Perubahan angin sebesar 10% akan menyebabkan perubahan daya kira-kira sebesar 30%. Taksiran kecepatan angin dari gerak dedaunan, seperti pada Gambar dibawah, akan sangat membantu.

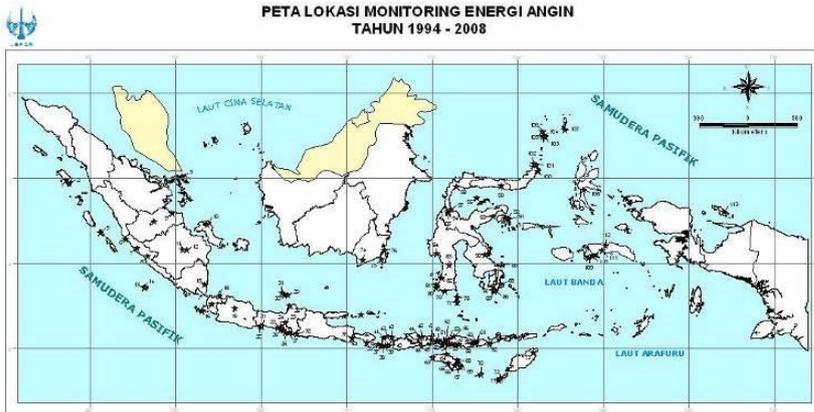
Gambar 2. 39 Taksiran Kecepatan Angin



berikut data rata rata kecepatan angin berdasarkan hasil pengujian LAPAN di beberapa lokasi di Indonesia pada ketinggian 50 meter.

No	Province/ Island	V (m/s)	Number of
1	East Nusa Tenggara	3.2 ~ 7.6	41
2	West Nusa Tenggara	3.2 ~ 4.9	11
3	Maluku	3.4 ~ 4.2	2

4	Selebes ( North, Central, South,	3.2 ~ 7.3	18
5	Java	3.9 ~ 5.2	10
6	Sumatera	3.4 ~ 3.9	4
7	Kalimantan (Borneo)	3.6	1

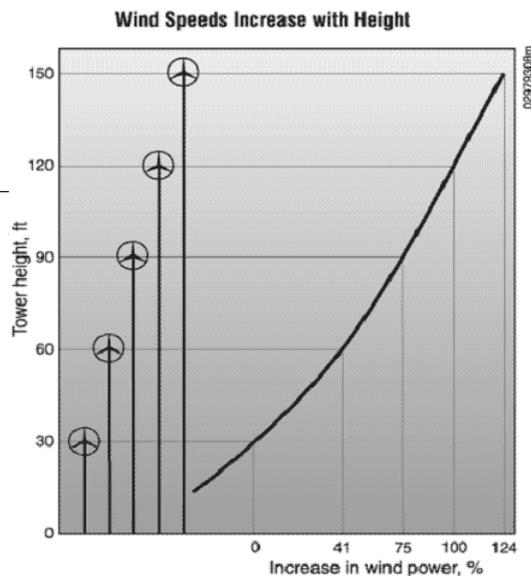


- |                                 |                                   |                         |                              |                                 |                                    |
|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 1. Lhokseumawe, SIMUT           | 21. Klasek, JATENG                | 41. Manggaru, NTB       | 61. Kolisa, NTT              | 81. Patirong, Kepulauan SULSEL  | 101. Lingsar, SULUT                |
| 2. Batak, Riau, SUMUT           | 22. Pucung, JATENG                | 42. Saka, NTB           | 62. Sive, NTT                | 82. Lapan, Pangasinan, SULSEL   | 102. Sundaia, SULUT                |
| 3. Karang, Riau                 | 23. S. Merapi, JATENG             | 43. Lambela, NTB        | 63. Den Doka, NTT            | 83. Jilang, SULSEL              | 103. Sundaia, SULUT                |
| 4. Jambi, JABAR                 | 24. Sri Cakrab, Samud. Bant., DIY | 44. UPT Rong, NTB       | 64. Nambopraga, NTT          | 84. Ciaso, SULBAR               | 104. Leganera, SULUT               |
| 5. Sipora Mentawai, SUMBA       | 25. Sringga, DIY                  | 45. Jempoh, NTB         | 65. Warambalar, NTT          | 85. Sambulaja, SULTRA           | 105. Kakuaku, SULUT                |
| 6. Tanjung Mulo, BENGKULU       | 26. Kemahang, DIY                 | 46. Hengapora, NTB      | 66. Samopaga, NTT            | 86. Darak Mamon, SULTRA         | 106. Marampaga, SULUT              |
| 7. Air Patah, BENGKULU          | 27. Pantai Sunda, DIY             | 47. UPT Cici, NTB       | 67. Larka, NTT               | 87. Lakala, SULTRA              | 107. PLTD Mangarang, Takau, SULUT  |
| 8. P. Tausi, BENGKULU           | 28. Bukit Raja, JATENG            | 48. Pui, NTB            | 68. Parakaburu, NTT          | 88. Tamparaha, SULTRA           | 108. Halahala Tangah, MALUKU UTARA |
| 9. Nibung Pauh, JAMBI           | 29. Karimunjaya, JATENG           | 49. Raja Pulau, NTB     | 69. Sabaru, NTT              | 89. Langgara Laut, SULTRA       | 109. LIMPATI, MALUKU               |
| 10. Peneak, SIBEL               | 30. Perang, JATENG                | 50. N. Kemado, NTT      | 70. Ledena, NTT              | 90. Temoa, SULTRA               | 110. Abani, MALUKU                 |
| 11. Patotan ATP M. Bin, SUMSEL  | 31. Nyamu, JATENG                 | 51. Pappatara, NTT      | 71. Nemberata, NTT           | 91. Abasan, SULTENG             | 111. Namalo, MALUKU                |
| 12. Bakung ATP, SUMTEL          | 32. Pakan, JATIM                  | 52. Pacir Pulu, NTT     | 72. Maderah, NTT             | 92. Burungkuhi, SULTENG         | 112. Salaman, MALUKU               |
| 13. Kanyaga, Enkapra, BENGKULU  | 33. Krasan, JATIM                 | 53. Ulu, NTT            | 73. Di. Suren, Takadi Kambua | 93. Damp, SULTENG               | 113. Abani, MALUKU                 |
| 14. Apoh, BENGKULU              | 34. Bancanara Madura, JATIM       | 54. Macang Tanggar, NTT | 74. Suaragan, KALSEL         | 94. Becusa Tengah, SULTENG      | 114. Mazon, PAPUA                  |
| 15. Bendaung, LABUANG           | 35. Bala, BANTU                   | 55. Manggala, NTT       | 75. Samaru, KALSEL           | 95. Paha, SULTENG               |                                    |
| 16. Muara Wazizam Lebar, RANTEN | 36. Digebe, NTB                   | 56. Robek, NTT          | 76. Sapagari, KALSEL         | 96. Waiaki, Toi Unauwa, SULTENG |                                    |
| 17. Pandeglang, BANTEN          | 37. Kosa, NTB                     | 57. Mangakaka, NTT      | 77. Apozanah, SULSEL         | 97. Parigi, SULTENG             |                                    |
| 18. P. Karas, DKI               | 38. Pangaspas, NTB                | 58. Sibaani, NTT        | 78. Bungaya, SULSEL          | 98. Pakea Tangki, SULTENG       |                                    |
| 19. Ciputat, JABAR              | 39. Lebar, NTB                    | 59. Laka, NTT           | 79. Bendeji, SULSEL          | 99. To. Icom, GORONTALO         |                                    |
| 20. Di. Saka Cilecap, JATENG    | 40. Tembaru, NTB                  | 60. Ejen, NTT           | 80. UPT. Paraga, SULSEL      | 100. Pausasa, SULUT             |                                    |

### Penempatan turbin angin Ketinggian

Ketinggian penempatan turbin angin di suatu wilayah sangat berpengaruh pada daya yang dihasilkan. Gambar berikut menunjukkan pengaruh ketinggian terhadap daya yang akan dihasilkan oleh suatu turbin.

Gambar 2. 40 Pengaruh Ketinggian Terhadap Daya Turbin



Batasan lahan dan jarak dengan lingkungan sekitar.

Lakukan pemeriksaan apakah ada peraturan batasan jarak pemasangan tiang dengan bangunan atau lahan milik umum, perumahan pribadi dari pemerintah daerah setempat dan juga dari lingkungan sekitarnya. Selain faktor keamanan, kondisi penempatan turbin angin akan sangat mempengaruhi kondisi angin yang dapat diekstraksi untuk dapat menghasilkan energi. Tabel berikut memberikan data koefisien kekasaran angin pada berbagai kondisi tempat penempatan turbin angin.

<b>Roughness Length <math>Z_0</math> (m)</b>	<b>Surface Types</b>
1	Urban, forest
0.5	Suburban
0.3	Open development
0.2	Trees / bushes
0.1	Open agriculture with close field
0.05	Open agriculture with wide field

0.03	Field with many small building, trees, etc.
0.01	Airports, runway, grassland
0.005	Open plain
0.001	Snow (halus)
0.0003	Sand (halus)
0.0001	Water

#### Persyaratan/izin

Turbin angin kecil sekalipun memerlukan tiang yang cukup tinggi untuk mendapatkan angin yang kecepatannya lebih tinggi dan untuk menghindari turbulensi yang bersumber dari topografi, pohon dan lain-lain di sekelilingnya. Periksa peraturan-peraturan wilayah yang berlaku yang mungkin dapat membatasi seseorang untuk memasang tiang yang sesuai dengan turbin. Perlu diketahui bahwa tinggi tiang, seperti halnya juga ukuran turbin dan kecepatan angin, akan menentukan berapa besar daya yang dapat dihasilkan. Hal-hal lain seperti kebisingan dan rasa aman juga perlu diperhatikan.

Gambar 2. 41 Penempatan Turbin Angin Pada Rumah Pribadi



#### Batasan ketinggian tiang

Lakukan pemeriksaan apakah ada batasan ketinggian pemasangan tiang dari pemerintah daerah setempat dan juga dari lingkungan sekitarnya. Secara teori, semakin tinggi tiang

adalah semakin bagus, tetapi faktor lain perlu juga dipertimbangkan seperti ijin, transportasi, instalasi, biaya dan keamanan dari bencana.

Pertimbangan biaya dan instalasi

Lakukan perhitungan biaya pembelian dan instalasi turbin angin, terutama mengenai akses jalan dan transportasi. Apakah memungkinkan untuk transport dan pemasangannya.

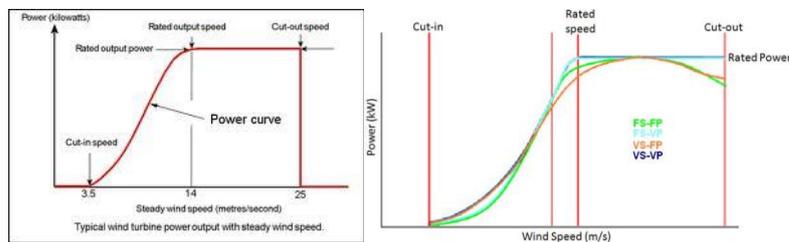
## PEMILIHAN TURBIN ANGIN

Penentuan Ukuran Turbin

### Karakteristik Daya dan Kinerja Turbin Angin

Karakteristik daya atau kurva daya sebuah turbin angin memberikan hubungan antara daya (dalam W, kW atau MW) yang dihasilkan oleh turbin angin tersebut sebagai fungsi dari kecepatan angin yang secara spesifik dinyatakan oleh kecepatan – kecepatan operasional (dalam m/s) yaitu: starting speed, cut-in speed, rated speed, cut-out speed dan maximum speed, yang diperlihatkan pada Gambar 4.3 a dan 4.3 b.

Gambar 2. 42 Kurva Daya Turbin Angin Tipikal



Dari Gambar 2.43 tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

- **Starting speed**

Adalah kecepatan angin minimum yang diperlukan untuk memutar rotor turbin angin dan nilainya lebih kecil atau lebih besar dari pada cut-in. Hal ini terjadi karena pada saat kecepatan awal untuk memutar turbin angin, umumnya diperlukan gaya torsi yang lebih besar dan setelah berputar awal dengan kecepatan angin yang lebih rendah bisa memulai gerakan putar rotor.

- **Cut\_in speed**

Adalah kecepatan angin yang diperlukan agar turbin angin mulai menghasilkan listrik. Nilai cut\_in speed untuk turbin angin skala kecil hingga besar berkisar antara 2,5 m/s sampai 4,5 m/s, dan dalam perkembangannya cut-in speed cenderung menurun, terutama desain turbin angin yang diperuntukan beroperasi pada rejim kecepatan angin rendah.

- **Rated speed**

Kecepatan angin yang diperlukan agar turbin angin menghasilkan daya nominal dan disebut juga kecepatan nominal atau kecepatan angin rencana (rancangan). Mulai dari kecepatan ini hingga cut-out, turbin angin akan mempertahankan daya nominal yang di hasilkan karena adanya pengontrolan daya terhadap rotor turbin angin sampai ke kecepatan cut-out. Kecepatan angin nominal untuk turbin angin berkisar antara 8--14 m/s.

- **Cut-out speed**

Kecepatan angin maksimal yang diperlukan agar turbin angin tetap mempertahankan daya nominalnya dan bila melebihi nilai tersebut maka daya turbin angin akan di kontrol agar tidak melebihi nominal tersebut

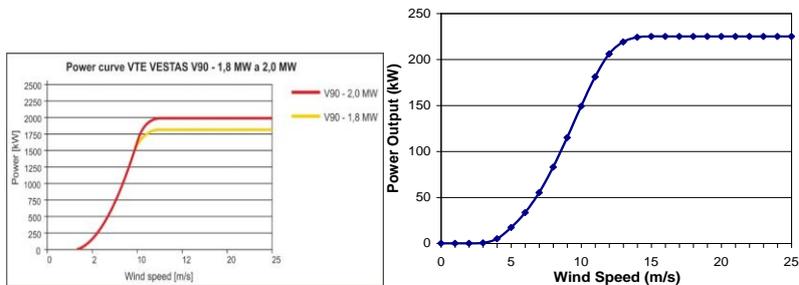
- **Maximum speed**

Kecepatan maksimum yang di perbolehkan agar struktur turbin angin tidak mengalami kerusakan karena gaya-gaya aerodinamik yang bekerja pada turbin angin tersebut.

Untuk turbin angin dengan tipe dan kapasitas tertentu, kurva daya sebuah turbin angin dikeluarkan oleh fabrikasi berdasarkan hasil pengujian lapangan atau pengujian di dalam terowongan angin.

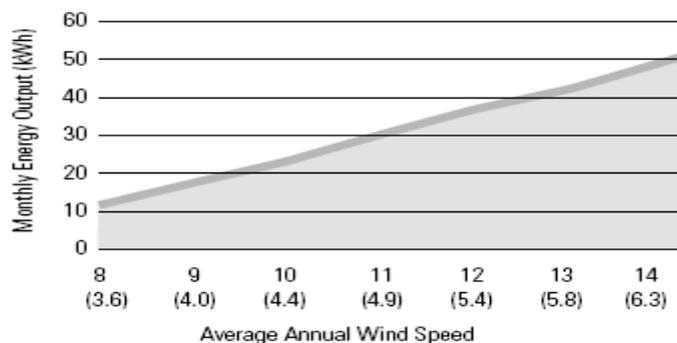
Contoh kurva daya tipikal untuk sebuah turbin angin skala besar 225 kW dan 1,8 MW dengan kecepatan operasionalnya di perhatikan pada Gambar 2.44.

Gambar 2. 43 Kurva Daya Dua Turbin Angin, 250 Kw Dan 1,8 MW



Ukuran turbin yang diperlukan tergantung pada keadaan angin di lokasi turbin akan dipasang dan tergantung pula pada seberapa besar daya yang diinginkan. Produsen turbin biasanya memberikan kurva daya atau kurva energi yang menunjukkan output daya atau produksi energi yang dapat dihasilkan oleh turbin pada berbagai kecepatan angin. Perlu diketahui bahwa kurva daya tidaklah distandarkan dan hanya memberikan taksiran seberapa banyak energi listrik dapat dihasilkan. Secara umum, semakin besar daerah sapuan rotor maka akan semakin besar daya yang akan dihasilkan oleh turbin pada kecepatan angin tertentu.

Gambar 2. 44 Contoh Kurva Energi Yang Akan Diproduksi Oleh Turbin Angin 200 W



- Kalikanlah konsumsi listrik tahunan anda dalam kW-jam (kWh) dengan persentase yang ingin dipenuhi oleh turbin. Dari sini dapat diketahui berapa besar kWh tahunan yang harus dipenuhi oleh turbin.

- Gunakan data kecepatan angin rata-rata tahunan di lokasi turbin akan dipasang dan lihatlah spesifikasi turbin agar ada gambaran turbin mana yang akan dipilih. Bandingkan unjuk kerja turbin dengan kebutuhan daya puncak dan kebutuhan listrik tahunan.
- Tentukan peralatan-peralatan listrik apa yang harus dipenuhi oleh turbin yang akan dipasang.

Angin merupakan sumber energi yang selalu berubah-ubah, sehingga perlu dipertimbangkan opsi-opsi lain. Untuk sistem off-grid (tidak terhubung dengan listrik PLN) biasanya dilengkapi dengan baterai/aki atau dikombinasikan dengan penggunaan sumber-sumber alternatif pembangkit listrik lain. Untuk lokasi yang sudah terhubung dengan listrik PLN (on-grid), maka penggunaan turbin angin sebagai pembangkit listrik merupakan back-up, atau dapat juga sebagai upaya mengurangi penggunaan listrik PLN.

Parameter teknis

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam mendesain dan menentukan pilihan untuk spesifikasi sistem tenaga angin, diantaranya adalah:

1. Tipe atau model turbin angin;
2. Daya nominal (rated power) → dalam watt atau kW
3. Rotor: posisi, diameter, arah putaran, jumlah sudu, profil airfoil sudu, rasio kecepatan ujung, bahan sudu, kecepatan rotor, kontrol sudu, sudut angkat (tilt angle);
4. Roda gigi: tipe, jenis dan rasio perbandingan kecepatan (rasio transmisi);
5. Generator : tipe, daya, sistem listrik, tegangan, fasa dan frekuensi;
6. Nasel : berat dan konstruksi;
7. Menara : tipe ( konikal, tubular atau berangka), konstruksi, tinggi;
8. Pondasi: tipe dan volume;
9. Kecepatan operasional : Cut –in, nominal (rated), cut-out, survival;
10. Mekanisme geleng (“yawing”);
11. Pengereman;
12. Berat total : nasel, roda-gigi, rotor, generator, menara;
13. Produksi energi tahunan: AKWH (Annual Kilo Watt Hour), Availabilitas;

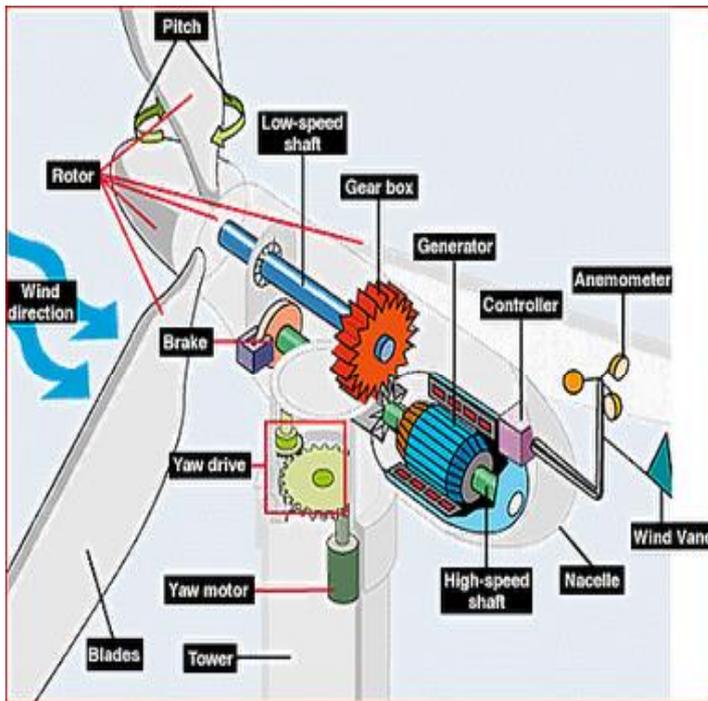
14. Umur pakai (life-time).

## KOMPONEN UTAMA TURBIN ANGIN

### Turbin angin skala besar

Turbin angin berfungsi untuk merubah energi kinetik dari hembusan angin menjadi energi mekanis atau gerak. Pada artikel ini akan dijelaskan secara umum mengenai turbin angin sebagai pembangkit listrik. Bagan atau skema turbin angin dapat dilihat pada gambar berikut:

Gambar 2. 45 Komponen Pada Sistem Turbin Angin Sumu Horizontal



#### Anemometer

Mengukur kecepatan angin dan memberikan data kecepatan tersebut kepada unit pengontrol

#### Blades/Sudu-sudu

Perubahan energi kinetik menjadi mekanis terjadi pada bagian ini. Angin yang berhembus akan menggerakkan sudu-sudu sehingga memutar poros utama. Sudut serang dari sudu-sudu ini dapat diatur secara otomatis berdasarkan kecepatan angin, hal ini bertujuan untuk menjaga kecepatan putar dari poros utama agar tidak terlalu lambat atau terlalu cepat.

#### Brake/Rem

Rem bertipe cakram atau piringan yang berfungsi menghentikan turbin seketika jika terjadi kondisi darurat atau berbahaya.

#### Controller/Unit Pengendali

Unit pengendali berfungsi untuk mengatur kerja dari turbin berdasarkan informasi berupa data kecepatan angin yang diterima dari anemometer. Unit pengendali akan memerintahkan turbin untuk bekerja ketika angin berhembus dengan kecepatan rendah antara 13 km/jam - 26 km/jam. Sebaliknya akan menghentikan kerja turbin bila angin berhembus dengan kecepatan diatas 86 km/jam, karena dapat merusak turbin.

#### Gear Box/Roda Gigi

Berfungsi untuk meningkatkan putaran dari poros utama menjadi 1000-1800 putaran per menit yaitu kecepatan putar yang dibutuhkan bagi generator untuk membangkitkan listrik.

#### Generator

Mengubah energi mekanik putaran menjadi energi listrik. Arus yang dihasilkan adalah arus bolak-balik (AC) dengan frekuensi 50/60 Hz

#### High-speed Shaft

Poros yang berputar dengan kecepatan putar lebih tinggi berfungsi untuk memutar generator.

#### Low-speed Shaft

Disebut juga poros utama, yang terhubung dengan sudu-sudu dan berputar dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan putar sudu-sudu. Kecepatan putar poros ini antara 30-60 putaran per menit.

#### Nacelle

Nacelle berfungsi sebagai 'rumah' bagi generator, gear box, poros, unit pengontrol, dan rem.

#### Pitch

Pitch adalah pengaturan kemiringan sudu-sudu terhadap arah hembusan angin yaitu untuk mengatur besaran sudut serang dari sudu-sudu. Jika kecepatan angin rendah, maka sudut serang dibuat lebih besar agar mampu memutar sudu-sudu lebih cepat. Sebaliknya jika hembusan angin lebih kencang maka sudut serang dibuat lebih kecil sehingga kecepatan putar sudu-sudu tidak terlalu tinggi. Jika kecepatan putar terlalu tinggi, akan menyebabkan listrik yang dibangkitkan terlalu besar serta dapat merusak sistem.

#### Rotor

Sudu-sudu dan poros yang terhubung disebut rotor/bagian yang berputar

#### Tower

Tower atau tiang pancang dibuat dari baja berbentuk pipa, beton, atau baja profil. Semakin tinggi tiang pancang maka energi yang dapat ditangkap semakin besar, karena kecepatan angin akan semakin besar di ketinggian.

#### Wind direction

Adalah arah datangnya angin yang akan memutar sudu-sudu.

#### Wind vane/sirip

Sirip ini berfungsi untuk mengetahui arah angin, dan memberikan informasi kepada unit pengendali agar memberikan perintah memutar arah turbin berlawanan dengan datangnya angin untuk mendapatkan energi yang maksimal.

#### Yaw drive

Unit penggerak untuk memutar arah turbin sesuai dengan arah angin.

#### Yaw motor

Motor listrik untuk menggerakkan Yaw drive.

#### Karakteristik turbin skala besar

gambar 2. 46

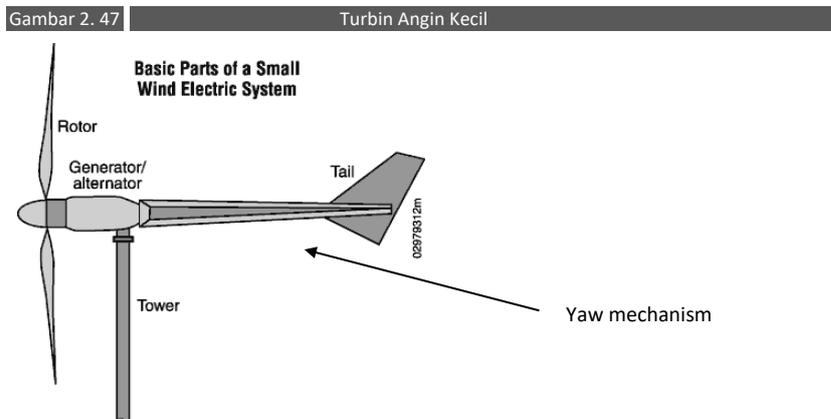
Turbin Angin Skala Besar

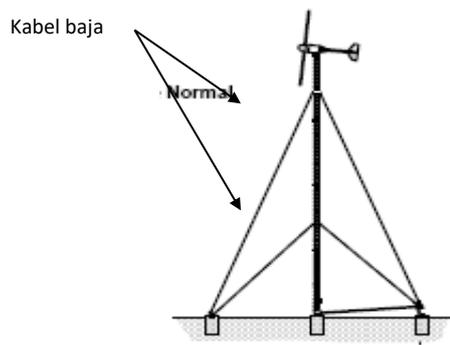


Turbin angin skala besar saat ini menggunakan jenis sumbu horizontal dan umumnya mempunyai karakteristik-karakteristik sebagai berikut :

- Kecepatan rotor dan output daya dapat dikendalikan melalui pengaturan sudut pitch bilah rotor terhadap sumbu longitudinalnya, disebut blade pitch control. Lagi pula, pengaturan sudut pitch bilah rotor merupakan cara yang paling efektif untuk membatasi putaran rotor, terutama pada saat terjadi angin yang sangat kencang.
- Menggunakan gearbox untuk menaikkan putaran poros.
- Bentuk bilah rotor dapat dibuat optimal secara aerodinamik dan telah terbukti bahwa efisiensi tertinggi dapat dicapai bila rasio lift terhadap drag dibuat maksimum.
- Jenis upwind, yaitu rotor selalu menghadap angin datang (menggunakan sistem kendali).
- Keunggulan teknologi turbin angin jenis propeller ( sumbu horizontal ) merupakan faktor yang sangat penting.

Komponen turbin angin skala kecil





Komponen-komponen turbin angin kecil meliputi :

- Rotor :  
Untuk karakteristik angin rendah umumnya rotor yang digunakan adalah 3 bilah dari bahan komposit atau fiber glass. Rotor jenis ini hampir tanpa perawatan dengan tingkat kebisingan rendah.
- Generator/Alternator :  
Generator yang digunakan harus memiliki putaran rendah. Mengingat kecepatan angin dan putaran turbin yang rendah untuk daerah Indonesia. Jenis generator yang biasa digunakan adalah generator dengan magnet permanen. Generator jenis ini memungkinkan untuk menghasilkan listrik pada kecepatan rendah dengan efisiensi yang cukup tinggi sehingga tidak memerlukan gearbox atau pulley yang besar untuk mendapatkan kecepatan yang tinggi. Selain itu ada juga alternatif dengan menggunakan generator asinkron atau dengan generator DC.
- Ekor :  
Sebagai pengarah agar rotor selalu menghadap angin datang.
- Yaw mechanism :

Agar unit turbin dapat berputar mengikuti arah angin datang (bersama-sama dengan fungsi ekor)

- Tiang/tower :  
Umumnya berupa pipa baja.

Karakteristik turbin angin skala kecil

Pada turbin angin skala kecil dilakukan beberapa penyederhanaan, sehingga umumnya memiliki karakteristik sebagai berikut.

- Rotor langsung dihubungkan ke generator, disebut direct drive.
- Memiliki komponen berputar yang sesedikit mungkin, agar efisien dan perawatan menjadi minimal.
- Menggunakan ekor sebagai pengarah agar rotor selalu menghadap angin datang.
- Umumnya tidak memiliki sistem pengereman tersendiri.
- Proteksi terhadap kecepatan putar rotor yang terlalu besar, pada saat angin sangat kencang, menggunakan gerakan side furling.

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

Kerjakan tugas berikut secara kelompok :

1. Menggunakan peralatan ukur angin diantaranya weather station dan lain-lain.
2. Mengidentifikasi turbin angin dari awal perkembangan turbin dunia sampai sekarang.
3. Mengidentifikasi turbin angin yang ada di Indonesia sampai saat ini.
4. Melaksanakan rekam jejak (track record) unjuk kerja :
  - Sudah berapa lama produsen turbin angin tersebut telah berproduksi ?
  - Sudah berapa lama merek dan model turbin tersebut ada di pasaran ?
  - Adakah track record dan unjuk kerja turbin tersebut ?
  - Apakah kecepatan angin rata-rata di lokasi anda jauh di atas cut-in wind speed turbin tersebut ?

- Dapatkah proteksi terhadap kecepatan angin yang berlebihan bekerja dengan baik ?
- Bagaimana tingkat kebisingan turbin saat beroperasi ?

### E. Rangkuman

Angin adalah gerakan udara di atas permukaan bumi, yang bertiup dari daerah yang bertekanan tinggi ke daerah yang bertekanan rendah. Daerah udara bertekanan tinggi terbentuk jika suatu massa udara mengalami pendinginan di atas permukaan tanah atau laut. Ada 2 penyebab terjadinya perbedaan tekanan yaitu rotasi bumi dan pengaruh pemanasan matahari.

Daya yang dikandung oleh angin adalah energi kinetik angin per satuan waktu =  $(1/2) \cdot \rho \cdot A \cdot V^3$ .

Besarnya daya angin yang dapat diekstraksi oleh suatu turbin angin mejadi energi mekanik poros adalah =  $C_p \cdot (1/2) \cdot \rho A V^3$ , dimana  $C_p$  adalah Power Coefficient yang merupakan efisiensi ekstraksi daya angin oleh rotor turbin angin

Secara umum terdapat dua buah konfigurasi dasar turbin angin, yaitu turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertical.

Tahapan dalam penelitian potensi energi angin:

- Informasi data yang sudah ada dari berbagai sumber
- Survei lokasi di daerah yang dianggap potensial
- Mendata berbagai parameter yang terkait seperti curah hujan, akses transportasi dan perkiraan beban konsumen
- Menentukan lokasi pengukuran
- Memilih dan memasang peralatan ukur
- Mengolah & evaluasi data
- AkWH (annual kiloWatt hours), Distribusi Kec. dan arah angin.
- Pembuatan peta potensi angina

Komponen-komponen turbin angin kecil : rotor, generator, ekor, yaw mechanism, tiang.

#### **F. Tes Formatif**

1. Jelaskan proses terjadinya angin pada waktu malam hari dan kemana arah angin?
2. Kincir angin apa yang sudah mulai menerapkan pengaturan sudut pitch sudu tahun 1854? dan apa manfaatnya berhubungan dengan kecepatan angin yang sangat tinggi. Jelaskan.
3. Jelaskan tentang jenis turbin angin savonius dan darrieus?
4. Jelaskan tentang alat automatic weather system?
5. Apa dasar penentuan ukuran turbin angin secara umum?

### **G. Kunci Jawaban**

1. Angin adalah udara yang bergerak udara yang bertekanan tinggi ke ....
2. Halladay wind turbin, mampu bertahan pada kecepatan angin yang sangat tinggi.
3. Turbin Savonius dapat berputar karena adanya gaya tarik (drag)....., Turbin angin Darrieus mempunyai bilah sudu yang disusun dalam posisi simetri dengan sudut bilah diatur relatif terhadap poros.....
4. Alat untuk mengukur kecepatan dan arah angin, alat ini juga memantau data data meteorologi seperti temperatur, tekanan udara, curah hujan dan kelembaban.
5. Ukuran turbin secara umum tergantung pada keadaan angin di lokasi turbin akan dipasang dan tergantung pula pada seberapa besar daya yang diinginkan

### KEGIATAN PEMBELAJARAN 3 : DESIGN PLTB

#### A. Tujuan

Setelah mempelajari kegiatan pembelajaran 3 desain PLTB peserta mampu memahami prinsip konversi energy angin, desain SKEA, pemilihan turbin angina dan perakitan turbin angina.

#### B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Indikator pencapaian kompetensi, peserta mampu:

- mengidentifikasi karakteristik angin
- mendesain turbin angin
- merakit turbin angin

#### C. Uraian Materi

##### 3.1. PRINSIP KONVERSI ENERGI ANGIN

Prinsip Fisik Konversi Energi Angin

Teori Momentum Elementer Betz

Energi kinetik dari massa udara sebesar  $m$  yang bergerak pada kecepatan  $v$  dinyatakan sebagai

$$E = \frac{1}{2} m v^2$$

Dengan menganggap udara melalui luas penampang  $A$  pada waktu tertentu, maka laju aliran udara tersebut menjadi

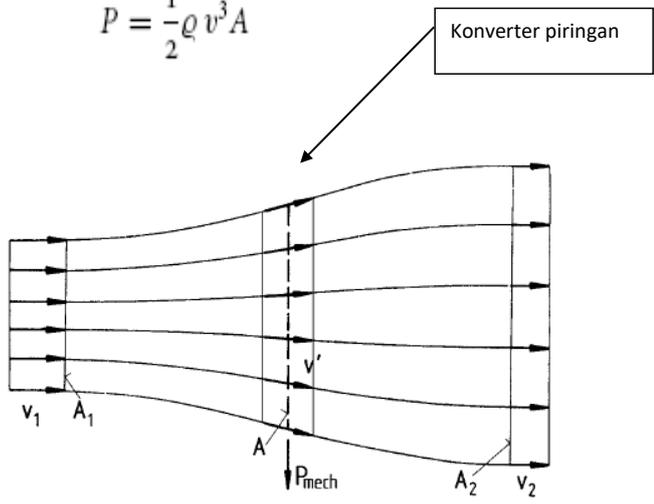
$$\dot{V} = v A$$

dan bila kerapatan udara adalah  $\rho$ , maka laju aliran massa udara adalah

$$\dot{m} = \rho v A$$

Dari persamaan-persamaan di atas didapat ekspresi daya angin seperti berikut

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3 A$$



**Gambar 3. 1** Kondisi aliran udara akibat ekstraksi energi mekanik dari aliran udara bebas sesuai dengan teori momentum elementer.

Energi mekanik yang dapat diekstraksi oleh “konverter piringan” dari aliran udara merupakan selisih daya aliran udara sebelum dan sesudah melewati konverter, yaitu :

$$P = \frac{1}{2} \rho A_1 v_1^3 - \frac{1}{2} \rho A_2 v_2^3 = \frac{1}{2} \rho (A_1 v_1^3 - A_2 v_2^3)$$

Persamaan kontinuitas mensyaratkan

$$\rho v_1 A_1 = \rho v_2 A_2$$

sehingga, daya yang dapat diekstraksi menjadi

atau

$$P = \frac{1}{2} \rho v A (v_1^2 - v_2^2)$$
$$P = \frac{1}{2} \dot{m} (v_1^2 - v_2^2)$$

Pengolahan lebih lanjut terhadap persamaan-persamaan sebelumnya akan menghasilkan ekspresi daya yang dapat diekstraksi menjadi

$$P = \frac{1}{4} \rho A (v_1^2 - v_2^2) (v_1 + v_2)$$

sedangkan daya angin sebelum mencapai rotor adalah

$$P_o = \frac{1}{2} \rho v_1^3 A$$

Rasio antara daya mekanik yang dapat diekstraksi dan daya angin sebelum mencapai rotor disebut koefisien daya (power coefficient)  $C_p$ , yaitu :

$$c_p = \frac{P}{P_o} = \frac{\frac{1}{4} \rho A (v_1^2 - v_2^2) (v_1 + v_2)}{\frac{1}{2} \rho A v_1^3}$$

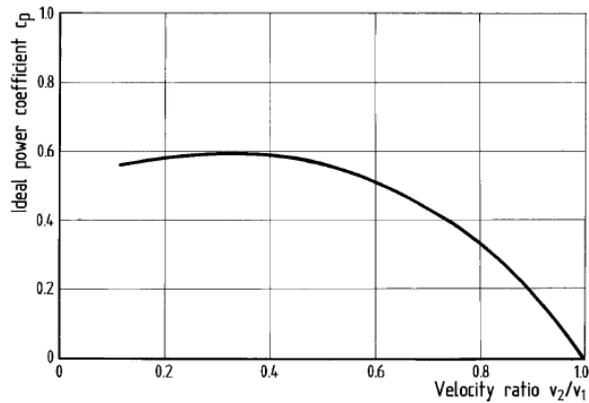
atau dapat dinyatakan dalam bentuk

$$c_p = \frac{P}{P_o} = \frac{1}{2} \left| 1 - \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right| \left| 1 + \frac{v_2}{v_1} \right|$$

Dari persamaan dan kurva di atas, maka  $C_p$  maksimum atau “koefisien daya ideal” terjadi pada saat  $v_2/v_1 = 1/3$  dan besarnya adalah

$$c_p = \frac{16}{27} = 0,593$$

Gambar 3. 2 Hubungan Koefisien Daya Dengan Rasio  $V_2/V_1$



**Hasil penting yang didapat dari teori momentum ini adalah :**

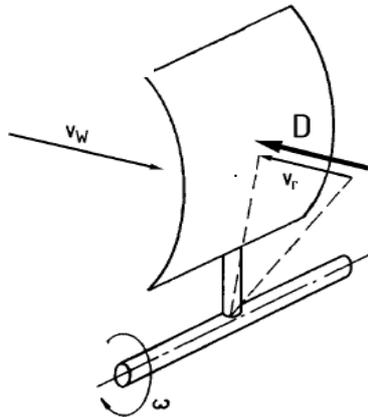
1. Daya mekanik yang dapat diekstraksi dari aliran udara akan bertambah besar sebagai fungsi kecepatan angin pangkat tiga.
2. Daya yang dihasilkan berbanding lurus dengan luas penampang sapuan rotor atau berbanding kuadratis dengan diameter rotor.
3. Daya mekanik maksimum yang dapat diekstraksi dari aliran udara adalah sebesar 59,3 %.
4. Jika koefisien daya mencapai harga maksimum, yaitu 0,593, maka kecepatan udara setelah melewati rotor tinggal 1/3 kali kecepatan udara sebelum melewati rotor.

Drag dan Lift

**Peralatan yang Menggunakan Drag :**

Jenis konversi energi yang paling sederhana yang murni menggunakan drag dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.

Gambar 3.3 Kondisi Aliran Dan Gaya-Gaya Aerodinamik Pada Peralatan Drag



Udara yang menepa permukaan  $A$  dengan kecepatan  $v_w$ , maka daya yang diperoleh adalah  $P$  yang dapat dihitung dari drag aerodinamik  $D$ , luas  $A$  dan kecepatan  $v$  yaitu :

$$P = D v_r$$

Kecepatan relatif  $v_r = v_w - v$  yang menepa permukaan drag akan menentukan drag aerodinamik. Dengan menggunakan koefisien drag  $C_D$ , maka drag aerodinamik dapat dinyatakan sebagai

$$D = c_D \frac{\rho}{2} (v_w - v_r)^2 F$$

Daya resultan adalah

$$P = \frac{\rho}{2} c_D (v_w - v_r)^2 A v_r$$

Dalam kasus ini, koefisien daya  $C_p$  dapat dinyatakan sebagai

$$c_p = \frac{P}{P_o} = \frac{\frac{\rho}{2} c_D A (v_w - v_r)^2 v_r}{\frac{\rho}{2} v_w^3 A}$$

Pada saat rasio kecepatan  $v/v_w = 1/3$ , maka nilai maksimum  $C_p$  adalah

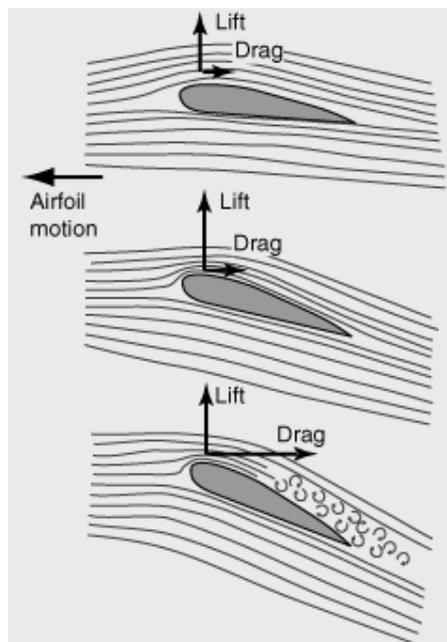
$$C_{P_{\max}} = \frac{4}{27} C_D$$

Dari sini, koefisien daya maksimum untuk rotor “jenis drag murni” menjadi

$$C_{P_{\max}} \approx 0,2$$

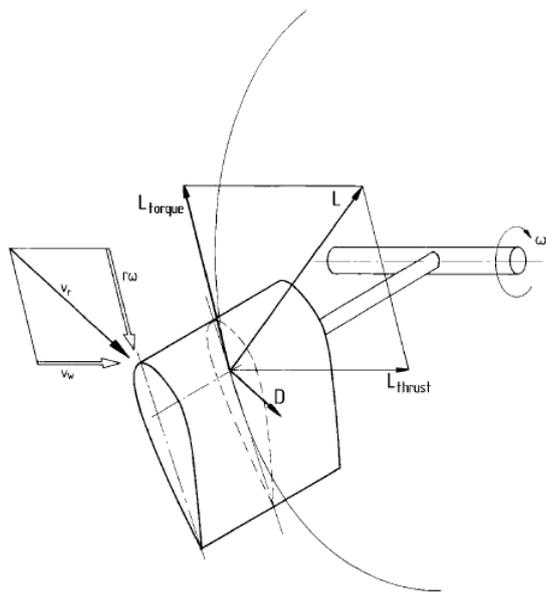
**Rotor yang Menggunakan Lift Aerodinamik :**

Penggunaan lift aerodinamik membuat koefisien daya meningkat tajam. Seperti halnya dengan airfoil pesawat terbang, penggunaan aerodinamik lift membuat efisiensi sangat meningkat.



Semua jenis rotor turbin angin modern didesain dengan memanfaatkan lift ini dan turbin angin sumbu horizontal jenis rotor propeller merupakan yang paling cocok untuk tujuan ini. (Gambar 3.5)

Gambar 3.5 Kecepatan aliran udara dan gaya-gaya aerodinamik yang bekerja pada rotor jenis propeller.



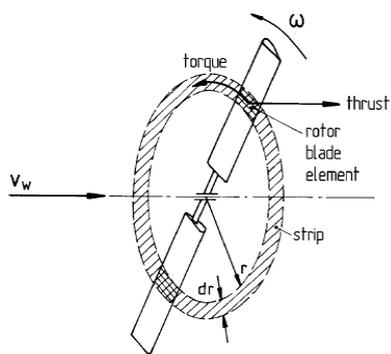
#### Aerodinamik Rotor

##### Tip Sped Ratio, $\lambda$

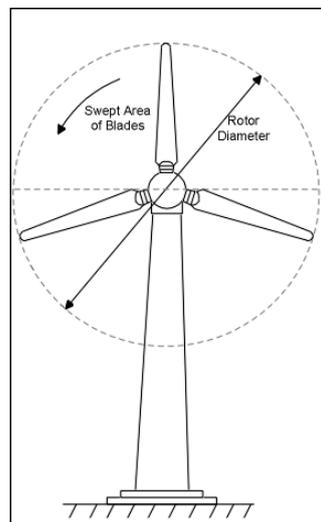
Koefisien daya tergantung pada rasio antara komponen-komponen energi dari gerak putar rotor dan gerak aliran udara. Rasio ini ditentukan oleh kecepatan tangensial bilah rotor dan aliran udara aksial sebelum mencapai rotor dan rasio ini disebut tip sped ratio,  $\lambda$

$$\text{Tip speed ratio } \lambda = \frac{u}{v_w} = \frac{\text{tangential velocity of the rotor blade tip}}{\text{speed of wind}}$$

Gambar 3. 6 Model Teori Pelat Tipis

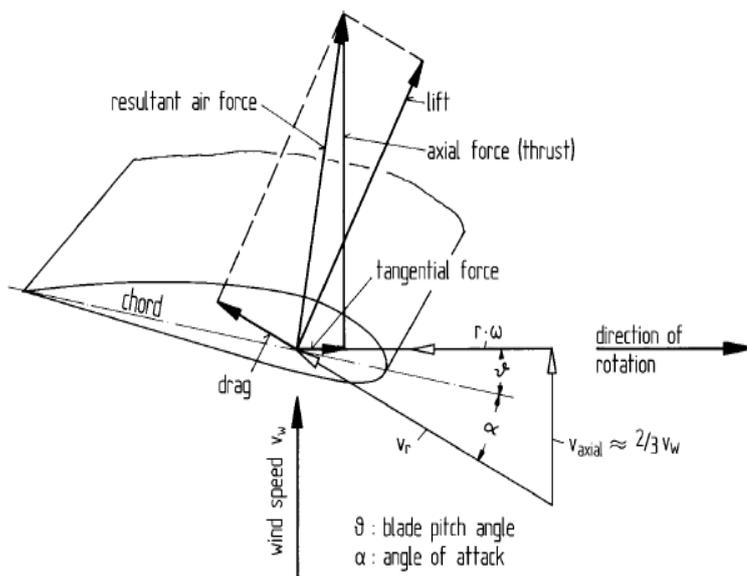


Gambar 3. 7 Kecepatan Tangensial Ujung Bilah Rotor



Parameter-parameter yang digunakan pada airfoil bilah rotor turbin angin ditunjukkan oleh Gambar 3.8.

Gambar 3.8 Kecepatan Aliran Dan Gaya Aerodinamik Pada Penampang Airfoil



#### Karakteristik Daya Rotor

Dengan menggunakan koefisien daya rotor  $C_{PR}$ , daya rotor dapat dihitung sebagai fungsi kecepatan angin seperti berikut :

$$P_R = c_{PR} \frac{\rho}{2} v_w^3 A$$

dimana A = Luas sapuan rotor

$v_w$  = kecepatan angin

$\rho$  = rapat massa udara

$P_R$  = daya rotor

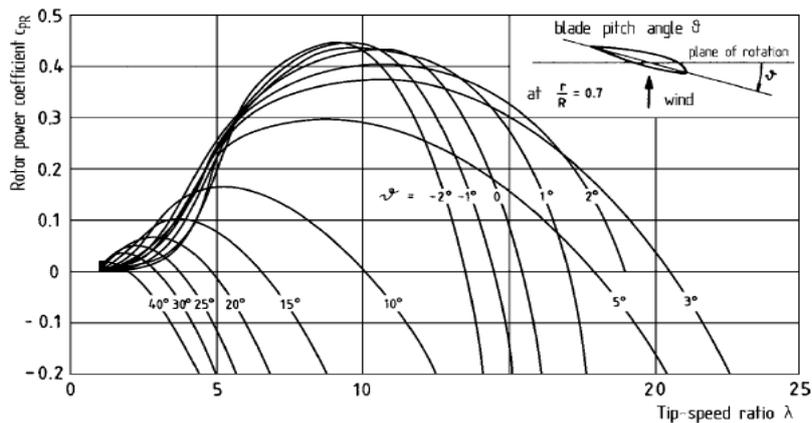
Koefisien daya rotor,  $C_{PR}$ , dihitung dengan menggunakan teori pelat tipis untuk suatu rasio kecepatan rotor/kecepatan angin tertentu pada satu harga tip speed ratio. Dengan mengulangi perhitungan ini untuk sejumlah tip speed ratio, maka diperoleh variasi koefisien daya sebagai fungsi tip speed ratio. Parameter lain yang penting dalam menentukan karakteristik unjuk kerja rotor adalah torsi (Gambar 10). Sama seperti daya, torsi rotor dapat juga dihitung dengan menggunakan koefisien torsi seperti berikut :

$$M = c_Q \frac{\rho}{2} v_w^2 A R$$

dimana,  $R$  adalah radius rotor dan sebagai parameter acuan. Koefisien daya dan koefisien torsi dapat dikaitkan dengan hubungan berikut :

$$C_{PR} = \lambda c_Q$$

Gambar 3.9 Karakteristik Torsi Rotor Untuk Turbin Angin Eksperimental WKA-60

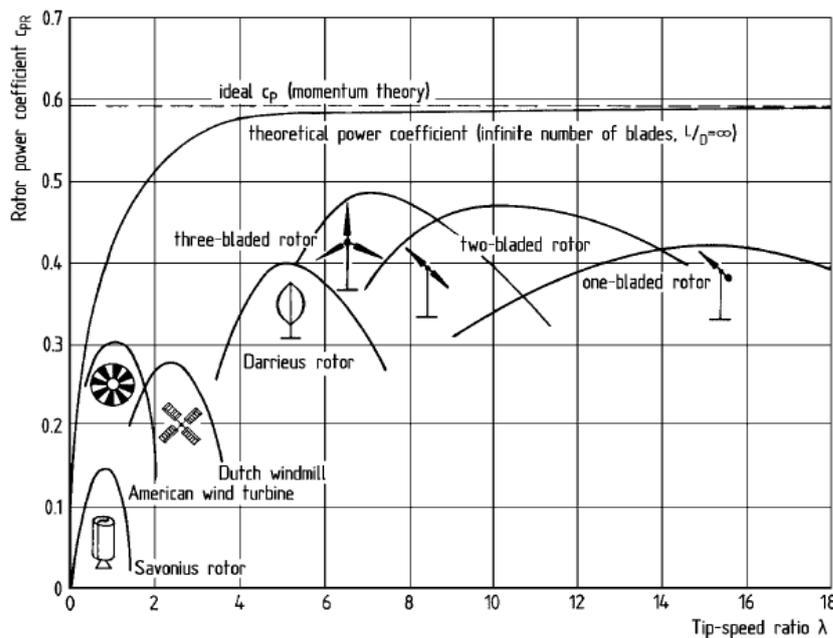


Parameter-parameter utama yang mendominasi peta koefisien daya rotor,  $C_{PR}$  adalah :

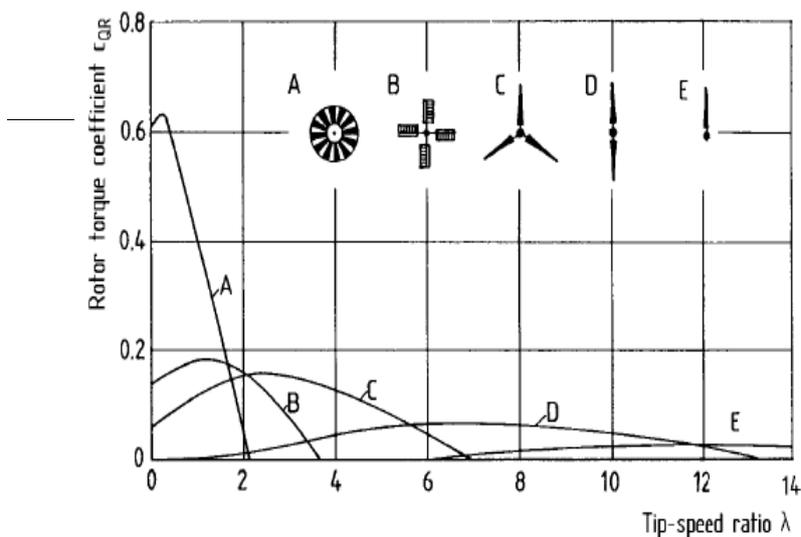
- Jumlah bilah rotor
- distribusi panjang chord dari bilah rotor (planform)
- karakteristik airfoil aerodinamik
- variasi pelintir bilah

Gambar 10 menunjukkan perbedaan koefisien daya secara kualitatif untuk rotor dengan berbagai konfigurasi desain turbin angin. Sedangkan Gambar 11 menunjukkan karakteristik torsi.

Gambar 3. 10 Koefisien Daya Rotor Turbin Angin Untuk Desain Yang Berbeda-Beda



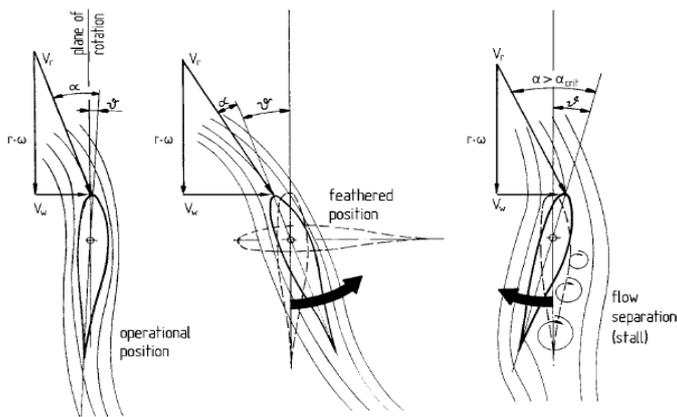
Gambar 3. 11 Koefisien Torsi Rotor Turbin Angin Untuk Desain Yang Berbeda-Beda



Pengaturan Daya secara Aerodinamik

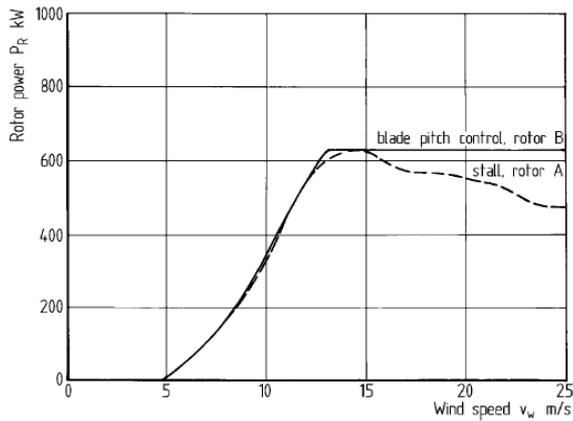
Salah satu cara yang paling efektif untuk pengaturan daya adalah dengan mengubah sudut serang melalui pengubahan sudut pitch bilah sudu. Gambar 12 menunjukkan secara skematis pengaturan tersebut.

Gambar 3. 12 Pengaturan daya input rotor melalui pemutaran bilah

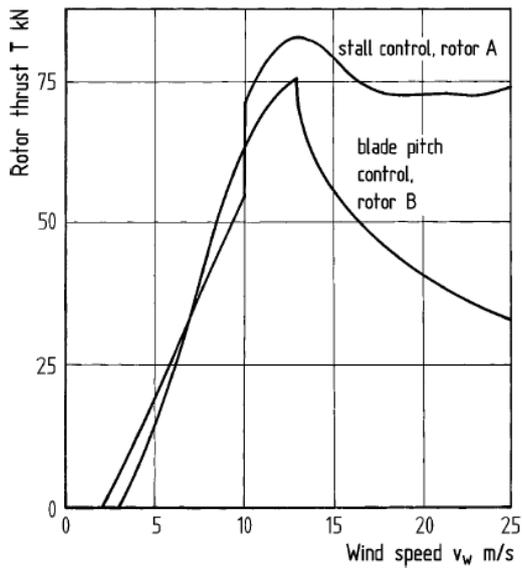


Gambar-gambar berikut menunjukkan contoh pengaruh dari pengaturan bilah rotor terhadap daya rotor dan terhadap dorongan angin pada rotor (thrust).

Gambar 3. 13 Daya Output Vs. Kecepatan Angin



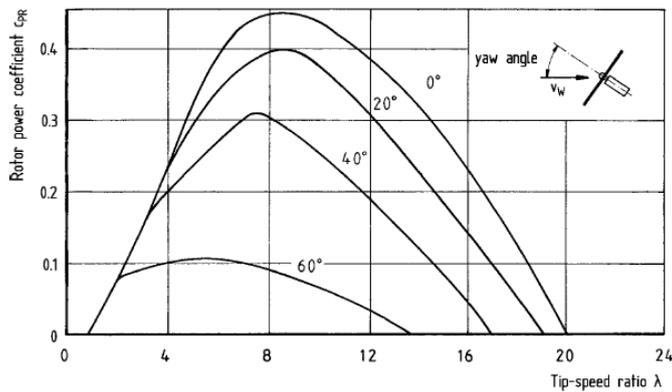
Gambar 3. 14 Kurva Torsi Dan Kecepatan Turbin



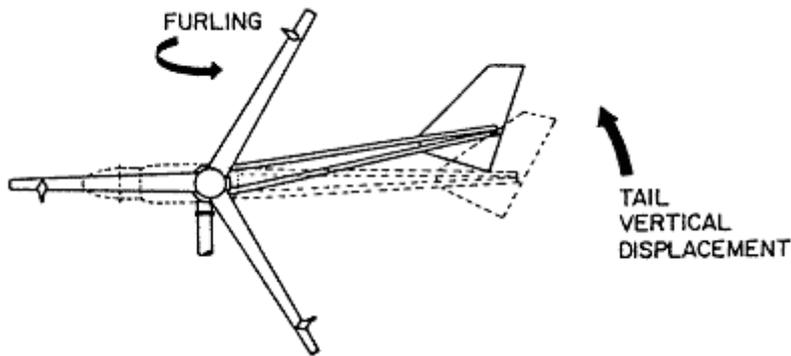
Gambar 1. Dorongan angin pada rotor vs. kecepatan angin

Cara lain untuk pengaturan daya rotor adalah dengan cara memutar rotor sehingga tidak langsung menghadap angin (disebut furling). Cara seperti ini masih diterapkan pada turbin angin kecil.

Gambar 3. 15 Pengurangan Koefisien Daya Rotor Akibat Bertambahnya Sudut Yaw



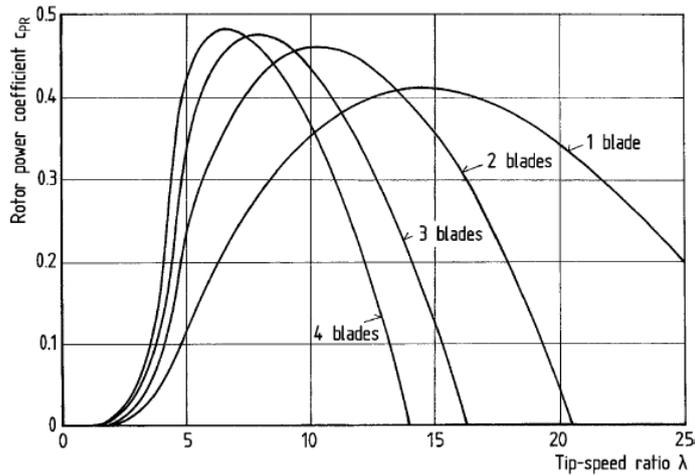
Gambar 3. 16 Gerak Putar Rotor (Furling) Sebesar Sudut Yaw Tertentu



#### Jumlah Bilah Rotor

Jumlah bilah rotor merupakan karakteristik rotor yang penting. Pemilihan jumlah bilah rotor yang benar untuk suatu lokasi penempatan turbin angin akan sangat menentukan unjuk kerja turbin angin tersebut. Pengaruh jumlah bilah terhadap koefisien daya rotor dan harga optimum dari tip speed ratio ditunjukkan oleh Gambar 17.

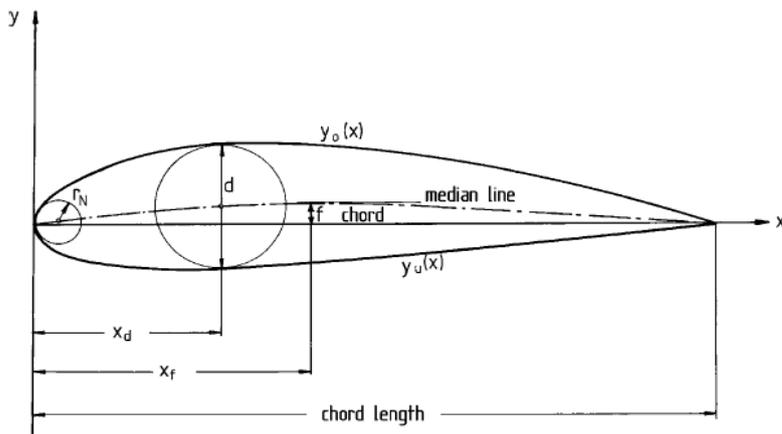
Gambar 3. 17 Pengaruh Jumlah Bilah Terhadap Koefisien Daya Rotor



### Bentuk Optimum Bilah Rotor

Daya mekanik yang dapat ditangkap oleh rotor dari angin dipengaruhi oleh bentuk geometrik bilah rotor. Penentuan bentuk bilah optimum secara aerodinamik, atau pendekatan terbaik adalah salah satu tugas seorang desainer. Dengan menerapkan teori momentum Betz dan teori pelat tipis, maka bentuk optimum bilah rotor optimum secara teoritis dapat dihitung. Gambar 18 menunjukkan bentuk seri airfoil NACA.

Gambar 3. 18 Profil Airfoil Seri NACA



Dengan beberapa penyederhanaan, formula untuk perhitungan panjang chord optimum menjadi :

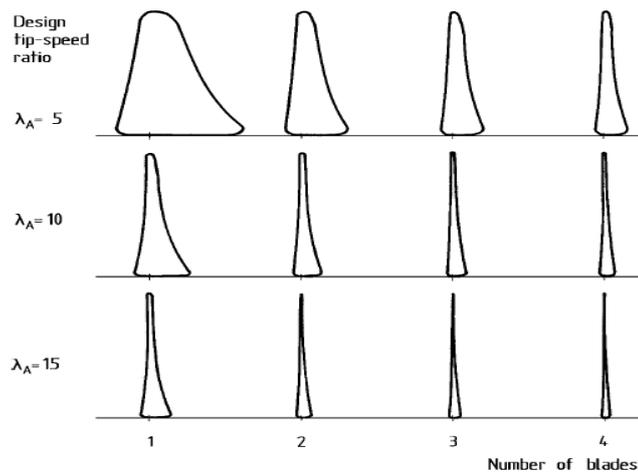
$$t_{opt} = \frac{2\pi r}{z} \frac{8}{9c_L} \frac{v_{WD}}{\lambda v_T}$$

dimana

- $c_{opt}$  = optimum local blade chord length (m)
- $v_{WD}$  = design wind speed (m/s)
- $u$  = peripheral speed (m/s)
- $v_r = \sqrt{v_w^2 + u^2}$  local effective flow velocity (m/s)
- $\lambda$  = local tip-speed ratio (—)
- $c_L$  = local lift coefficient (—)
- $r$  = local blade length (m)
- $z$  = number of rotor blades (—).

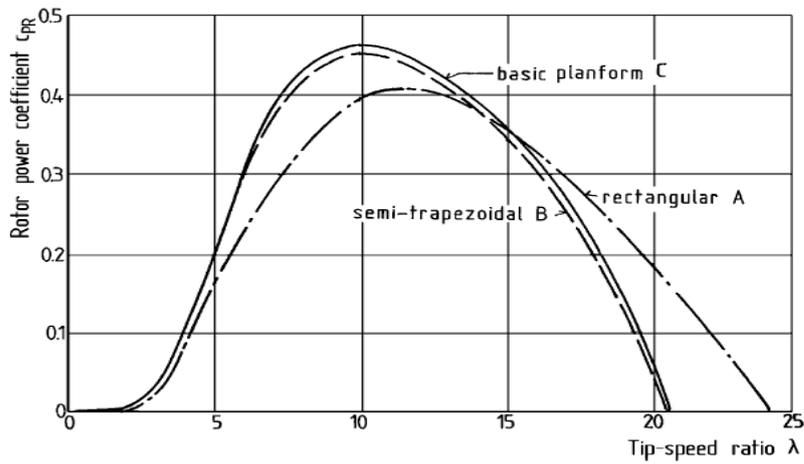
Gambar 3.19 menunjukkan bentuk bilah rotor aktual pada berbagai tip speed ratio dan pada berbagai jumlah bilah.

Gambar 3. 19 Bentuk Bilah Rotor Aktual Pada Berbagai Tip Speed Ratio Dan Pada Berbagai Jumlah Bilah.

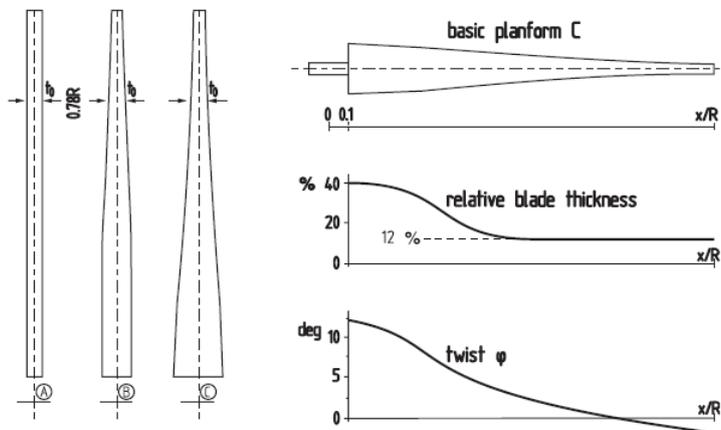


Kerugian daya sebagai akibat penyimpangan dari bentuk yang optimum secara aerodinamik ditunjukkan oleh Gambar 3.20.

Gambar 3. 20 Pengaruh Planform Bilah Yang Berbeda Terhadap Koefisien Daya Untuk Rotor 2 Bilah

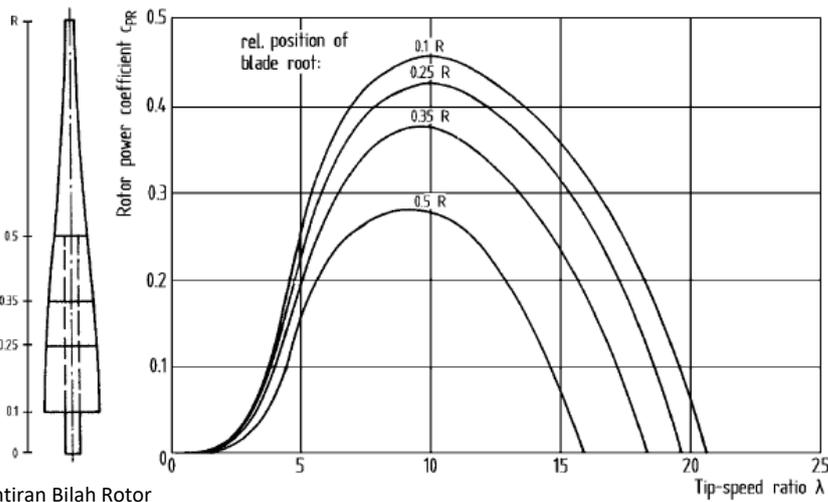


Gambar 3. 21 Planform Bilah Rotor : Bentuk Dasar Dihitung Untuk Rotor 2-Bilah



Bagian bilah rotor dekat hub tidak begitu berpengaruh terhadap pembangkitan daya. Pada kasus ini, segi aerodinamik dapat diabaikan dan lebih memperhatikan segi kekuatan dan kemudahan manufaktur. Pengaruh penghilangan bagian bilah di sekitar hub ini terhadap koefisien daya ditunjukkan oleh Gambar 3.22.

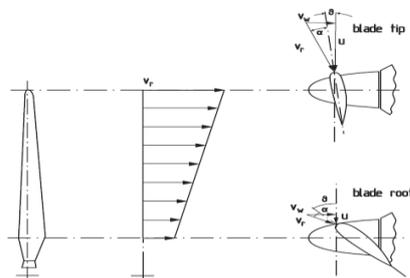
Gambar 3. 22 Pengaruh Penghilangan Bagian Bilah Di Sekitar Hub Ini Terhadap Koefisien Daya



elintiran Bilah Rotor

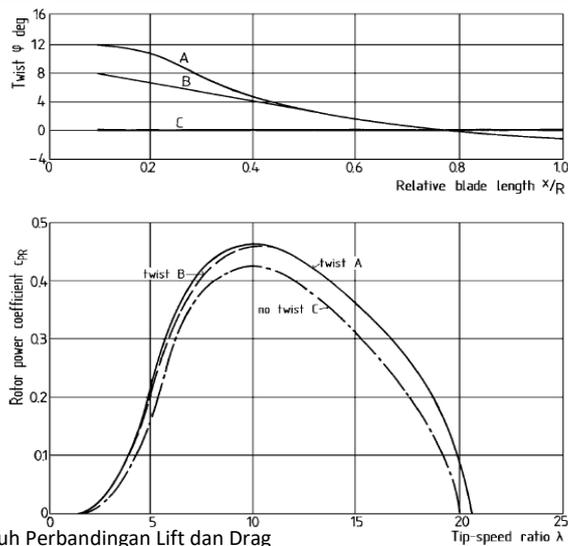
Untuk mendapatkan reduksi aliran yang optimum saat melalui bilah rotor, maka bilah rotor haruslah dalam keadaan terpelintir (Gambar 3.23).

Gambar 3. 23 Pelintiran Bilah Rotor



Sedangkan pengaruh perbedaan variasi pelintiran bilah rotor terhadap unjuk kerja rotor ditunjukkan oleh Gambar 24.

Gambar 3. 24 Pengaruh Pelintiran Bilah Rotor Terhadap Koefisien Daya



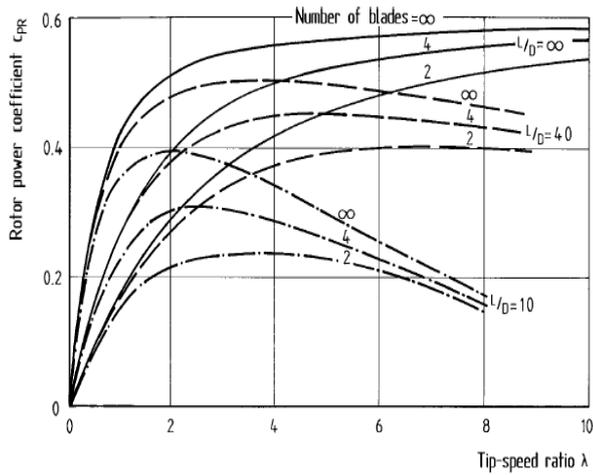
Pengaruh Perbandingan Lift dan Drag

Parameter airfoil yang sangat penting untuk diperhatikan adalah lift to drag ratio (L/D) :

$$\frac{L}{D} = \frac{c_L}{c_D}$$

Pengaruh rasio parameter ini terhadap koefisien daya rotor ditunjukkan oleh Gambar 3.25.

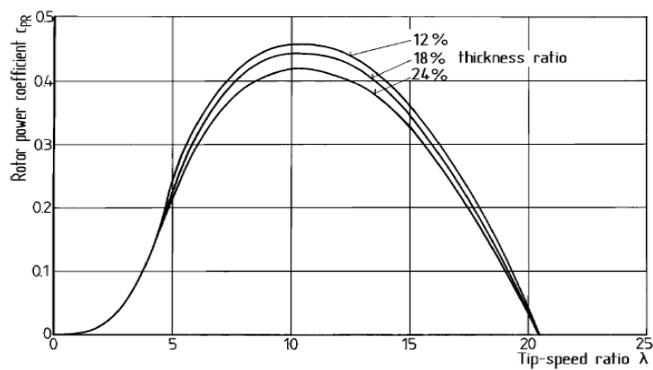
Gambar 3. 25 Pengaruh L/D Dan Jumlah Bilah Terhadap Koefisien Daya Rotor



Ketebalan Bilah Rotor

Pemilihan tebal bilah rotor perlu memperhatikan kebutuhan efisiensi aerodinamik, kekakuan dan kekuatan bilah rotor. Gambar 26 menunjukkan pengaruh ketebalan bilah rotor terhadap koefisien daya rotor.

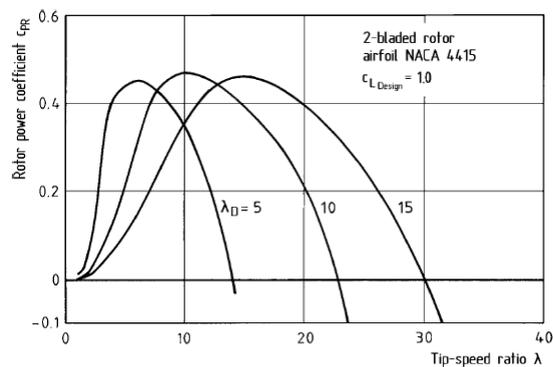
Gambar 3. 26 Pengaruh Ketebalan Bilah Rotor Terhadap Koefisien Daya Rotor



“Tip speed ratio desain” rotor

Pengaruh pemilihan “tip speed ratio desain” suatu rotor terhadap koefisien daya rotor ditunjukkan oleh Gambar 3.27 berikut.

Gambar 3.27 Pengaruh Pemilihan “Tip Speed Ratio Desain”



## PERANCANGAN SISTEM

### Persyaratan Umum Desain SKEA

Desain satu atau lebih turbin angin/SKEA dimaksudkan guna mendapatkan produk yang mampu menghasilkan energi untuk konsumen di lokasi. Data utama yang perlu ditetapkan adalah daya rancangan, kecepatan putaran, dan torsi rotor.

Nilai-nilai rancangan harus memenuhi salah satu atau gabungan dari 3 persyaratan sbb::

#### (1).Nilai Perkiraan beban rancangan

untuk konfigurasi turbin angin dengan kasus beban tertentu,yaitu:

- operasi normal
- gerakan geleng(yawing)
- gaya angkat(lift) maksimum
- kecepatan putaran maksimum
- hubung singkat pada sambungan beban
- pengereman
- kaitan dengan transportasi,rakitan,pemeliharaan dan perbaikan

#### (2).Penggunaan model dinamik struktur

Pemodelan dinamik yang digabungkan dengan pengujian data rancangan dan

pengukuran beban skala penuh untuk verifikasi model tersebut. Model ini harus digunakan untuk menentukan beban dalam julat kecepatan angin tertentu yaitu kondisi normal dan ekstrem dan situasi rancangan

Kondisi normal mencakup: distribusi kecepatan angin, model profil angin normal, dan model turbulensi normal

Kondisi ekstrem mencakup: kecepatan angin ekstrem, angin kencang, perubahan arah angin ekstrem.

Situasi rancangan mencakup: produksi daya, menghentikan turbin angin secara normal, menghentikan secara darurat serta transportasi, perakitan pemeliharaan dan perbaikan

### **(3). Pengukuran beban secara penuh dengan melakukan ekstrapolasi**

Karena masing-masing metoda memiliki ketidakpastian yang berbeda, maka faktor keselamatan perlu ditetapkan bergantung pada metoda estimasi penaksiran beban. Faktor keselamatan ditetapkan untuk kelelahan material dan beban termasuk beban aeroelastik

#### **Persyaratan Khusus Desain SKEA**

Persyaratan khusus untuk desain turbin angin ditujukan untuk operasi turbin angin tertentu, misalnya turbin angin besar dan aplikasi khusus antara lain:

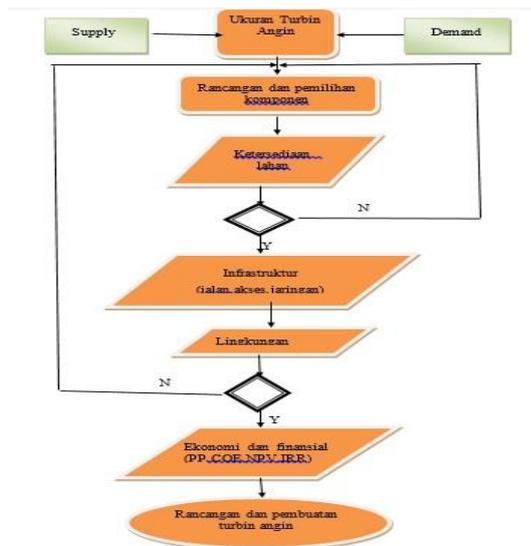
- Antisipasi terhadap kondisi angin ekstrem,
- Pembebanan khusus,
- Perubahan arah angin ekstrem
- Kemungkinan terjadinya petir dan gempa
- Sistem proteksi darurat
- Sistem kelistrikan, antara lain aplikasi dalam sistem hibrida dan sistem interkoneksi jaringan lokal memerlukan rancangan tertentu dalam modus pengontrolan

#### **Alur Kerja / Flow Chart Desain SKEA**

Rancangan turbin angin sebagai pembangkit listrik dilakukan berdasarkan data supply dan demand dan kondisi lain sebagaimana diperlihatkan pada kart berikut:

Gambar 3. 28

Diagram Alir Perancangan Turbin Angin



### Review Standar Relevan Untuk SKEA

Beberapa standar baik nasional maupun internasional yang telah diterbitkan dan terkait dengan pengembangan dan aplikasi turbin angin/SKEA listrik di Indonesia antara lain adalah:

- IEC 60204-1: 1997, Safety of Machinery – Electrical Equipment of Machinery Part 1 : General Requirements.
- IEC 61400 – 2 : Design Requirements for small wind turbine
- IEC 61400 – 3 : Design Requirements for offshore wind turbine
- IEC 61400 – 11 : Acoustic noise measurement technique
- IEC 61400 – 12 : Wind Turbine Power performance Testing
- IEC 61400–12-1: Power performance measurement of electricityproducing wind turbines
- IEC 61400 – 13 : Measurement of mechanical loads
- IEC 61400–21: Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines

- IEC 61400 – 23 : Full scale structural testing of rotor blades
- IEC 61400 – 24 : Lightning protection
- IEC 61400-25.1 : Communication for monitoring and control wind power plants – Overall description of principles and modles.
- AWEA standard: Design criteria for Wind Energy Conversion System
- RSNI 2012 : Persyaratan Rancangan Turbin Angin Kecil
- RSNI 2013 : Pengukuran Kinerja Turbin Angin
- AWEA standard : 9.1-2009: Small Wind Turbine Performance and safety Standard
- AWEA 1.1- 1988: Performance testing of WECS

## Desain/Rancangan Komponen Turbin Angin

### Konsep Rancangan

Rancangan teknologi turbin angin untuk suatu lokasi / daerah didasarkan pada beberapa faktor berikut:

#### a. Berdasarkan kapasitas atau daya turbin angin

Kapasitas turbin ang di ditentukan berdasarkan potensi energi angin yang tersedia di lokasi (dinyatakan oleh daya spesifik per tahun dalam W/m<sup>2</sup>) dan permintaan listrik oleh konsumen di lokasi tersebut (dalam kWh) yang dikenal sebagai analisa suplai (supply) dan permintaan (demand). Data mengenai potensi energi angin diperoleh berdasarkan hasil pengolahan dan evaluasi pengukuran dan monitoring yang telah dilakukan, sedangkan data permintaan (dalam kWh) diperoleh berdasarkan jenis, jumlah pengguna/konsumen dan lamanya penggunaan listrik dalam 1 tahun di suatu lokasi..

#### ▪ Perhitungan potensi energy:

Rapat daya atau daya spesifik (W/m<sup>2</sup>) yang dihasilkan oleh angin di suatu lokasi dengan kecepatan angin rata rata V (m/s) adalah;

$$\text{Daya spesifik, } P = \frac{1}{2} \rho V^3$$

Energi yang dihasilkan dalam 1 tahun (8760 jam) adalah :

$$E = P \cdot (8760) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \cdot 8760 \text{ Wh/m}^2$$

Untuk sebuah turbin angin dengan efisiensi total  $n_{tot} = C_p \cdot n_g \cdot n_{tr} \cdot n$  = Cp.ng.nt dan luas sapuan rotor A (dalam m<sup>2</sup>), maka energi yang dihasilkan dalam 1 tahun adalah,

$$E = P \cdot n_{\text{tot}} \cdot A = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \cdot 8.760 \cdot n_{\text{tot}} \cdot A \text{ kWh}$$

Dan nilai ini merupakan besarnya supply di lokasi tersebut.

▪ Perhitungan demand:

Permintaan kebutuhan listrik total di suatu lokasi adalah penjumlahan dari berbagai konsumsi listrik berdasarkan tipe, jumlah dan lama pemakaian listrik, yaitu:

Daya terpasang x jumlah jam pemakaian, untuk semua beban terpasang di tiap rumah dan satu lokasi, dan dinyatakan dalam total kWh, sehingga :

Suatu cara praktis untuk merancang kapasitas turbin angin di lokasi adalah dengan mengacu pada besarnya permintaan (demand). Dengan asumsi bahwa efisiensi netto sebuah turbin angin adalah sekitar 30% (= 0,3) dan demand aktual adalah P (W), maka energi turbin angin yang diperlukan dalam 1 tahun dalam Wh adalah,

$$E(8760) = 0,3 (\text{daya turbin angin}) (8760)$$

dalam daya,  $P = 0,3 \cdot (\text{daya turbin angin})$ , sehingga daya turbin angin yang diperlukan adalah, daya turbin angin =  $P/0,3$  dalam Watt.

Sebagai contoh, bila permintaan (demand) di suatu lokasi adalah 300.000 kWh selama satu tahun, maka daya atau kapasitas turbin angin yang dibutuhkan adalah,

$$P = (300.000.000/0,3)/8760 = 114155.25 \text{ Watt} = \sim 114 \text{ kW}$$

**b. Berdasarkan diameter rotor turbin angin**

Daya (P) yang dihasilkan oleh sebuah turbin angin merupakan fungsi dari diameter rotor (D) yang dinyatakan oleh,

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_p \cdot A \cdot V^3 \cdot n_{\text{tot}}$$

Yang mana  $A = 0.25 \cdot \pi \cdot D^2$

berarti bahwa turbin angin -turbin angin dengan diameter yang berbeda pada kecepatan angin yang sama akan menghasilkan daya yang berbeda,

Selanjutnya dengan mengambil nilai nilai actual  $C_p$ ,  $n_g$ ,  $n_t$ ,  $\rho$  (rho) dan daya atau energi angin di lokasi dalam 1 tahun (menggunakan metoda Bin atau distribusi Weibull/distribusi frekuensi kiecepatan angin), maka nila D dapat ditentukan,dan dengan mengambil nilai yang paling mendekati diatas nilai tersebut sesuai dengan data turbin angin yang tersedia.

**c. Turbin Angin Besar**

Khusus untuk turbin angin besar dengan diameter rotor yang besar (>50 m) dan menara yang tinggi (mis 10 m atau lebih setiap segmen) dan berat (orde ton), analisis kemampuan jalan dan jembatan penghubung (lebar, kekuatan, banyaknya tikungan dan akses ke lokasi) menjadi faktor penting dalam penentuan kapasitas per unit turbin angin yang dipilih. Dengan demikian, kondisi infrastruktur untuk pengangkutan dan pengiriman komponen turbin angin ke lokasi serta pemasangannya harus diperhitungkan.

### **Rancangan Teknis**

#### **Rotor Turbin Angin**

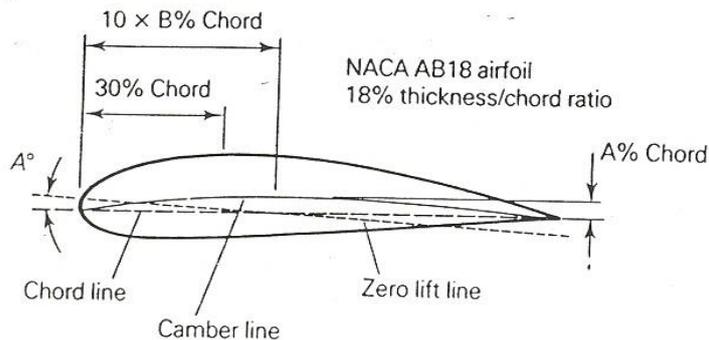
Rotor merupakan komponen turbin angin yang berfungsi mengekstraksi energi kinetik angin menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran. Beberapa persyaratan dan pertimbangan dalam rancangan rotor, penentuan konfigurasi, airfoil, bahan dan sistem lainnya akan diuraikan pada bab berikut.

##### (1).Konfigurasi sudu rotor

Rotor terdiri dari sudu dan naf sebagai pemegang sudu. Ukuran rotor dinyatakan oleh diameter rotor atau jari jari sudu dengan struktur dan penampang tertentu yang dinyatakan dalam bentuk airfoil (NACA, Gottingen, Clark Y, dll)

Struktur sudu memberikan bentuk sudu secara aktual yang memperlihatkan profil secara keseluruhan mulai dari pangkal sudu sampai ujung sudu dan juga bagiandalam sudu yang menghasilkan suatu kinerja tertentu sesuai rancangan. Dalam beroperasinya, sudu akan di pengaruhi atau di dorong oleh angin yang akan menghasilkan gaya angkat (lift) dan gaya hambat (drag) yang dapat di analisis melalui airfoil sudu tersebut bergantung pada tipenya, dan memberikan karakteristik  $C_d/C_l$  tertentu.

Definisi sebuah airfoil di berikan pada Gambar 5.2. Arah dorongan angin terhadap sudu di nyatakan oleh sebuah sudut yang di sebut sudut serang (attack angle), yaitu sudut yang di bentuk oleh angin dengan kecepatan  $V$  terhadap garis kord (chord line). Garis kord adalah garis yang menghubungkan trailing edge dengan leading edge.



### Classification of the NACA XXXX airfoil range

Beberapa definisi parameter utama profil aerodinamik sudu adalah sebagai berikut :

- Chord line (garis kord): Garis yang menghubungkan leading edge dan trailing edge
- Leading edge: bagian depan airfoil yang pertama dipengaruhi/dikenai oleh angin
- Trailing edge: bagian belakang airfoil yang terakhir di pengaruhi oleh angin
- Angle of attack (sudut serang): Sudut yang di perlukan untuk mengangkat sudu. Sudut serang adalah sudut yang di bentuk garis kord dan arah angin. Semua airfoil memerlukan sudut serang tertentu untuk mengangkat sudu (untuk menghasilkan Lift)
- Cord: lebar tengah sudu airfoil
- Blade Area: Perkalian antara kord dan panjang sudu
- $C_d / C_l$  ratio: Perbandingan antara  $C_d$  dan  $C_l$  untuk sebuah airfoil. Nilai perbandingan yang lebih kecil akan menghasilkan gaya angkat yang lebih besar.

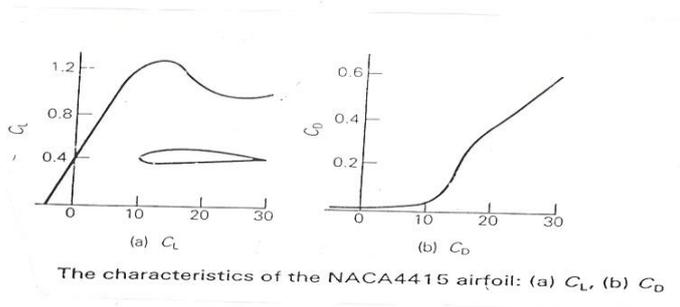
Rancangan rotor turbin angin adalah mendapatkan nilai  $C_l$  dan  $\alpha$  yang sesuai yang menghasilkan rasio  $C_d / C_l$  yang minimum.

- Koefisien gaya angkat,  $C_l/C_d$  merupakan fungsi dari sudut serang  $\alpha$
- Koefisien gaya hambat,  $C_d/C_d$  merupakan fungsi dari sudut serang  $\alpha$

Bentuk airfoil yang di gunakan untuk turbin angin adalah yang memenuhi standar tertentu misalnya NACA, Gottingen, Clark Y dll dan memiliki hubungan  $C_l$  (koefisien gaya angkat) dan

$C_d$  (koefisien gaya hambat) tertentu yang dapat dilihat pada kurva  $C_l$ - $C_d$  airfoil tersebut. Contoh hubungan antara  $C_l$  dan  $C_d$  untuk ACA 4415 di perlihatkan pada Gambar 5.3.berikut.

Gambar 3. 30 Karakteristik  $C_d$  Terhadap  $C_l$



Dari Gambar dapat di lihat bahwa gaya angkat harus lebih besar agar mampu mengangkat dan memutar sudu dan besarnya bergantung pada luasan benda /airfoil dan kecepatan angin yang datang yang dinyatakan oleh,

$$L = C_l \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^2 \quad \text{dan}$$

$$D = C_d \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^2$$

dengan  $C_d$  = koefisien gaya hambat dan  $C_l$  = koefisien gaya angkat,  $\alpha$  = sudut serang,  $\rho$  = rapat massa udara (  $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $A$  = luas penampang airfoil (  $\text{m}^2$ ) dan  $V$  = kecepatan angin (  $\text{m}/\text{s}$ ). $C_d$  dan  $C_l$  merupakan fungsi dari  $\alpha$ .Dalam rancangan sudu,yang di inginkan adalah nilai  $C_d/C_l$  yang minimum dan dapat diproleh dari kedua kurva tersebut yaitu kurva antara  $C_d$  dan  $\alpha$  dan kurva  $C_l - C_d$

Untuk  $\alpha = 0 - 10$  derajat, nilai  $C_l$  adalah linear terhadap  $C_d$ . Sebagai contoh untuk pelat persegi tipis,  $C_l = <2$  ( aktual mendekati 5,5)

Untuk profil aerodinamik yang bagus dengan sudut serang yang sedang,  $D \ll L$  sehingga  $C_d / C_l = 0,05$  sampai 0,01. Untuk  $\alpha > 15$  derajat, nilai  $D$  bertambah secara signifikan. Nilai  $C_d$  untuk berbagai profil benda di perlihatkan pada Tabel 3.1

Formatted: Justified, Space Before: 0 pt, After: 0 pt

Tabel 3. 1 Nilai  $C_d/C_l$  Dan  $\alpha$  Untuk Berbagai Bentuk Benda

Benda	$C_d/C_l$ min	$\alpha$	$C_l$
▪ pelat baja lengkung	0,02	4	<b>0,9</b>
▪ pelat baja datar	0,1	4	<b>0,4</b>
▪ NACA 4412	0,01	4	<b>0,8</b>
▪ NACA 23015	<b>0,01</b>	<b>4</b>	<b>0,8</b>

Untuk lift, nilai  $C_l > 1$  dan untuk drag, nilai  $C_d < 1$ .

$C_d$  merupakan ukuran hambatan angin melawan sudu yang berputar yang mengakibatkan rugi rugi karena hambatan tersebut. Rugi-rugi ini termasuk dalam  $C_p$  maksimum. Sebagai contoh, untuk rotor 3-sudu jika  $\lambda$  dirancang = 5,0 dengan airfoil yang memiliki  $C_d/C_l = 0,01$ , maka  $C_p$  maksimum = 0,48 sedangkan untuk  $C_d/C_l$  yang sama = 0,01 dan mengambil  $\lambda = 7,5$  maka di peroleh  $C_p$  maksimum = 0,47.

## (2) Tipe rotor

Dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- a. Berdasarkan dorongan gaya angin

Bergantung pada arah angin yang mendorong rotor, sudu rotor dibagi dalam dua tipe yaitu yang mengalami gaya angkat (lift) atau gaya hambat (drag) .

### • Tipe lift.

gaya angkat lebih dominan dari pada gaya hambat dan putaran rotor dapat lebih cepat dari pada kecepatan angin serta lebih efisien dalam penggunaan material dan aerodinamik. Termasuk dalam tipe ini adalah :

- turbin angin sudu majemuk
- turbin angin 2 sudu, 3 sudu atau 4 sudu untuk pembangkit listrik

### • Tipe drag

Angin yang mendorong sudu akan memutar rotor pada porosnya yang umumnya adalah poros tegak.

Efisiensinya terbatas karena kecepatan rotor tidak dapat lebih besar dari pada kecepatan angin. Contoh tipe drag adalah :

- farm windmill-vanes-paddles-panemone turbine-Pots mill,  $C_p$  maksimum = 0,25
- Dutch smockmill ;  $C_p$  maksimum = 0,25
- Mediterranean tower mill with sails,  $C_p$  maksimum = 0,2

(3). Posisi poros rotor

Berdasarkan posisi poros rotor, turbin angin terdiri dari poros datar (HAWT- horizontal axis wind turbine) dan poros tegak (vertical axis wind turbine). Turbin angin poros datar pada dasarnya bekerja berdasarkan gaya angkat (lift) sedangkan poros tegak berdasarkan gaya hambat (drag). Poros datar hanya akan menghasilkan daya maksimum untuk angin dari arah tertentu (arah hilir atau hulu) namun tidak memerlukan penggerak awal untuk memutar rotor, sedangkan poros tegak dapat menerima angin dari segala arah akan tetapi memerlukan penggerak awal untuk memutarnya. Turbin angin modern poros datar dengan profil yang bagus dapat menghasilkan  $C_p$  maksimum sebesar 0,5 dan nilai ini hampir mendekati  $C_p$  ideal Betz yaitu 0,593.

Contoh rotor poros tegak adalah tipe Darrieus, Giromill dan Savonius. Tipe Darrieus tidak andal untuk start karena sudu tidak dapat berputar lebih cepat dari kecepatan angin. Tipe Giromill dapat berputar sendiri karena di lengkapi dengan sudu-sudu yang bersambung.

(4). Posisi poros rotor terhadap arah angin

Posisi rotor dinyatakan terhadap arah angin yang mendorong rotor yaitu rotor hilir dan rotor hulu. Pada posisi rotor hilir (upwind), angin datang dari depan rotor atau rotor menghadap angin yang datang, sedangkan pada rotor hulu (down wind) angin datang dari arah belakang rotor. Contoh dan penjelasan ini telah disampaikan pada bab sebelumnya.

Dalam praktek, rotor upwind lebih banyak digunakan dari pada downwind. Pada rotor hilir, penyesuaian arah rotor ke arah angin terjadi secara pasif dan merupakan salah satu keuntungan (walaupun tidak selalu), namun pada rotor tipe ini down wind, beban beban dinamik karena olakan menara harus di perhatikan.

Posisi rotor yang di pilih terhadap arah angin adalah upwind, yaitu angin datang dari arah depan rotor dan untuk hal ini di gunakan unit geleng (yaw) guna mengarahkan rotor secara aktif ke arah angin.

Perbedaan antara rotor upwind dan downwind diperlihatkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Perbedaan Antara Rotor Upwind Dan Downwind

Upwind	Down wind
1. Tidak menghasilkan efek bayangan (shadow effect) pada menara	1. Menghasilkan efek bayangan pada menara
2. Beban beban aerodinamik mengimbangi beban gravitasi	2. Beban beban aerodinamik menambah beban gravitasi
3. Kebisingan lebih rendah	3. Kebisingan lebih tinggi
4. Memerlukan penggerak geleng (yaw drive)	4. Tidak memerlukan geleng
5. Bentuk kerucut (coning) dapat menyebabkan masalah kejelasan menara	5. Bentuk kerucut membantu kejelasan menara

(5). Diameter Rotor

Diameter rotor (D) suatu turbin angin merupakan dua kali panjang jari-jari (panjang sudu) ditambah dengan panjang naf. Diamater rotor merupakan ukuran yang menentukan daya turbin angin. Sebagai contoh untuk turbin angin skala besar (> 100 kW) umumnya diameter rotornya akan > 20 m.

(6). Jumlah sudu (B)

Pemilihan jumlah sudu untuk sebuah turbin angin di pengaruhi oleh beberapa faktor yaitu : kinerja sistem, beban, biaya rotor, dampak terhadap biaya komponen, susunan penggerak (drive train), kebisingan dan penampilan visual. Beberapa faktor ini sangat di pengaruhi oleh putaran (rpm) dan soliditas rotor (S)

Efek jumlah sudu terhadap kord sudu dan putaran rotor yang optimal ( $\omega$ ) untuk kecepatan angin tertentu adalah,

$$B c(\mu) (\omega R/V)^2 = (16 \pi R / 9 C_t) (1/\mu) \quad 5-9$$

dengan

$$\mu = r/R \quad ;$$

r =jarak dari pangkal sudu ke suatu titik pada sudu

B =jumlah sudu,

R = radius rotor ,

V = kecepatan angin bebas(m/s) dan

c=kord sudu

Terlihat bahwa jika jumlah sudu berkurang dari 3 menjadi 2, maka penambahan kord sebesar 50% atau penambahan putaran sebesar 22,5% merupakan dua pilihan/opsi untuk mempertahankan operasi yang optimum pada kecepatan angin yang di pilih ( $C_t$  di anggap konstan dengan pengubahan pitch sudu lokal guna mempertahankan sudut serang yang konstan)

Terhadap pembebanan, efek pembebanan rotor 2 sudu yang kaku secara signifikan lebih besar dari pada rotor 3 sudu. Untuk diameter yang sama, turbin angin 2 sudu lebih cepat dari pada 3 sudu, sehingga variasi gaya dorong /thrust lebih tinggi.

Jumlah sudu mempengaruhi kerenggangan/celah antara sudu sudu rotor dan akibatnya mempengaruhi nilai soliditas (S), kecepatan putaran rotor (n) dan torsi yang diperlukan untuk memutar rotor (Q). Untuk pembangkit listrik, jumlah sudu yang sesuai adalah 1, 2 ,3 atau 4, sedangkan untuk pemompaan mekanik yang memerlukan torsi yang tinggi, diperlukan jumlah sudu yang lebih banyak (sudu majemuk).

Beberapa ciri rotor 1,2 dan 3 sudu di perlihatkan pada Tabel 5.3.

Tabel 3. 3 Ciri Rotor Dengan 1,2, Dan 3 Sudu

Jumlah sudu	Ciri rotor
3	Secara dinamik berputar lebih halus
2	- Memiliki momen inersia siklik terhadap gerakan geleng nasel pada poros menara - Secara visual berputar tidak terpusat
1	- Harus mampu mengatasi ketidak setimbangan dinamik karena gaya-gaya aerodinamik pada sudu tidak dikompensasi oleh sudu lainnya seperti halnya pada 2 atau 3 sudu - Memiliki dampak yang mengganggu terhadap

	<p><b>lanskap</b></p> <p>- <b>Mengakibatkan masalah dinamik yang sangat besar sehingga tidak lazim di gunakan</b></p>
--	---

Rotor 3 sudu lebih banyak di gunakan untuk turbin angin pembangkit listrik poros datar karena memiliki lebih banyak keuntungan di bandingkan dengan jumlah sudu lainnya.

Keuntungan rotor 3 sudu di bandingkan dengan rotor 2 sudu adalah :

- menghasilkan beban dinamik yang lebih rendah
- kecepatan putaran rotor lebih rendah (akibatnya tidak bising) jika sudu-sudu tersebut memiliki kord yang sama dengan 2 sudu
- lebih stabil dengan penampilan yang lebih teratur

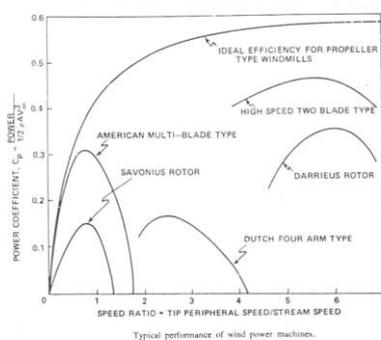
Perbedaan, keuntungan dan kekurangan rotor 3 sudu dibandingkan terhadap sudu lainnya di perlihatkan pada Tabel 3.4.

**Tabel 3. 4** Perbedaan Antara Rotor 3 Sudu Dengan 2 Sudu

Rotor 3-sudu	Rotor 2 sudu
1. Energi yang di hasilkan 5 % lebih besar dari dua sudu	1. Pengurangan biaya dan berat karena jumlah sudu lebih sedikit
2. Mengurangi beban siklik pada naf	2. Beban siklik pada naf tetap lebih tinggi dan dapat diperkecil dengan menggunakan teeter.
3. Lebih berat dan lebih mahal	3. Lebih ringan dan lebih murah
4. Lebih sulit dipasang	4. Lebih mudah di pasang
5. Kecepatan berputar lebih rendah	5. Kecepatan berputar lebih tinggi dan mengurangi biaya roda gigi
6. Lebih stabil dan estetis	6. Kurang stabil dan kurang estetis
7. Kebisingan lebih rendah	7. Kebisingan lebih tinggi

Rotor satu sudu yang dilengkapi dengan penyeimbang (counterweight) mengambil energi dari angin 10% lebih rendah dari pada dua sudu, kebisingan lebih tinggi dan gaya gaya tidak setimbang. Dari segi konstruksi, akan lebih sederhana namun tidak berarti lebih ringan. Hubungan antara rasio kecepatan ujung ( $\lambda$ ) terhadap koefisien daya ( $C_p$ ) untuk berbagai tipe rotor dilihatkan pada Gambar 3.31

Gambar 3. 31 Hubungan Antara Koefisien Daya Dan Rasio Kec Ujung



(7). Material atau bahan sudu

Biaya pembuatan rotor untuk turbin angin besar adalah tinggi karena juga memerlukan diameter yang panjang, sehingga di samping pertimbangan teknis lainnya, kecenderungan jumlah sudu untuk turbin angin besar adalah menggunakan 3 sudu.

Bahan sudu turbin angin skala besar yang pada umumnya terbuat dari Glass Fibre Reinforced Polyester atau Epoxy (GFR).Umumnya kualitas bahan epoxy lebih baik dari pada polyester khususnya ketahanan terhadap abrasi (pengikisan). Selain epoxy, kayu juga dapat di gunakan sebagai bahan sudu.

Untuk rotor yang lebih besar, epoxy kayu dapat lebih efektif dari pada epoxy GFR.

Untuk bahan sudu, turbin angin kecepatan tinggi pada dasarnya menggunakan GFRP (Glass Fibre Reinforced Polyester) atau sekarang ini CFRP (Carbon Fibre Reinforced Plastics). CRFP lebih mahal, namun ketahanan lelah (fatigue strength) menjadi 3 kali lebih tinggi, sehingga sangat cocok untuk rancangan sudu ringan.

Sebagai gambaran umum, perbedaan antara beberapa bahan sudu di perlihatkan pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Perbedaan 3 Jenis Bahan Sudu

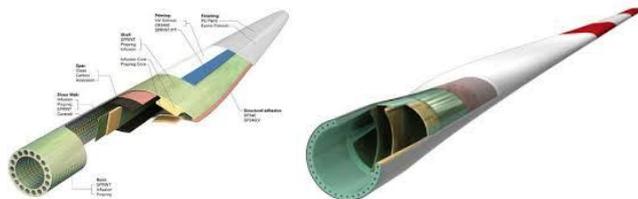
Kayu/Epoxy	GRP	Baja
1. Massa rendah	1. .Massa rendah	1. Massa tinggi
2. Kekakuan (stiffness) rendah	2. Kekakuan rendah	2. Kekakuan tinggi
3. tidak mengalami korosi	3. Tidak mengalami korosi	3. Memerlukan proteksi bagian dalam dan luar
4. Terdapat masalah terhadap sinar ultraviolet dan uap lembab	4. Masalah terhadap sinar ultraviolet dan uap lembab	4. Tidak
5. Memungkinkan membuat bentuk yang rumit	5. Memungkinkan membuat bentuk yang rumit	5. Sulit membuat bentuk yang rumit
6. Kurang informasi mengenai sifat material jangka panjang	6. Terdapat beberapa kesenjangan informasi mengenai sifat material jangka panjang	6. Sifat material jangka panjang yang telah terbukti
7. Biaya peralatan /perkakas untuk fabrikasi lebih tinggi	7. Biaya peralatan lebih tinggi	7. Biaya peralatan lebih rendah
8. Teknologi tidak berkembang	8. Teknologi telah terbukti	8. Teknologi telah terbukti

Sebagai contoh, berat sebuah rotor diameter  $D = 25 \text{ m}$  dengan sudu yang terbuat dari kayu/epoxy adalah 400 kg dan bila dibuat dari GRP beratnya adalah 700 kg dan dari baja adalah 1700 kg. Pada Gambar 3.32. diperlihatkan foto beberapa konstruksi sudu dari berbagai bahan dan pada Gambar 3.33. diperlihatkan contoh struktur sudu.

Gambar 3. 32 | Sampel Sudu Aluminium, GRF Dan Kayu



Gambar 3. 33 | Sampel Struktur Sudu Turbin Angin



(8). Soliditas (S)

Di definisikan sebagai,  $S =$  keliling rotor yang di isi oleh sudu dibagi dengan keliling lingkaran rotor, atau  $=$  luasan yang di isi oleh sudu di bagi dengan luas cakupan rotor. Secara matematis dapat dihitung melalui rumus,

$$S = 31,8 * B * L/D$$

dengan :

B = jumlah sudu,

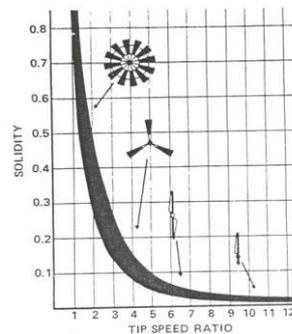
L = lebar satu sudu (m),

D = diameter rotor (m)

Rotor dengan nilai  $S$  yang makin besar menghasilkan putaran rotor yang makin lambat, sedangkan rotor 2 atau 3 sudu memiliki nilai  $S$  yang sangat kecil sehingga perlu berputar cepat untuk memotong angin. Jika tidak, akan terjadi kehilangan energi yang besar melalui senjang yang besar antara sudu-sudu. Untuk sudu banyak  $S = 40 - 60\%$

Hubungan antara Soliditas ( $S$ ) dengan rasio kecepatan ujung ( $\lambda$ ) di perlihatkan pada Gambar 3.34.

Gambar 3. 34 Hubungan Antara Soliditas Dan Rasio Kecepatan Ujung



(9). Sudut penyetelan sudu (pitch)

Merupakan sudut penyetelan sudu pada sudut yang tepat agar rotor menghasilkan gaya angkat (lift) maksimum (sudut tetap atau variabel dalam derajat).

Ujung sudu bergerak lebih cepat dari pada titik-titik yang lebih dekat ke poros sehingga sudut angin yang terlihat oleh sudu berubah terhadap radius. Rotor paling efisien jika sudut tersebut sebesar mungkin tanpa menyebabkan terjadinya stall dan agar sudut tersebut besar sepanjang sudu, maka sudu tersebut harus di puntir (twisted).

Untuk alasan yang sama, rotor yang di rancang agar berputar cepat (misalnya 2 atau 3 sudu) memiliki penyetelan sudut sudu yang kecil

(10). Rasio kecepatan ujung,  $\lambda$

Didefinisikan sebagai,  $\lambda = \text{kecepatan ujung sudu/kecepatan angin}$

$$\lambda = \omega R/V \quad \text{atau}$$

$$\lambda = 0,052 D \cdot nV$$

Rasio kecepatan lokal adalah,

$$\lambda_r = \omega r/V$$

dengan :

D = diameter rotor(m),

n = putaran rotor (rpm) dan

V = kecepatan angin ( m/s),

R = jari jari rotor, dan

r = jarak sebuah titik dari pusat rotor.

Untuk  $n > V$ , maka  $\lambda > 1$  dan untuk  $n < V$ ,  $\lambda < 1$ ; berarti bahwa untuk rotor tipe drag (misalnya poros tegak) dengan  $n < V$  (selalu), nilai  $\lambda < 1$ ; sedangkan untuk  $n > V$  (misalnya rotor dengan 2 atau 3 sudu) nilai  $\lambda$  adalah tinggi yaitu 3 – 10. Setiap rotor memiliki  $\lambda$  optimum yang menghasilkan efisiensi maksimum.

Nilai  $\lambda$  yang lebih tinggi akan menghasilkan efisiensi atau koefisien daya rotor optimal yang lebih tinggi. Pada turbin angin skala besar sekarang ini, nilai  $\lambda = 5-7$  untuk 3 sudu,  $\lambda = 8$  untuk 2 sudu dan  $\lambda = 11$  untuk 1 sudu.

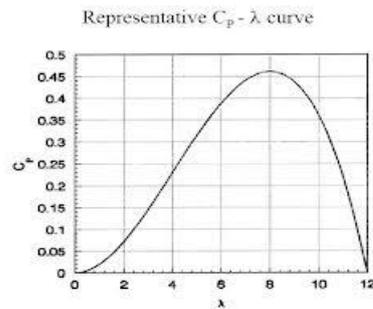
(11). Efisiensi Rotor (Koefisien Daya Rotor),  $C_p$

Merupakan fraksi energi angin yang melalui piringan rotor yang di konversi menjadi daya rotor, dan merupakan ukuran efisiensi rotor yang nilainya berubah terhadap  $\lambda$ . Tiap jenis rotor memiliki hubungan  $C_p$  dan  $\lambda$  yang unik

Karakteristik  $C_p - \lambda$  diperoleh dari hubungan antara  $C_p$  dan daya P dan definisi  $\lambda$

Hubungan antara  $C_p$  dan  $\lambda$  untuk berbagai tipe rotor di perlihatkan pada Gambar 3.35

Gambar 3. 35 Hubungan Antara Koefisien Power Dan Rasio Kecepatan Ujung



(12).Daya rotor (P)

Daya rotor (dalam W atau kW atau MW) yang di hasilkan oleh sebuah rotor yang memiliki diameter D (m), koefisien daya ( $C_p$ ) dan kecepatan angin V (m/s) tertentu adalah,

$$P=C_p(\lambda)*\frac{1}{2}*\rho*V^3*A$$

dengan :

$C_p$  adalah fungsi  $\lambda$  dan

$\rho$  = rapat massa udara ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

$A = \pi /4 D^2$  adalah luas sapuan rotor ( $\text{m}^2$ ).

Hubungan antara daya untuk berbagai kecepatan angin di sebut kurva daya turbin angin dan data tersebut tersedia di fabrikasi turbin angin terkait.

Untuk perhitungan praktis, berdasarkan persamaan daya rotor dapat ditentukan sebagai berikut :

-Untuk rotor putaran rendah (mis sudu banyak),

$$P = 0,15 D^2 V^3$$

untuk rotor putaran tinggi (pembangkit listrik),

$$P = 0,20 D^2 V^3$$

(13). Torsi rotor (Q)

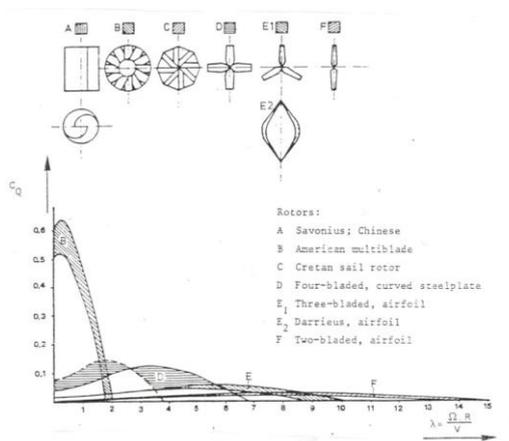
Merupakan gaya yang diperlukan untuk memutar rotor dan nilainya bergantung pada S dan  $\lambda$ . Untuk S yang tinggi dan  $\lambda$  yang rendah (sudu majemuk), di hasilkan torsi yang jauh lebih besar dari pada S yang rendah dengan  $\lambda$  yang tinggi (misalnya turbin angin 2 atau 3 sudu).

Turbin angin putaran tinggi memiliki  $C_p$  maksimum yang sedikit lebih tinggi tetapi dengan torsi awal yang rendah dan sebaliknya, S yang tinggi menghasilkan torsi awal yang tinggi tetapi memiliki  $C_p$  maksimum yang sedikit lebih rendah.

Hubungan antara  $C_q$  dan  $\lambda$  memberikan karakteristik  $C_q - \lambda$  yang di perlihatkan pada Gambar 3.35. Torsi  $Q = 0$  untuk  $\lambda = 0$

Hubungan antara  $C_p$  dan  $C_q$  adalah, :  $C_p = C_q * \lambda$ . Hubungan  $C_q$  terhadap  $\lambda$  diperlihatkan pada Gambar 3.36.

Gambar 3. 36 Hubungan Antara  $C_q$  Dan  $\lambda$



(14). Kecepatan operasional rotor

Dalam kurva yang memberikan hubungan antara daya dan kecepatan angin ,daya yang di hasilkan secara spesifik dinyatakan oleh nilai nilai kecepatan angin operasional (dalam m/s). yaitu cut-in, rated, cut-out dan kecepatan maksimum yang di definisikan telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

**Unit Transmisi**

Unit transmisi berfungsi untuk mengubah putaran rotor turbin angin menjadi putaran yang sama dengan generator yang dapat di lakukan dengan menggunakan sabuk-V (V-belt), rantai atau roda gigi (gear box). Tipe sabuk memiliki rasio hingga 10 untuk satu tingkat, efisiensi

sangat rendah dan bagus untuk tubin angin sampai 45 kW, sedangkan roda gigi yang memiliki rasio maksimum 10 untuk satu tingkat dan harus dalam rumah tertutup untuk pelumasan. Roda gigi di bagi dalam 3 jenis yaitu tipe paralel (parallel shaft), datar (planetary) dengan rasio rasio yang lebih tinggi dan kerucut (conical). Untuk turbin angin, tipe roda gigi yang umum di gunakan adalah tipe poros paralel (parallel type) dan poros datar (planetary type).

Rancangan roda gigi (dan rem) di atur oleh torsi nominal, daya nominal (rated power) yang sebanding dengan pangkat tiga kecepatan angin nominal, sedangkan kecepatan putaran rotor sebanding dengan kecepatan angin nominal. Berarti jika kecepatan angin nominal di kuadratkan, maka torsi akan berubah. Dengan kondisi ini, berat roda gigi dan rem dianggap sebanding dengan kecepatan nominal yang di kuadratkan. Beberapa perbedaan antara roda gigi tipe paralel dan datar diperlihatkan pada Tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Perbedaan Antara Roda Gigi Tipe Poros Paralel Dan Datar

Poros Paralel	Poros datar
1. Susunan bertingkat	1. Susunan satu baris
2. Massa lebih tinggi	2. Massa lebih rendah
3. Rancangan lebih sederhana dan pemeliharaan lebih mudah	3. Rancangan lebih rumit dan pemeliharaan lebih sulit (memerlukan personil khusus)
4. Biasanya mengimbangi rugi rugi poros	4. Dimensi lebih kecil tetapi lebih sulit untuk di periksa dan di pelihara

Unit transmisi yang banyak digunakan adalah roda gigi dengan pemasangan horizontal dan rasio transmisi 15 (sesuai dengan putaran generator yang umum yaitu 1500 rpm, sedangkan putaran rotor yang umum adalah sekitar 30 rpm). Roda gigi berfungsi untuk menaikkan putaran rotor menjadi putaran yang sama dengan poros generator atau bila tidak menggunakan roda gigi (gearless), putaran rotor akan sama dengan putaran poros generator.

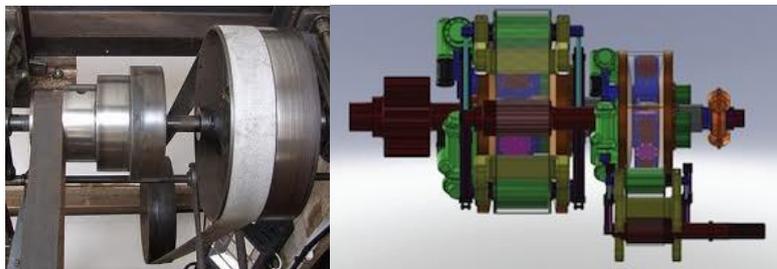
Untuk bagian masukan (input) yaitu yang di gandengkan dengan poros keluaran rotor, torsi dan daya masukan di tentukan dari hubungannya dengan torsi dan daya keluaran rotor. Torsi dan daya berbanding langsung dengan pangkat tiga kecepatan angin nominal sedangkan daya masukan dan keluaran mendekati konstan. Efisiensi roda gigi dianggap tinggi yaitu  $\geq 90\%$

Dari segi harga, sampai kapasitas 500 kW perbedaan tipe paralel dan datar adalah kecil. Rumah tipe datar lebih kecil namun lebih sulit di periksa dan di pelihara. Berdasarkan konsep rancangan yang di berikan, maka rancangan roda gigi yang akan di gunakan adalah sebagai berikut :

- Tipe :
- rasio transmisi :
- efisiensi :  $> 90\%$
- daya
- berat
- penempatan dalam posisi horisontal antara rotor dan generator

Beberapa konstruksi sistem transmisi, bentuk belt maupun roda gigi (gear boks) diperlihatkan pada Gambar 3.37.

Gambar 3. 37 Transmisi Belt Dan Gear Box



#### Generator

Rancangan atau pemilihan generator untuk turbin angin didasarkan pada penentuan parameter parameter berikut :

- (1) Tipe generator

Beberapa tipe generator yang di gunakan dalam turbin angin adalah :

#### a. Generator sinkron

Jika generator/mesin sinkron arus bolak balik dihubungkan ke jaringan, maka pada saat generator mulai menyalurkan arus ke jaringan, frekuensi, amplitudo dan fasa tegangan harus sesuai.

Jika turbin angin dengan generator sinkron dihubungkan ke jaringan, maka kecepatan sistem diatur oleh frekuensi jaringan dan jumlah pasangan kutub generator, dan dalam kondisi ini, turbin angin memiliki hubungan kecepatan tetap (fixed-speed) dengan jaringan.

Keuntungan utama generator sinkron adalah dapat beroperasi pada modus kapasitif maupun induktif yang secara khusus sangat bermanfaat untuk turbin angin besar atau jaringan yang lemah. Akan tetapi sistem ini jarang digunakan karena mesin-mesin sinkron harus disinkronkan ke jaringan sebelum dihubungkan yakni tegangan, frekuensi dan fasa sistem bolak-balik dari jaringan dan generator turbin harus sesuai. Bila yang diinterkoneksi ke jaringan adalah generator kecepatan variabel (*variable speed*), maka rotor SKEA dapat beroperasi pada  $C_p$  optimum dalam julat kecepatan yang lebar, dan syarat awal untuk hal ini adalah memutus koneksi sistem generator bolak-balik (ac) ke jaringan melalui sebuah rangkaian perantara (biasanya elektronika daya) agar beban-beban pada SKEA dan fluktuasi daya dalam jaringan tetap dipertahankan. Pada Gambar 3.38. diperlihatkan generator sinkron. Strategi yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Masukan daya dipertahankan konstan begitu kapasitas nominalnya (rated) tercapai; sedangkan penambahan putaran rotor yang tidak dapat diduga dibatasi oleh perubahan sudut pitch
- Tegangan yang dikeluarkan oleh generator sinkron diumpankan melalui penyearah sebagai rangkaian antara ke sebuah rangkaian tegangan dc dan level tegangan rangkaian ini di manipulasi oleh eksitasi generator. Dalam mesin yang dieksitasi secara permanen, generator dikontrol melalui sebuah konverter penaik atau penurun tegangan yang terdapat di dalam rangkaian antara. Selanjutnya rangkaian antara ini akan memasok inverter 3 fasa dan menghasilkan suatu arus ke jaringan dengan tegangan (V) dan frekuensi (f) tertentu.

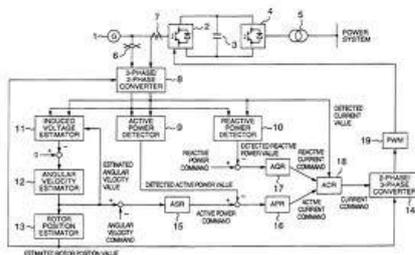
Sesuai dengan sistem superposisi, tipe inverter dan kondisi jaringan, diperlukan suatu elemen untuk mensuplai daya reaktif dan juga filter untuk membatasi frekuensi-frekuensi

harmonik dalam jaringan yang diakibatkan oleh inverter. Perbedaan antara kecepatan tetap dan variabel diperlihatkan pada Tabel 3.7. berikut.

Tabel 3. 7 Turbin Angin Dengan Generator Sinkron

No	Kecepatan Tetap	Kecepatan Variabel
1	Pitch-control, Voltage control, Synchronizing element, supervisory system, slip-clutch turbin angin	Pitch-control, Voltage control, inverter control, compensator, supervisory system, filter
2	Transformator	Transformator
3	Jaringan listrik grid atau PLN	Jaringan listrik grid atau PLN
4	Anemometer dan pengarah angin	Anemometer dan pengarah angin

Gambar 3. 38 Generator Sinkron



#### b. Generator Induksi

Jika yang di interkoneksi ke jaringan adalah turbin angin yang menggunakan generator induksi, maka generator induksi akan mengalirkan daya reaktif tetapi diambil dari jaringan. Dalam jaringan lokal, hal ini tidak memungkinkan karena daya reaktif eksitasi yang diperlukan harus dialirkan dari kapasitor atau melalui sambungan daya elektronik yang komparatif kompleks. Kapasitor memberikan daya reaktif yang bergantung pada tegangan dan frekuensi dan jika salah satu dari daya ini berubah, maka daya reaktif yang diberikan oleh kapasitor juga berubah, dan berarti julat kecepatan yang bermanfaat akan terbatas. Jadi jika turbin angin menggunakan generator induksi, daya reaktif eksitasi yang diperlukan harus diberikan oleh sejumlah tingkatan kapasitor yang dapat disetel, dan dalam hal ini, dimensi generator harus dipilih lebih besar. Dengan demikian, diperlukan turbin angin yang diatur secara stall.

Dalam implementasinya, sistem stall terlalu mahal sehingga kurang banyak dipakai, walaupun mesin-mesin induksinya sendiri tidak mahal. Perkembangan berikutnya adalah menggunakan turbin angin kecepatan variabel dengan mesin induksi yang dilengkapi dengan rangkaian dc intermediate dan konverter pada sisi generator dilengkapi untuk memberikan daya reaktif untuk mesin induksi. Jika eksitasi dasar dipasok oleh kapasitor, konverter frekuensi akan lebih kecil dan daya aktif maupun reaktif dapat dimanipulasi secara individual.

Pada sisi jaringan lokal, tegangan dan frekuensi didukung oleh inverter. Walaupun upaya untuk pengaturan adalah tinggi, produk-produk turbin angin yang dekat dengan produk standar dapat digunakan.

Dalam operasinya bila kecepatan angin cukup tinggi (lebih kecil dari kecepatan sinkron), setelah mesin induksi kecil terhubung ke jaringan, mula-mula turbin mempercepat dalam modus motor, tetapi setelah melampaui kecepatan sinkronnya, secara otomatis akan berubah ke modus generator. Selanjutnya bila kecepatan angin bertambah, generator induksi kecil akan mati dan generator besar akan hidup dengan titik kerja pada suatu kecepatan yang lebih besar.

#### Keuntungan

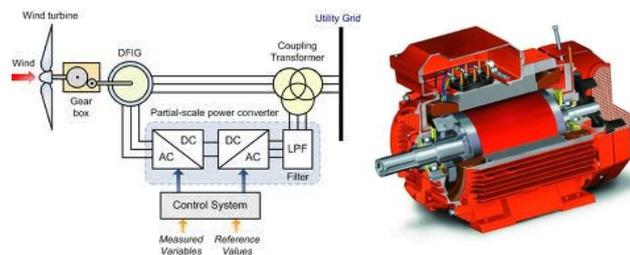
Biaya yang relatif rendah untuk mekanisme kontrol dan produk energi yang cukup baik bila menggunakan generator yang sangat kokoh.

#### Kerugian

Beban-beban besar pada komponen mekanik khususnya roda-gigi dan rotor selama tersambung dan over generator dan dalam julat stall. Karena hal ini, mesin-mesin induksi untuk kapasitas SKEA yang lebih besar dirancang dengan nilai-nilai slip yang lebih besar dari pada yang akan diperlukan karena alasan fisik dan hal ini dapat dicapai dengan menggunakan tahanan rotor dan reaktansi kebocoran yang lebih besar. Selama angin yang tinggi (kondisi gust), terdapat beban yang lebih kecil pada struktur karena sebagian energi gust diubah menjadi energi kinetik rotor. Panas yang dibangkitkan dalam rotor generator induksi perlu didisipasi ke luar dan dengan demikian, dalam mesin-mesin induksi besar slip sangat kecil.

Seperti halnya pada pemakaian generator sinkron, subsistem yang digunakan pada generator induksi tidak jauh berbeda. Pada sistem ini, subsistem transformator, jaringan listrik PLN tetap ada pada generator induksi kecepatan tetap maupun kecepatan variabel dan berbeda pada sistem kontrolnya. Pada Gambar 3.39. diperlihatkan skema dan gambar generator asinkron /induksi.

Gambar 3. 39 Generator Induksi



Perbedaan antara generator induksi kecepatan tetap dan variabel di perlihatkan pada Tabel 3.8.

Tabel 3. 8

Turbin Angin Dengan Generator Induksi

No	Kecepatan Tetap	Kecepatan Variabel
1	Emergency brake, supervisory system, belt drive	<b>Pitch-control, converter-control, direct ac converter, transformator, filter</b>
2	Transformator	<b>Transformator</b>
3	<b>Jaringan listrik grid/ PLN</b>	<b>Jaringan listrik grid/ PLN</b>

Umumnya turbin angin interkoneksi sekarang ini menggunakan generator induksi/ asinkron yang berputar pada putaran konstan. Keuntungannya adalah lebih murah, kokoh, andal dan tidak memerlukan banyak pemeliharaan; sedangkan kekurangannya / kerugiannya adalah bahwa putaran yang konstan tersebut menghasilkan beban-beban dinamik yang lebih tinggi dan struktur yang lebih berat. Penyebabnya adalah bahwa generator putaran variabel meratakan fluktuasi daya keluaran dan akibatnya beban-beban yang muncul pada struktur disebabkan oleh percepatan dan perlambatan rotor. Pengasutan sebuah turbin angin yang menggunakan generator asinkron dapat mengakibatkan beban-beban pensakelaran yang tinggi bila turbin angin tersebut disakelarkan pada jaringan atau bila rpm tidak disinkronkan secara sempurna, namun kekurangannya ini dapat diatasi dengan menggunakan pengasut lunak tipe elektronik.

Kekurangan lain dari generator putaran konstan adalah rugi efisiensi karena rpm yang konstan (pada rpm konstan dengan kecepatan angin yang berubah, rasio kecepatan ujung akan berubah, sehingga rotor tidak selalu bekerja pada rancangan optimalnya). Pengembangan telah dilakukan dengan memasang penghubung antar tingkat dc (arus searah) antara generator dan jaringan, sehingga dalam hal ini generator sinkron maupun asinkron dapat digunakan, dan menghasilkan operasi yang lebih lembut dengan beban-beban dinamik yang lebih rendah dan efisiensi yang lebih tinggi. Pengembangan turbin angin besar belakangan ini adalah menggunakan generator sinkron yang beroperasi pada rpm rendah sehingga tidak memerlukan roda gigi. Keuntungan utama adalah biaya pemeliharaan yang lebih rendah karena umumnya roda gigi sangat sensitif terhadap pemeliharaan.

Generator sinkron maupun induksi memiliki susunan gulungan yang sama pada stator yang bila di hubungkan ke jaringan tegangan tiga-fasa menghasilkan suatu medan magnet berputar kecepatan tetap, untuk rotor kedua jenis generator ini sangat berbeda. Magnet generator sinkron terpasang pada rotornya dan kemudian medan magnet rotor melok ke dalam yang di hasilkan oleh stator membawa beroperasi pada kecepatan sinkron. Untuk aplikasi pembangkitan daya, elektromagnet di gunakan pada rotor yang di eksitasi oleh suatu arus searah yang dimasukkan dari luar. Walaupun rotor beroperasi dalam kecepatan yang sama dengan medan magnet stator, medan magnet rotor mendahului medan stator dengan suatu sudut yang besarnya bergantung pada torsi yang di pasang.

Sebaliknya, rotor sebuah mesin induksi konvensional memiliki gulungan sangkar ("squirrel cage windings) yang ke dalamnya arus di induksikan ketika batang batang rotor memotong medan magnet yang di hasilkan oleh stator. Berarti sebuah generator induksi hanya dapat menghasilkan torsi pada suatu kecepatan putar yang sedikit lebih besar dari pada medan stator. Kecepatan seret ini (slip speed) sebanding dengan tegangan yang di masukkan.

Dapat di lihat, bahwa jika model sederhana dari sebuah turbin angin kecepatan tetap yang di lengkapi dengan generator sinkron di eksitasi oleh torsi siklik dari rotor turbin angin, maka tidak ada redaman dalam susunan penggerak untuk mengontrol osilasi torsional, karena hal ini merupakan sistem dengan 2 massa dan 2 pegas. Sebaliknya dengan generator induksi, hubungan generator dengan jaringan dinyatakan dengan peredam torsional. Torsi siklik utama rotor turbin angin akan berada pada sudu yang melewati frekuensi dan merupakan kejadian yang tidak menguntungkan yakni hal ini secara dekat sering menyesuaikan frekuensi pribadi osilasi generator sinkron kecil yang di hubungkan dengan jaringan listrik.

Dalam prakteknya, generator sinkron sering disesuaikan dengan gulungan peredam cage tambahan, akan tetapi tidak praktis memberikan derajat redaman yang di perlukan untuk aplikasi turbin angin. Juga pada kapasitas yang lebih besar (> 1 MW) efek orde kedua cenderung mengurangi redaman yang ada dari generator induksi. Akan tetapi, prinsip dasar adalah bahwa redaman yang diberikan oleh generator induksi diperlukan untuk turbin turbin angin kecepatan tetap.

Sebaliknya, generator turbin angin kecepatan variabel tidak di hubungkan langsung dengan jaringan tetapi di dekopel secara dc melalui konverter elektronik. Dengan demikian, generator sinkron dapat di gunakan.

c. Generator induksi dengan kecepatan variabel

Putaran atau kecepatan mesin induksi dapat di manipulasi jika frekuensi rotor di setel agar tidak bergantung pada frekuensi grid, dan hal ini dapat dicapai dengan menggunakan sambungan konverter. Tegangan output generator di searahkan dan diumpankan ke dalam sebuah rangkaian arus atau tegangan dc dan melalui rangkaian dc perantara kemudian mengumpankan sebuah inverter 3 fasa yang memungkinkan menghasilkan julat frekuensi dan tegangan yang lebar, dengan menggunakan rangkaian filter untuk membatasi frekuensi-frekuensi harmonik yang terjadi dalam grid yang diakibatkan oleh inverter.

Dalam mesin dengan slip-ring, rotor dapat diumpankan sehingga putaran atau kecepatan dapat diubah dengan memanipulasi medan putar rotor. Sistem ini jarang digunakan untuk turbin angin skala kecil tetapi banyak untuk skala besar dan medium, karena energi yang dihasilkan dikurangi dengan kerugian-kerugian (loses) di dalam rangkaian yang diperlukan. Disamping itu rangkaian yang diperlukan juga sangat mahal.

Rancangan generator diatur oleh daya nominal dan berat generator di anggap berbanding lurus dengan pangkat tiga kecepatan angin nominal.

Perbedaan antara generator sinkron dan generator generator induksi/asinkron adalah sebagai berikut:

**Mesin Sinkron**

- [1]. Jika di hubungkan dengan grid yang kuat pada frekuensi tetap, perbedaan dapat di lihat pada kurva torsi-kecepatan sebagai berikut :
- [2]. Hanya dapat beroperasi pada kecepatan sinkron  $N_s$ . Pada kecepatan ini, torsi antara  $+ Q_{max}$  dan  $- Q_{max}$  dapat di ambil dari poros atau di gunakan pada poros. Jika torsi melebihi  $+Q_{max}$ , maka tidak lama kemudian mesin akan menyetarakan diri dengan frekuensi jaringan dan dalam hal ini, akan terjadi torsi dan arus pulsasi yang besar yang apat merusak mesin. Dengan demikian, frekuensi jaringan akan sangat membatasi generator pada suatu nilai putaran dan akibatnya diperlukan suatu prosedur khusus untuk mengasut mesin.

- [3]. Jika tidak tersambung ke grid, mesin harus di percepat agar mencapai kecepatan sinkronnya dengan menggunakan motor tambahan.
- [4]. Jika tidak tersedia grid yang kuat, maka mesin sinkron harus beroperasi sebagai generator yang berarti bahwa putaran harus di kontrol secara mekanis (misalnya untuk kecepatan mesin diesel, pasokan uap, rasio transmisi) atau menggunakan konverter ac/d/ac.
- [5]. Efisiensi umumnya lebih tinggi dari pada mesin asinkron ( 10 %)
- [6]. Pada kecepatan angin rendah ketika rotor turbin angin menghasilkan torsi yang kecil, mesin cenderung bekerja antara modus generator dan motor namun sedapat mungkin harus dicegah ala modus motor.

#### **Mesin asinkron/induksi**

- [1]. Dapat beroperasi dalam suatu julat (range) frekuensi sekitar kecepatan sinkronnya (No). Titik awal pengalihan energi antara daya listrik dan mekanik merupakan selisih antara putaran dan kecepatan sinkron yang disebut slip. Pada kecepatan sinkron (slip=0) tidak ada pertukaran torsi antara mesin dan beban.
- [2]. Pada sisi lain jika slip terlalu besar, maka torsi maksimum atau minimum akan dilampaui dan mesin akan turun ke nol pada modus motor, sedangkan dalam modus generator mesin akan berputar bebas dan bertambah kencang yang hanya di batasi oleh gesekan mekanis. Dengan demikian, jaringan dengan frekuensi tetap memungkinkan nilai-nilai N berada dalam julat yang kecil.
- [3]. Mesin asinkron dapat di asut sebagai motor dengan hanya menghubungkan stator ke jaringan. Dalam hal ini penataan khusus kadang kadang di lakukan guna mencegah arus yang besar selama pengasutan.
- [4]. Menggunakan cincin seret (slip rings) pada rotor.
- [5]. Dengan cara ini kumparan kumparan rotor dapat di hubung singkatkan melalui tahanan variabel di mana tahanan yang lebih besar akan menghasilkan kurva torsi-kecepatan yang lebih rata dan akan menghasilkan pita nilai N stabil yang lebih lebar.

Sekarang ini, kebanyakan turbin angin besar menggunakan generator asinkron /induksi yang berputar pada kecepatan putaran konstan. Keuntungannya adalah harga yang lebih murah, kokoh, andal dan pemeliharaan yang lebih sederhana ;< sedangkan kekurangannya adalah bahwa putaran konstan menghasilkan beban beban dinamik yang lebih tinggi dan struktur yang lebih berat. Penyebabnya adalah bahwa generator dengan putaran variabel akan meratakan fluktuasi daya keluaran dan akibatnya adalah timbulnya beban beban pada struktur karena percepatan dan perlambatan rotor.

Pengasutan sebuah turbin angin yang menggunakan generator asinkron dapat mengakibatkan beban beban pensakelaran yang tinggi bila turbin angin tersebut disakelarkan pada jaringan listrik umum/grid atau bila putaran (rpm) tidak di sinkronkan secara sempurna, namun kekurangan ini dapat diatasi dengan menggunakan peralatan elektronik untuk pengasutan yang baik.

Kekurangan lain dari generator putaran konstan adalah terjadinya rugi-rugi efisiensi karena putaran (rpm) yang konstan (pada rpm konstan dengan kecepatan angin yang berubah, rasio kecepatan ujung akan berubah sehingga rotor tidak selalu bekerja pada rancangan optimalnya. Untuk mengatasi hal ini, pengembangan yang telah dilakukan adalah memasang konektor antar tingkat dc antara generator dan jaringan grid sehingga dalam hal ini generator yang digunakan (sinkron maupun asinkron ) akan menghasilkan operasi yang lebih halus/lembut dengan beban beban dinamik yang lebih rendah dengan efisiensi yang lebih tinggi.

Sekarang ini pengembangan untuk genertor sinkron adalah menggunakan generator sinkron yang beroperasi pada rpm rendah sehingga tidak memerlukan roda gigi. Keuntungan utama adalah biaya pemeliharaan yang lebih rendah karena umumnya roda gigi sangat sensitif terhadap pemeliharaan.

Generator yang dipilih untuk turbin angin adalah generator induksi dengan keuntungan sistem kontrolnya lebih sederhana, fleksibilitas dan redaman yang telah tercakup dan tidak memerlukan kontrol kecepatan untuk pengasutan (start-up). Kekurangannya adalah harus dieksitasi dari jaringan (grid), memerlukan kapasitor untuk koreksi faktor daya dan dapat mengakibatkan gangguan sistem terhadap jaringan lemah.

Dalam aplikasinya, yang di pilih adalah generator induksi karena lebih murah dan kokoh dan mengurangi biaya sistem turbin angin lainnya. Disamping itu karena sekarang ini lebih di inginkan faktor daya yang paling kecil dan kapasitor untuk koreksi faktor daya dan hal ini di gunakan dengan mesin induksi. Generator sinkron digunakan bila diperlukan keluaran kualitas yang tinggi dan interferensi sistem yang rendah dan hal ini terdapat pada sistem kecil dengan penetrasi turbin yang tinggi, maka generator sinkron lebih umum di gunakan untuk turbin angin kecil.

#### **Permanent Magnet Generator**

Sebuah magnet generator sinkron permanen adalah generator di mana medan eksitasi disediakan oleh magnet permanen bukan kumparan. Generator sinkron adalah sumber sebagian besar energi listrik komersial. Mereka umumnya digunakan untuk mengubah output daya mekanik turbin uap, turbin gas, mesin reciprocating, turbin air dan turbin angin menjadi tenaga listrik untuk grid. Dalam sebagian besar desain yang berputar perakitan di tengah generator adalah rotor yang mengandung magnet, dan stator adalah armature stasioner yang elektrik terhubung ke beban. Satu set dari tiga konduktor membentuk gulungan dinamo dalam peralatan utilitas standar, yang merupakan tiga fase daya sirkuit yang sesuai dengan tiga kabel seperti kita biasa lihat pada jalur transmisi. Fase yang sehingga mereka 120 derajat spasial pada stator, menyediakan kekuatan seragam atau torsi pada rotor pembangkit. Keseragaman torsi muncul karena medan magnet yang dihasilkan dari arus induksi dalam tiga konduktor dari gulungan dinamo menggabungkan spasial sedemikian rupa untuk menyerupai medan magnet dari satu magnet yang berputar. Medan magnet ini stator atau medan stator muncul sebagai bidang berputar dan berputar stabil pada frekuensi yang sama dengan rotor saat rotor mengandung medan magnet dipole tunggal. Dua bidang bergerak sinkronisitas dan mempertahankan posisi relatif tetap satu sama lain karena mereka berputar.

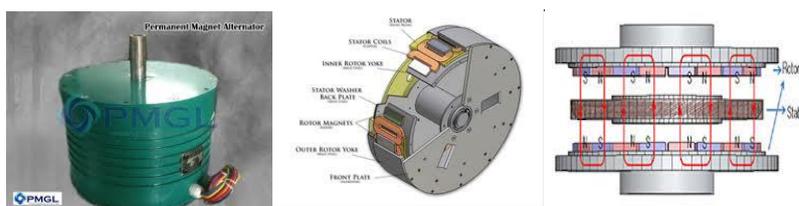
Mereka dikenal sebagai generator sinkron karena  $f$ , frekuensi tegangan induksi pada stator (konduktor angker) konvensional diukur dalam Hertz, berbanding lurus dengan RPM, tingkat perputaran rotor biasanya diberikan dalam putaran per menit (atau kecepatan angular). Jika gulungan rotor disusun sedemikian rupa untuk menghasilkan efek lebih dari dua kutub

magnet, maka setiap revolusi fisik hasil rotor di kutub magnet lebih bergerak melewati gulungan armature.

Dalam generator magnet permanen, medan magnet rotor dihasilkan oleh magnet permanen. Jenis lain dari penggunaan pembangkit elektromagnet untuk menghasilkan medan magnet di rotor berliku. Arus langsung di bidang rotor berliku makan melalui perakitan slip- cincin atau disediakan oleh exciter brushless pada poros yang sama. Generator magnet permanen tidak memerlukan pasokan DC untuk rangkaian eksitasi, juga tidak memiliki slip ring dan sikat kontak. Namun, magnet permanen yang besar dan mahal akan membatasi peringkat ekonomi mesin. Kepadatan fluks magnet permanen kinerja tinggi adalah terbatas, celah udara fluks tidak dapat dikontrol, sehingga tegangan dari mesin tidak mudah diatur. Sebuah medan magnet menghasilkan isu-isu keselamatan selama perakitan, layanan lapangan ataupun perbaikan. dan magnet permanen berkinerja tinggi, memiliki masalah struktur dan termal. Torsi MMF(magneto motive force) saat bergabung dengan fluks magnet permanen secara terus menerus akan , menyebabkan kepadatan fluks celah udara yang lebih tinggi dan akhirnya, mengakibatkan saturasi inti(magnet core). Dalam alternator magnet permanen, kecepatan berbanding lurus dengan tegangan output alternator.

Pada Gambar 3.40. diperlihatkan beberapa contoh generator sinkron yang menggunakan magnet permanen

Gambar 3. 40 Generator Permanen Magnet



#### Unit Penggerak (Drive Train)

Unit unit penggerak terdiri dari bantalan poros utama, roda gigi, rem cakram (disk brake) serta generator dan untaiannya. Rem cakram sering dipasang pada poros yang

berputar cepat yaitu antara roda gigi dan generator dan pada turbin angin besar adalah visibel untuk menempatkan rem cakram pada poros utama antara roda gigi dan rotor dengan keuntungan bahwa roda gigi tidak di bebani oleh rem, sehingga rancangannya lebih mudah, sedangkan kekurangannya adalah bahwa pemasangan rem pada poros utama menghasilkan dimensi yang lebih besar.

Kebanyakan rem mekanis diaktifkan oleh pegas sesuai dengan filosofi keselamatan dan untuk roda gigi banyak menggunakan tipe planetary dan keuntungannya di bandingkan terhadap tipe paralel adalah lebih kompak, lebih ringan, kebisingan yang dihasilkan lebih kecil serta efisiensi lebih tinggi khususnya dalam kondisi terbebani sebagian. Pengembangan baru sekarang ini adalah unit penggerak tanpa roda gigi dengan generator yang beroperasi pada putaran rendah akan tetapi menghasilkan diameter nasek yang agak besar. Berbagai cara pengandengan unit unit penggerak di perlihatkan pada Gambar 3.41.

Gambar 3. 41 Berbagai Model Unit Drive Train



(a)



(b)

Unit roda gigi merupakan bagian atau komponen dari susunan penggerak dan komponen lainnya adalah kopling, bantalan-bantalan dan komponen untuk penempatan cakram pengereman secara manual untuk menghentikan turbin angin dalam keadaan darurat. Penempatan komponen turbin angin yang merupakan kelengkapan dari unit penggerak adalah sebagai berikut :

- Poros Utama sebagai penerud daya dari rotor ke roda gigi
- roda gigi berada di antara rotor turbin angin dan generator
- rem cakram untuk pengereman darurat di pasang pada poros utama antara roda gigi dan rotor agar roda gigi tidak terbebani oleh rem
- Kopling diperlukan untuk tujuan aligment dan peredaman getaran / putaran rotor. shaft dan roda gigi serta generator.

#### **Unit kontrol**

Fungsi aktual pengontrolan adalah mempertahankan turbin angin dalam kondisi operasi yang diijinkan/direncanakan khususnya selama angin tinggi yaitu membatasi nilai kecepatan, torsi, daya dan gaya dorong rotor ( thrust ) dalam julat (range) yang telah ditetapkan. Untuk turbin angin dengan kecepatan tetap, torsi maksimum disetel begitu daya maksimum disetel, sedangkan untuk turbin angin dengan kecepatan variabel, batas maksimum torsi pada dasarnya ditentukan oleh komponen mekanik, dan daya maksimum secara elektris.

Sistem kontrol berbeda dengan sistem supervisi. Sistem supervisi hampir tidak pernah berintervensi dan berfungsi mengontrol manuver turbin angin, sedangkan kebalikannya,

sistem kontrol bertindak secara kontinu. Sistem supervisi bereaksi terhadap perubahan kecepatan angin yang cepat dan terhadap perubahan beban generator kecuali jika dinamika sistem bergerak diluar batas yang disetel oleh sistem supervisi. Secara hierarki, sistem supervisi berada di atas sub sistem kontrol.

Pengontrolan daya turbin angin dapat dilakukan secara stall (pasif dan aktif) dan pengaturan pitch/pitch control (pasif dan aktif). Cara pengontrolan yang paling sederhana adalah kontrol stall secara pasif yang memanfaatkan pengurangan koefisien gaya angkat setelah stall dan penambahan koefisien gaya hambat (drag) yang terkait agar mencapai batas keluaran daya jika kecepatan angin bertambah tanpa memerlukan perubahan geometri sudu. Sedangkan kontrol pitch dengan sudu-tetap dipilih agar turbin angin mencapai daya maksimum atau nominalnya pada kecepatan angin yang diinginkan.

Kekurangan cara stall adalah ketidak pastian dalam sifat aerodinamik setelah stall yang dapat mengakibatkan perkiraan level daya yang teliti dan pembebanan sudu pada kecepatan angin nominal atau di atasnya.

Kontrol stall aktif mencapai pembatasan daya di atas kecepatan nominalnya dengan mula-mula menyetel sudut pith sudu menjadi stall, misalnya dalam arah yang berlawanan dengan yang di gunakan pada kontrol pith aktif (juga disebut kontrol pitch negatif) dan pada kecepatan kecepatan angin yang lebih tinggi, biasanya perlu menyetel sudut pith kembali menuju posisi feather guna memperahankan keluaran daya pada nilai nominal. Keuntungan berarti dari sistem kontrol ini adalah bahwa sudu tetap dalam posisi stall di atas kecepatan angin nominal, sehingga slising gust menghasilkan fluktuasi siklik yang jauh lebih kecil dalam beban sudu dan keluaran daya. Dalam hal ini hanya diperlukan perubahan sudut pitch yang kecil guna mempertahankan keluaran daya pada nilai nominalnya, sehingga laju perubahan sudut pitch tidak perlu sebesar yang untuk kontrol pitch positif.

Lebih lanjut pengereman aerodinamik secara penuh hanya memerlukan sudut pitch sebesar sekitar  $-20$  derajat, sehingga pergerakan mekanisme pitch sangat berkurang di bandingkan dengan kontrol pitch positif. Kekurangan utama dari kontrol stall aktif adalah kesulitan dalam memperkirakan sifat serodinamik secara akurat dalam kondisi aliran stall.

Kontrol pitch secara aktif mencapai pembatasan daya di atas kecepatan nominal (rated) dengan memutar semua atau bagian dari masing masing sudu terhadap sumbunya dalam

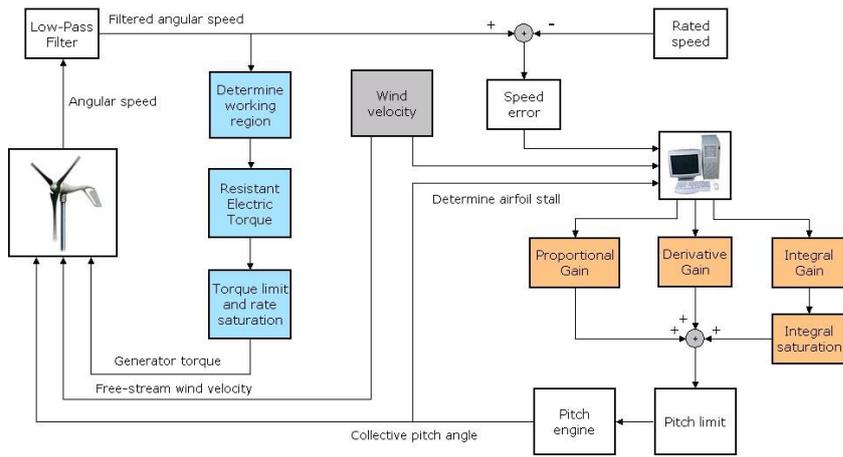
arah yang mengurangi sudut serang dan berarti koefisien gaya angkat (disebut proses feathering). Keuntungan utama cara kontrol pitch aktif ini adalah bertumbuhnya energi yang di tangkap dan fasilitas pengereman aerodinamik yang dihasilkan dan pengurangan beban beban ekstrem pada turbin angin sewaktu mematikan turbin angin. Laju perubahan pitch adalah 5 derajat per detik atau yang lebih baik guna membatasi ekskursi daya akibat angin kencang ke suatu nilai yang dapat diterima.

Julat khas sudut pitch sudu yang diperlukan untuk pengontrolan daya adalah dari 0 derajat (yakni kord ujung berada dalam bidang rotasi atau sangat mendekati) sampai 35 derajat, akan tetapi, untuk pengereman aerodinamik yang efektif, sudut pitch sudu harus disetel hingga 90 derajat atau posisi feather penuh bila kord ujung paralel dengan poros rotor dengan leading edge ke dalam angin.

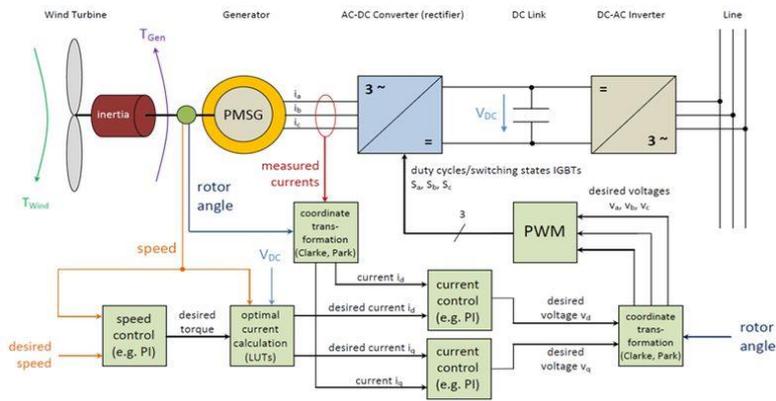
Sebagai sistem kontrol, pengaturan pitch memerlukan kontrol lup (loop) tertutup dengan respons yang cepat yang tidak diperlukan untuk fungsi supervisi pada turbin angin yang di kontrol secara stall.

Dalam sistem kontrol pitch pasif, pengontrolan daya dilakukan dengan merancang sudu dan/atau penahan (mounting) nafnya memuntir sewaktu pengaruh beban pada sudu-sudu guna mencapai perubahan pitch yang diinginkan pada kecepatan- kecepatan angin yang tinggi. Namun dalam prakteknya hal ini sulit di laksanakan karena variasi puntiran sudu terhadap kecepatan angin umumnya tidak menyesuaikan dengan variasi beban sudu yang terkait. Untuk sistem berdiri sendiri (stand alone), optimisasi hasil energi bukan merupakan sasaran pokok sehingga kontrol pitch pasif kadang-kadang dapat dipakai, akan tetapi konsep ini belum digunakan banyak untuk turbin angin yang tersambung ke grid. Pada Gambar 5.1.5 a, b dan c diperlihatkan beberapa model skema sistem control pada turbin angin.

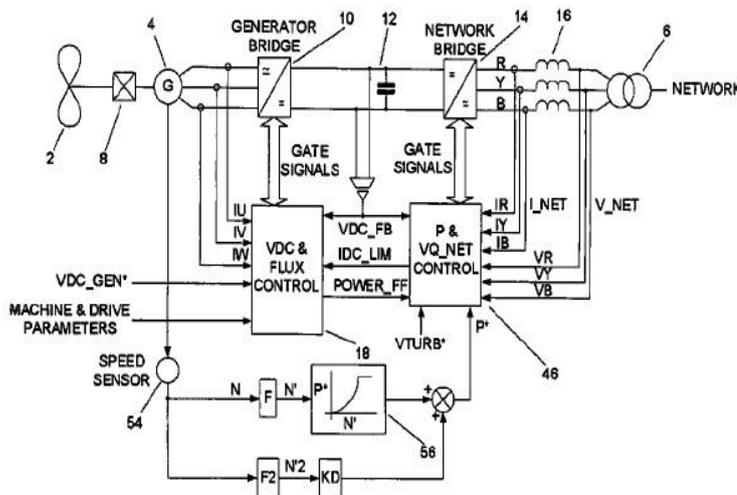
Gambar 3. 42 Berbagai Skema Sistem Kontrol Turbin Angin



(a)



(b)



(c)

Tipe pengontrolan turbin angin di kelompokkan dalam 3 (tiga) jenis utama yaitu :

(1) **Over speed control (proteksi kecepatan lebih)**

Proteksi kecepatan lebih yang murni tidak dapat dipicu selama operasi normal, tetapi hanya diaktifkan selama keadaan darurat. Dalam kebanyakan hal, proteksi kecepatan lebih merupakan sistem proteksi tambahan, dan sistem proteksi tersebut terdapat dalam berbagai tipe rancangan, yaitu :

a. Stall Regulation/control

Turbin angin yang menggunakan generator induksi dan dikontrol secara stall dan di interkoneksi ke jaringan selama operasi normal memiliki spoiler yang diaktifkan oleh gaya sentrifugal. Spoiler tersebut akan mengembang jika kecepatan putaran melebihi kecepatan nominal sebesar 20%, misalnya selama kegagalan daya. Jika kecepatan putaran tersebut turun hingga 60% dari nominalnya maka spoiler melipat kembali (on-off control).

b. Katup Hidrolik

Cara lain adalah membuka katup hidrolik yang secara mekanik diaktifkan oleh sakelar sentrifugal. Sistem hidrolik ini mengalami rugi-rugi tekanan dan rem digunakan sehubungan dengan pegas yang tegangannya telah disetel.

c. Rem Mekanik

Untuk turbin angin kecil, kadang-kadang digunakan rem mekanik yang diaktifkan oleh gaya sentrifugal.

(2) **Sistem Kontrol Sederhana dan Proteksi Badai**, selain memproteksi terhadap kecepatan lebih, juga berfungsi membatasi masukan daya dan kemungkinan gaya dorong pada menara selama operasi normal pada saat kecepatan angin tinggi. Biasanya, kontrol seperti ini mempengaruhi secara kontinu jika batas kecepatan putaran atau dorongan angin yang telah ditetapkan dilebihi. Sistem kontrol cepat seperti halnya dengan sistem kontrol sederhana, secara kontinu membatasi daya dan kecepatan putaran, dan sebagai tambahan adalah pengaturan pitch yang cepat agar turbin menghasilkan frekuensi 50 Hz selama operasi. Dengan demikian, sistem kontrol tersebut dilengkapi dengan komponen servo elektro hidraulik yang cepat dan kontroler elektronik yang cepat yang mampu bereaksi terhadap angin kencang. Sistem kontrol ini terutama digunakan untuk turbin angin kapasitas 100 kW atau lebih.

Karena kecepatan angin tidak dapat dipengaruhi, maka kecepatan putaran rotor hanya dapat dimanipulasi oleh beban dan perubahan sudut seluruh rotor atau masing-masing sudu atau flaps ditambahkan pada sudu. Berbagai cara mempengaruhi posisi rotor adalah sebagai berikut :

a. Menggerakkan rotor menjauhi angin

Hal ini dilakukan dengan mengubah sudut angin yang datang dan menggerakkan nasel menjauhi angin. Cara yang lebih baru adalah mengangkat nasel terhadap sumbu horisontal. Kedua metoda ini memberikan hasil yang sama yaitu pengurangan kecepatan angin yang nyata secara efektif, dan berarti mengurangi masukan daya rotor. Pengurangan daya yang signifikan hanya dapat diperoleh jika rotor digerakkan atau diangkat pada sudut yang besar karena daya berkurang terhadap kosinus sudut. Metoda ini dapat digunakan untuk turbin angin kecil hingga 5 kW.

b. Pitch menuju feather.

Jika sudut angin nyata dari penampang airfoil dimanipulasi menjadi lebih kecil daripada sudut optimum, maka gaya angkat (lift) dan berarti daya keluaran akan berkurang.

Pengontrolan dengan cara ini menghasilkan operasi yang presisi dan lembut karena kontrol dapat menggunakan kondisi aliran yang telah didefinisikan untuk semua sudut pitch. Kekurangan metoda kontrol ini adalah bahwa untuk mengurangi daya diperlukan sudut pengaturan yang besar sehingga biaya konstruksi lebih mahal.

c. Pitch menuju stall

Pertambahan sudut sudu menghasilkan penurunan daya karena aliran angin menjadi terpisah. Hal ini mengurangi gaya angkat (lift) dan menambah gaya hambat (drag) banyak sekali. Pengaturan secara stall hanya memerlukan sudut-sudut pengaturan yang kecil. Pengontrolan dapat dengan mudah menghentikan rotor; akan tetapi pemisahan aliran tidak merupakan status aliran yang terdefinisikan dengan baik. Dengan demikian, pengontrolan ini beroperasi dalam cara yang termasuk tidak akurat dan tidak mantap (unsteady), dan gaya dorong tetap besar.

(3) **Sistem Kontrol Cepat (Fast Control System)** merupakan sistem aktif yang memerlukan suplai energi untuk pengontrolan, sedangkan sistem pasif tidak memerlukan suplai energi. Dalam hal sistem aktif, efek dari masukan angin yang tidak mantap (unsteady) akan dipertahankan dalam batas – batas yang didefinisikan dengan menggunakan intervensi spesifik, dan untuk ini digunakan sensor atau transduser untuk mengumpulkan data operasi yang relevan, misalnya kecepatan putaran rotor atau daya, dan selanjutnya mengubahnya menjadi variabel penggerak untuk aktuator. Dalam aplikasi real, terdapat berbagai kontrol untuk interkoneksi dan sistem supervisi.

Sasaran pengontrolan adalah mempertahankan salah satu atau keduanya, kecepatan putaran atau daya dalam batas yang telah ditetapkan dan mencapai ketelitian kontrol yang tinggi, sedangkan apakah variabel pengontrolan adalah kecepatan putaran atau daya, tergantung pada filosofi rancangan.

Pada turbin angin modern, sistem kontrol yang lebih cepat (fast control system) memiliki fungsi tambahan pada saat kecepatan angin rendah, yaitu mengoptimalkan keluaran energi dengan gerakan pitch yang cepat pada kecepatan putaran yang konstan, atau misalnya harus mengadopsi generator dan beban secara cepat guna mempertahankan turbin angin pada rasio kecepatan ujung optimum tanpa mengubah sudut pitch.

d. Kontrol pitch dan stall.

Kontrol stall dan pitch merupakan cara pengontrolan daya rotor. Kontrol stall digunakan untuk turbin angin dengan rpm konstan dan merupakan cara pasif untuk mengontrol daya rotor.

Pada kontrol stall, gaya angkat aerodinamik (lift,  $L$ ) tegak lurus pada resultante aliran udara dan gaya gesek dan  $L$  merupakan gaya penggerak bagian sudu tersebut. Jika kecepatan angin  $V$  bertambah dan rpm konstan, maka sudut serang juga akan bertambah dan hubungan antara lift dan sudut serang adalah linear sampai mencapai nilai sudut serang tertentu dan di atas nilai tersebut nilai lift ( $L$ ) akan menurun dan menghasilkan torsi penggerak yang lebih rendah. Dengan kontrol stall, hal ini dapat dilakukan seluruhnya secara pasif dan jauh lebih murah, sehingga sistem pengontrolan aktif tidak diperlukan.

Kontrol pitch dapat digunakan baik untuk rpm konstan maupun variabel dan cara pengontrolan bervariasi dalam penampilan yaitu dari sistem full-span pitch hingga blade tip pitch. Sebagian tipe sistem ini mengontrol daya dengan mengubah sudut pitch sudu menuju sudut serang yang lebih kecil dan sebagian lagi dengan cara mengubah sudut pitch menuju stall.

Ciri umum pengontrolan secara stall adalah :

- terdapat pada rotor dengan sudu tetap (fixed blades)
- memerlukan rem untuk rotor (rem aerodinamik)
- tidak menggunakan pitch control
- memerlukan generator yang lebih besar guna menghasilkan pertambahan energi yang lebih besar, sehingga memerlukan roda gigi yang lebih besar
- lebih murah dibandingkan dengan pitch control
- digunakan untuk turbin angin yang memerlukan daya yang lebih besar

Berdasarkan pengelompokan cara pengontrolan yang diberikan tipe kontrol yang telah diterima oleh pasar adalah :

- Kontrol stall dengan konsep Denmark (35%)
- Kontrol pitch lambat (slow pitching) untuk operasi kecepatan variabel (36%)
- Kontrol pitch cepat (fast pitching) untuk operasi kecepatan tetap (20%)
- Konsep lain (9%)

Rancangan sistem kontrol mekanik dan listrik, serta pengereman banyak diterapkan pada turbin angin skala kecil dengan berbagai kombinasi antara lain :

- pengereman manual untuk memberhentikan secara darurat
- sistem mekanik untuk turbin angin kecil
- sistem listrik, hidraulik dan elektornik untuk yang lebih besar
- sistem listrik, hidraulik, pneumatic, elektirk dak control computer untuk turbin angin besar

Sudu yang digunakan untuk turbin angin adalah dengan sudut pitch variabel (variable pitch) sehingga subsistem kontrol rotor turbin angin yang digunakan adalah kontrol pitch (pitch control) dengan keuntungan efisiensi rotor yang dapat dimaksimalkan namun memerlukan rancangan naf yang lebih kompleks dan sistem aktuator dengan daya yang cukup untuk mengatur semua sudu. Seluruh sudu mungkin harus dilepas untuk memungkinkan pemeliharaan pada aktuator dan sudu.

Cara lain adalah dengan penambahan pengontrolan pada ujung sudu (tip control) yang memiliki naf dan rincian pangkal sudu yang sederhana. Dengan cara ini, memungkinkan untuk memelihara bantalan aktuator dan bantalan ujung sudu tanpa melepas seluruh sudu.

Masalah yang mungkin di temukan adalah menyesuaikan atau mempackan aktuator ke ruang yang tersedia dalam sudu, terutama untuk sudu rotor dengan kecepatan yang lebih tinggi.

Cara pengontrolan pitch umumnya digunakan untuk turbin angin di atas 150 kW, sedangkan untuk kapasitas yang lebih kecil dari pada 150 kW umumnya di gunakan kontrol span.

#### **Subsistem Geleng ( Yawing)**

Sistem geleng digunakan untuk kebanyakan turbin angin poros datar dan berfungsi untuk mempertahankan agar rotor selalu mengarah ke angin. Mekanisme yang sama juga digunakan untuk pengereman dengan membawa rotor menjauhi angin. Respons geleng begitu cepat dan terdapat dua faktor yang menghalangi respons yang cepat tersebut untuk mengontrol daya yaitu momen inersia nasel dan rotor yang besar dan hubungan kosinus antara komponen kecepatan angin yang tegak lurus dengan piringan rotor dan sudut geleng. Dengan faktor terakhir ini berarti bahwa pada sudut geleng awal yang kecil, perubahan geleng sebesar misalnya 10 derajat hanya menghasilkan pengurangan daya sebesar

beberapa persen; sedang-kan dengan perubahan sudut pitch dengan besar yang sama dapat dengan mudah menghasilkan pengurangan daya separohnya. Dengan demikian, kontrol geleng secara aktif hanya praktis untuk turbin angin dengan kecepatan variabel dimana energi tambahan dari angin kencang (gust) dapat disimpan sebagai energi kinetik rotor sampai penggerak geleng melakukan koreksi seperlunya terhadap sumbu geleng.

Subsistem geleng terdiri dari dua jenis yaitu sistem aktif dan pasif.

a. Sistem Aktif (power yaw)

Terdiri dari aktuator (penggerak) yang dikopling ke roda gigi dan terpasang pada bagian atas menara. Dalam hal ini diperlukan sensor arah angin untuk memonitor arah angin relatif terhadap rotor.

Sistem aktif secara kontinu akan diaktivasi untuk mengikuti arah angin dengan menggunakan sensor arah angin di bagian atas menara di luar nael yang akan memberikan informasi aktual mengenai arah angin dan penyimpangan yang di timbulkan terhadap arah angin referensi.

Sebagian besar sistem ini memiliki rem geleng guna melepas sistem aktivasi bila rotor tertahan pada posisinya. Kadang kadang rem-rem ini dilepas bila aktivasi bekerja akan tetapi kadang-kadang rem tersebut harus ditarik melalui torsi pengereman. Kebanyakan sistem geleng aktif digerakkan secara hiraulik, sedangkan geleng dengan sistem listrik dapat menunjukkan beban-beban puncak yang besar selama menghidupkan sistem. Sistem geleng aktif digunakan untuk turbin angin dari kapasitas beberapa kW hingga 3 MW. Pada Gambar 5.16. diperlihatkan beberapa kontruksi sistem geleng yang telah dibuat dan dioperasikan.

Gambar 3. 43 Motor Yaw Dan Sistem Yawing



b. Geleng Pasif (geleng bebas/free yaw)

Geleng bebas biasanya bekerja dalam 3 modus yaitu :

- **Fan Tail**

Di gunakan hanya untuk turbin angin kecil, bekeja cukup baik namun terdapat beberapa kegagalan pada rotor

- **Tail Vane**

Juga terbatas untuk turbin angin kecil

- **Rotor down wind**

Memerlukan suatu bentuk redaman (damping) untuk menjamin bahwa rotor tidak akan merespons perubahan arah angin yang cepat. Sistem ini telah berhasil untuk berbagai ukuran turbin angin

Geleng pasif biasanya tidak pasif sempurna dan oleh karena itu, pada turbin angin besar untuk menghidupkan pada kecepatan angin yang rendah, diperlukan sebuah sistem aktif untuk mengarahkan rotor ke angin, sedangkan untuk meredam gerakan geleng selama operasi normal, biasanya digunakan sistem hidraulik.

Keuntungan sistem pasif adalah tidak perlu dikontrol dan beban-beban yang terjadi adalah rendah yang berarti lebih murah.

Untuk mempermudah rotor dalam gerakan geleng, digunakan bantalan geleng dan yang paling umum adalah menggunakan cincin yang banyak (stándar slew ring) tipe bola (ball bearings) atau cross roler. Pada Gambar 3.34. disajikan contoh konstruksi yaw pasif pada turbin angin down wind dan turbin angin yang menggunakan tain vane sebagai alat untuk yawing..



( Down wind)

( Tail vane)

Untuk mengarahkan nasek turbin angin dengan mekanisme geleng agar rotor selalu mengarah ke angin. Mekanisme diaktifkan oleh sensor angin yang memberi sinyal ke aktuator untuk mengontrol motor menggerakkan nasek ke arah angin. Dengan rancangan dan spesifikasi yang diberikan, unit ini dapat dibuat di dalam negeri.

Sebagai komponen turbin angin yang berfungsi untuk mempertahankan rotor agar selalu mengarah ke angin, tipe yang dipilih adalah unit geleng yang diberi daya (powered yaw) yang terdiri dari aktuator berputar yang digandengkan dalam sebuah roda gigi yang terpasang di bagian atas menara dilengkapi dengan sensor. Komponen utama unit geleng adalah :

- a) motor yang digandengkan dengan penggerak (aktuator) untuk menggerakkan nasek pada bantalan dan gerakannya dikontrol berdasarkan informasi kecepatan dan arah angin yang dihasilkan oleh masing-masing sensor,
- b) sensor kecepatan dan arah angin yang setiap saat memonitor kecepatan dan arah angin dan selanjutnya memberikan perintah kepada aktuator untuk menggerakkan atau menghentikan nasek.

- c) rem geleng (pilihan) yang berfungsi untuk melepas sistem aktivasi bila rotor tertahan pada suatu posisi. Kadang-kadang rem ini dilepas bila aktivasi bekerja; akan tetapi kadang-kadang harus ditarik dengan melakukan pengereman.
- d) Subsistem atau unit geleng merupakan sistem aktif (power yaw) yang umumnya digerakkan secara hidraulik, karena bila menggunakan listrik dapat menimbulkan beban-beban puncak yang besar selama beroperasi.

#### **Subsistem Keselamatan (Safety System) / Pengereman**

Tujuan utama adalah menghentikan turbin angin dalam keadaan darurat dengan cara mengaktifkan unit rem (braking system). Pengereman dibagi dalam 2 jenis, yaitu :

##### **a. Pengereman secara bebas (independent braking system)**

Aturan DS 472 dan GL menyatakan bahwa sebuah SKEA harus memiliki dua sistem rem yang saling independen, sedangkan dilain pihak, IEC 61400-1 secara eksplisit tidak memberikan ketentuan tentang dua sistem pengereman, tetapi yang betul-betul diperlukan adalah unit proteksi agar sistem tetap efektif bahkan setelah kegagalan setiap komponen sistem proteksi yang tidak safe-life. IEC 61400-1 menyatakan bahwa sistem proteksi harus mencakup satu sistem atau lebih yang mampu membuat rotor berhenti atau dalam keadaan idling.

Aturan IEC 61400-1 dan GL menentukan bahwa paling sedikit salah satu sistem rem harus bekerja pada rotor atau pada poros putaran rendah; sedangkan DS 472 menyatakan lebih lanjut bahwa salah satu sistem rem sebaiknya adalah rem aerodinamik.

Dalam prakteknya yang disediakan adalah rem aerodinamik maupun mekanik, akan tetapi jika sistem rem aerodinamik dilengkapi pada masing-masing sudu dan masing-masing memiliki kapasitas memperlambat rotor, maka rem mekanik tidak perlu dirancang untuk melakukan hal tersebut. Dalam hal ini, fungsi rem mekanik tersebut hanyalah membawa rotor agar berhenti, misalnya untuk parkir; karena rem aerodinamik tidak mampu melakukan hal tersebut.

##### **b. Pengereman aerodinamik (active pitch control, pitching blade tips, spoiler, dll)**

Pengereman secara aerodinamik di bagi dalam 3 jenis yaitu :

- (i)Active pitch control

Bekerja berdasarkan penyetelan sudut pitch ke posisi feather (kord sudu segaris dengan arah angin) dan merupakan cara yang sangat efektif untuk pengereman aerodinamik. Dalam hal ini, kecepatan penyetelan sudut pitch umumnya adalah 10 derajat per detik dan hal ini sesuai dengan orde penyetelan sudut pitch untuk pengontrolan daya. Penggunaan sistem pitch sudu untuk start up dan kontrol daya berarti bahwa dia dieksekusi secara teratur dengan hasil bahwa terjadinya kegagalan sangat disukai

(ii) Pitching blade tips

Untuk SKEA dengan stall regulated, cara memfeather pada ujung-ujung sudu menjadi bentuk standar untuk pengereman aerodinamik. Secara tipikal, sudu bagian ujung dipasang pada poros tip dan diheld in melawan gaya sentrifugal selama operasi normal oleh sebuah silinder hidraulik.

Gambar 3. 45

Blade Tip Pitching



Pada pelepasan tekanan hidraulik (yang ditrigger oleh sistem kontrol atau langsung oleh sensor putaran lebih), sudu ujung terbang menuju keluar karena pengaruh gaya sentrifugal, dan secara simultan menyetel ke posisi feather pada sekrup poros. Panjang sudu ujung biasanya adalah sekitar 15% dari radius sudu.

(iii) Spoiler

Merupakan hinged flaps yang mengkonform ke profil airfoil bila di retracted dan stick out pada arah tegak lurus padanya bila deployed. Tipe ini telah dipakai pada waktu yang lalu tetapi dengan panjang yang dipertimbangkan untuk memperlambat rotor dengan sesuai. Selanjutnya, kecuali jika rancangan memperoleh operasinya di test secara reguler, terdapat risiko gagal menjalankan fungsinya bila diperlukan secara aktual.

c. Rem Mekanik ( mechanical brake system)

Fungsi rem mekanik hanya diperlukan untuk memarkir SKEA dengan dapat menggerakkan rem aerodinamik secara independen. Akan tetapi, pada SKEA dengan pengontrolan pitch (pitch regulated), dengan posisi sudu dikontrol oleh sebuah aktuator tunggal, kemampuan untuk pengereman yang independen penuh harus dilengkapi dengan rem mekanik.

Beberapa SKEA dengan pengontrolan stall yang disesuaikan dengan rem ujung yang independen menjamin bahwa rem mekanik dapat menghentikan rotor tanpa di bantu. Hal ini mungkin dapat memuaskan persyaratan di suatu negara tertentu yakni tersedianya dua sistem rem independen dari tipe yang berbeda. Secara tipikal, rem jenis ini terdiri dari piringan rem baja yang diaktifkan oleh satu kaliper rem atau lebih. Piringan dapat dipasang pada salah satu poros rotor (poros putaran rendah) atau pada poros antara roda gigi dan generator (poros putaran tinggi); dan penempatan cara terakhir lebih umum karena torsi pengereman berkurang secara berbanding terbalik dengan kecepatan poros. Kekurangannya adalah bahwa torsi pengereman di alami oleh susunan gigi, dan hal ini dapat menambah rating torsi roda gigi yang diperlukan yaitu sebesar sekitar 50% bergantung pada frekuensi pengereman. Pertimbangan lain adalah bahwa kualitas material piringan rem yang dipasang pada poros kecepatan tinggi lebih kritis karena timbulnya stress sentrifugal. Kaliper kaliper rem hampir selalu disusun sedemikian sehingga rem adalah dipasang pegas dan ditarik secara hidraulik yaitu fail safe. Beberapa cara pengereman pada ujung sudu di perhatikan pada Gambar 3.45 di atas.

Pengereman aerodinamik jauh lebih aman dari pada rem mekanik bila pembebanan pada struktur sudu dan susunan penggerak diperhatikan, sehingga selalu digunakan dalam preferensi untuk menghentikan turbin angin secara normal.

Dalam fungsinya untuk pengereman darurat dengan sasaran menghenikan turbin angin atau dalam keadaan idling, subsistem keselamatan di rancang agar memenuhi kondisi berikut :

Pengereman dapat di lakukan secara aerodinamik maupun mekanik. Cara mekanik mampu untuk menghentikan rotor secara sempurna atau untuk membuat dalam posisi parkir;sedangkan cara aerodinamik hanya mampu untuk memperlambat putaran rotor. Dengan demikian, berganung pada kebutuhan pengereman,cara yang di lakukan adalah sebagai berikut :

a. Pengereman aerodinamik dengan cara : pengaturan sudut pitch ke posisi feathering (umumnya dengan kecepatan pengaturan 10 derajat per detik) ; penyetelan ke posisi feathering di bagian ujung sudu untuk turbin angin dengan kontrol stall; dan menggunakan spoiler yaitu flap flap yang dapat berputar pada engsel. Berdasarkan regulasi, kriteria yang di gunakan adalah tersedianya dua cara pengereman yang saling independen yaitu aerodinamik untuk mengurangi kecepatan putaran rotor dan mekanik untuk pengereman penuh.

### **c. Sistem Proteksi dan Keselamatan Untuk Turbin Angin Kecil (OK)**

Hasil pengembangan yang telah dilakukan selama beberapa puluh tahun, ada banyak sistem perlindungan dan keamanan yang berbeda untuk turbin angin kecil dari 1kw ke 50kW. Artikel ini memperkenalkan sebagian besar sistem perlindungan populer di dunia termasuk perlindungan mekanik dan perlindungan elektronik. Para produsen turbin angin kecil biasanya memilih beberapa dari mereka dalam desain mereka , adapun semua desain di bawah perlindungan dalam sistem dapat diuraikan sebagai berikut :

- 1) Yaw Control, PLC Control akan mengendalikan motor yaw yang dapat menyimpangkan turbin angin dari arah angin pada sudut 30 derajat, 60 derajat atau 90 derajat ketika mendeteksi kecepatan angin lebih, kelebihan tegangan atau pembangkit atas suhu .
- 2) Electronic Brake , box beban tambahan mengadopsi teknologi PWM sebagai kontrol elektronik dan menjaga kecepatan rotor di bawah kisaran yang stabil untuk melindungi operasi turbin angin . Ketika kecepatan angin melebihi kecepatan angin dinilai atau daya output generator melebihi 125 % dari nilai daya, kotak beban tambahan dump load akan dimulai mengkonsumsi listrik ekstra untuk menjaga kecepatan rotor di bawah situasi yang stabil.
- 3) Teknik Brake, Sebagai sistem perlindungan sekunder, rem mekanik didorong oleh kualitas tinggi. Ini bisa menghentikan rotor turbin angin di atas kecepatan, tegangan lebih, di atas suhu atau kegagalan jaringan .
- 4) Ekor / Tail - benda perlindungan , ketika kecepatan angin melebihi 25 m/s, rotor turbin akan yaw tingkat tertentu dari arah angin secara otomatis. Dan kecepatan putaran rotor akan drop off (menurun). Karena memiliki sistem mekanik handal

seperti melindungi, sistem tidak memiliki perangkat lain keselamatan listrik atau magnet .

- 5) pitch control, ketika generator lebih dari nilai daya, dapat menyesuaikan pitch sudu untuk membuat daya mendefinisikan pada kisaran nilai tertentu.
- 6) sudut angkat poros rotor, fungsi utama dari itu adalah untuk mencegah sudu menerjang tower.
- 7) Perlindungan terhadap kecepatan angin lebih, ketika kecepatan angin melebihi tingkat tertentu, maka akan melaksanakan fungsi pelindung. Sebagai contoh, jika kecepatan angin pelindung turbin adalah 20 m/s, itu akan mulai untuk melindungi turbin ketika kecepatan angin lebih dari tingkat ini .
- 8) Perlindungan terhadap suhu lebih, bila suhu melebihi suhu tertentu, ia akan melaksanakan fungsi melindungi.
- 9) Perlindungan pada tegangan lebih, bila tegangan melebihi tegangan, itu akan melakukan fungsi pelindung untuk menjaga turbin dalam situasi aman

#### Instalasi

Dalam instalasi tenaga angin, ada beberapa hal lain yang penting diperhatikan:

- Komponen-komponen pendukung seperti saklar dc, circuit breaker, dan sikring (fuse) dipilih dari komponen yang handal dan tahan terhadap perubahan parameter fisis, a.l.: arus, tegangan, dan temperature, yang mendadak.
- Pengkabelan dan koneksi disesuaikan dengan kondisi lingkungan lokasi, yaitu terhadap pengaruh kelembaban, temperature dan kemungkinan penyinaran matahari langsung.
- Rancang dan pasang sistem pentanahan (grounding) secara baik dan pasang penangkal petir bila instalasi turbin angin merupakan tower tertinggi.
- Seyogyanya gunakan komponen yang mempunyai umur panjang (bila dimungkinkan bisa bertahan selama 20 tahun sesuai dengan umur teknis turbin angin)
- Mengamankan area sistem dengan pagar, tanda, ataupun alarm, sebagai tanda area berbahaya.

### Sistem Pengkabelan (wiring system)

Beberapa hal penting dalam sistem pengkabelan antara lain:

- Meminimumkan rugi daya and tegangan hilang (voltage drop) dengan cara:
  - menyesuaikan kapasitas kabel untuk kompensasi temperature
  - membuat pengkabelan yang pendek-pendek
  - menyesuaikan diameter kabel terhadap arus yang mengalir
  - menyesuaikan panjang kabel untuk meminimumkan tegangan jatuh
- Menggunakan pelindung kabel yang sesuai, conduit, atau ditanam langsung.
- Minimumkan jumlah koneksi agar reliabilitas tinggi, biaya tenaga kerja rendah, dan sistem yang lebih aman.

### Komponen Kabel Penghantar

Komponen-komponen kabel penghantar adalah sebagai berikut:

- Gunakan konduktor dengan logam yang mempunyai sifat sebagai penghantar arus listrik yang baik, contoh: tembaga.
- Gunakan konduktor untuk aplikasi luar (outdoor cable)
- Lindungi konduktor, sebagai pengaman, dari panas, sinar matahari, serangga, dan lain sebagainya..
- Pelindung kabel (conduit) dari logam atau plastik yang berfungsi sebagai pengaman tambahan kabel penghantar.

Tabel berikut menjelaskan luas penampang konduktor (metric) dengan kapasitas arus dan faktor kehilangan tegangannya.

Penampang konduktor (mm <sup>2</sup> )	Kapasitas arus (A)	Faktor kehilangan tegangan (V/A.m)
2.5	32	0.002823
4	42	0.001775
6	54	0.001117

10	73	0.0007023
16	98	0.0004416
25	129	0.0002778
35	158	0.0001747
50	198	0.0001385
70	245	0.0001099
95	292	0.0000871
120	344	0.0000691
150	391	0.0000548

Rugi-rugi tegangan atau tegangan hilang dapat dihitung dengan persamaan:

**Rumus Rugi-rugi Tegangan**

$$\Delta V = \text{Arus (A)} \times \text{Panjang kabel (m)} \times \text{Faktor kehilangan tegangan (V/A/m)}$$

Masalah umum kabel penghantar

Problem yang menimpa kabel penghantar pada umumnya adalah:

- Gangguan hubung singkat pada titik sambungan listrik dalam kotak pengaman akibat air, serangga, dan lain sebagainya.
- Kegagalan isolasi karena kabel mengalami panas yang berlebihan.
- Kerusakan akibat korosi (karat).

Pemilihan Kabel Penghantar

Pemilihan kabel penghantar berdasarkan atas pertimbangan sebagai berikut:

- Tegangan hilang, yaitu perbedaan antara tegangan pada sisi pengirim (sumber) dengan tegangan pada sisi penerima (beban). Umumnya dinyatakan dalam %.
- Tipe Isolasi kabel: outdoor atau indoor
- Kemampuan hantar arus yang berdasarkan:
  - Ukuran penampang konduktor
  - Jenis dan bahan konduktor

Tegangan Jatuh (Voltage Drop)

Faktor yang mempengaruhi besarnya drop tegangan :

- Panjang kabel (meter)
- Jenis material konduktor kabel
- Ukuran penampang konduktor (mm<sup>2</sup>)

Standar tegangan hilang maksimum pada sistem SHS: 3% ~ 5%.

Contoh sifat resistif (tahanan) konduktor: kabel tembaga ukuran 1 mm<sup>2</sup> mempunyai resistansi 0,0365 ohm/meter (pada temperatur 25°C).

Perhitungan tegangan jatuh kabel tembaga tersebut dapat dicari dengan rumus umum:

**Rumus Tegangan hilang (voltage drop) pada kabel**

$$\Delta V = \rho \frac{L * I}{A}$$

dimana:

- $\Delta V$  : Tegangan hilang (volt)  
 $\rho$  : Tahanan jenis konduktor (Cu, Al)  
 $L$  : Panjang kabel positif dan negatif (meter)  
 $I$  : Arus nominal (Ampere)  
 $A$  : Ukuran penampang konduktor (mm<sup>2</sup>)

### Rancangan dan Spesifikasi Sistem

Berdasarkan rancangan dan perhitungan-perhitungan yang di lakukan, spesifikasi rancangan turbin angin yang umum dapat dinyatakan sebagai berikut :

Tabel 3. 10 Parameter Utama Rancangan Turbin Angin

Komponen	Parameter	Pilihan
1. Rotor	▪ posisi: up wind/down wind	Upwind atau down wind

	▪ jumlah sudu, B ( 2,3 atau 4)	<b>Umumnya 3</b>
	▪ diameter rotor, D dalam m	<b>Ditentukan sesuai kapasitas turbin angin</b>
	▪ profil sudu/airfoil, NACA	<b>ditentukan</b>
	▪ rasio kecepatan ujung, $\lambda_0$	<b>Ditentukan/dihitung</b>
	▪ putaran nominal, rpm	<b>dihitung</b>
	▪ koefisien daya, $C_p$	<b>0,38 – 0,41</b>
	▪ material sudu : GRP (Glass Reinforced Polyester) /baja (steel) /Carbon Fibre	<b>dipilih</b>
	• berat, kg ▪ (berat 1 sudu sekitar 750 kg)	<b>Berdasarkan rancangan</b>
<b>2.Unit Transmisi (roda gigi)</b>	▪ tipe (parallel shaft/conical/planetary)	<b>Planetary</b>
	▪ rasio	<b>7-26</b>
	▪ dimensi	<b>ditentukan</b>
	▪ berat	<b>ditentukan</b>
<b>3.Generator</b>	▪ kapasitas, kW	<b>ditentukan</b>
	▪ Tipe	<b>Sinkron / asinkron</b>
	▪ Magnitasasi	<b>Magnet permanen / remanen</b>
<b>4.Orientasi/arah</b>	▪ Yawing (aktif /power yaw atau pasif)	<b>aktif</b>
<b>5.Subsistem Kontrol</b>		<b>1.1.1</b>
<b>a. Kontrol Rotor</b>	▪ Stall atau Pitch (aktif dan pasif)	<b>Pitch</b>
<b>b. Kontrol Daya</b>	▪ Elektronik/komputer, mis SCADA	<b>Sesuai kapasitas dan tipe</b>
<b>c. Subsistem</b>	▪ Manual/ rem cakram /	<b>dipilih</b>

<b>keselamatan</b>	mekanisme feathering	
<b>6.Menara</b>	▪ Tipe (pipa baja berongga / pipa baja beton berongga (concrete steel))	<b>ditentukan</b>
	▪ diameter, tebal	<b>ditentukan</b>
	▪ tinggi, m	<b>50 - 100 m</b>
	▪ berat, kg	<b>30-50 ton</b>
<b>7.Komponen lain, Nasel</b>	▪ dimensi	<b>ditentukan</b>
	▪ volume	<b>dihitung</b>
	▪ berat, kg	<b>dihitung</b>
<b>8.Pondasi</b>	▪ tipe	<b>dirancang</b>
	▪ dimensi	<b>dirancang</b>
	▪ volume	<b>dirancang</b>
	▪ berat, kg	<b>dihitung</b>
<b>9.Kecepatan operasional, m/s</b>	▪ cut-in	<b>2 - 4,5 m/s</b>
	▪ rated	<b>2-16 m/s</b>
	▪ cut-out	<b>25,0 m/s</b>
	▪ <b>Maksimum</b>	<b>30 m/s atau lebih</b>

### Sistem rakitan

Sistem rakitan untuk semua jenis turbin angin mengacu pada petunjuk teknis (manual) yang telah disediakan oleh perancang atau fabrikasi mulai dari komponen hingga sistem yang terintegrasi

- Pada umumnya rakitan untuk integrasi komponen utama turbin angin dilakukan di lokasi karena masing-masing komponen tersebut yakni naf, sudu, nasel, roda gigi dan generator difabrikasi menjadi satu unit, sedangkan menara tergantung pada

jenisnya yaitu manara lattis dapat dipisah menjadi bagian bagian (parts) dan menara tubular dalam segmen yang selanjutnya dirakit di lokasi.

- Sudu dan naf dirakit di lokasi dengan memasangkan pangkal sudu ke naf sesuai dengan petunjuk rakitan dari fabrikasi
- Poros masukan roda gigi dikopel dengan poros rotor dan poros keluaran dengan poros generator. Dalam banyak hal, roda gigi dan generator serta kelengkapan lainnya, misalnya rem cakram untuk pengereman barada di dalam naseel
- Tergantung pada tipe, dimensi dan beratnya, menara kecil dapat didirikan dengan menggunakan bantuan tali penarik dan tiang baja yang di atasnya dilengkapi dengan katrol untuk cantelan tali penarik, sedangkan menara besar didirikan dengan bantuan perlengkapan angkat (crane) yang mengatur posisi menara secara tegak dan memasukkan kaki kakinya atau bagian bawahnya ke tatakan pondasi yang telah disediakan.
- Unit roda gigi merupakan bagian atau komponen dari susunan penggerak (drive train) dan komponen lainnya adalah kopling, bantalan bantalan dan komponen untuk penempatan cakram pengereman secara manual untuk menghentikan turbin angin dalam keadaan darurat.

Penempatan komponen pada dasarnya adalah sebagai berikut :

- roda gigi berada di antara rotor turbin angin dan generator
- rem cakram untuk pengereman darurat dipasang pada poros utama antara roda gigi dan rotor agar roda gigi tidak terbebani oleh rem.
- Perakitan ekor pengarah dapat dilakukan sebelum pemasangan di lokasi dan selanjutnya dihubungkan ke bagian turbin angin yang telah disediakan, sedangkan unit kontrol turbin angin tipe elektrik pada umumnya merupakan unit elektrik yang telah menyatu dengan generator dan untuk turbin angin besar merupakan unit tersendiri yang dapat ditempatkan di rumah monitor dan control.
- Rakitan atau sambungan subsistem listrik, jaringan transmisi dan distribusi dilakukan sesuai dengan petunjuk yang telah tersedia

- Generator searah (dc) pada umumnya digunakan untuk turbin angin kecil yang ditujukan untuk pengisi baterai, catu daya listrik searah di daerah pedesaan atau sistem komunikasi di daerah terpencil, SKEA nelayan, perkemahan, dll. Dalam perkembangannya, generator arus searah dengan bobot berat sekarang ini juga digunakan untuk turbin angin besar.

Generator yang banyak digunakan untuk turbin angin adalah generator induksi dengan keuntungan sistem kontrolnya lebih sederhana, fleksibilitas dan redaman yang telah tercakup dan tidak memerlukan kontrol kecepatan untuk pengasutan (start-up), kekurangannya adalah harus dieksitasi dari jaringan (grid), memerlukan kapasitor untuk koreksi faktor daya dan dapat mengakibatkan gangguan sistem terhadap jaringan lemah. Generator induksi lebih murah dan kokoh dan mengurangi biaya sistem turbin angin lainnya. Disamping itu sekarang ini lebih diinginkan faktor- daya yang paling kecil dan kapasitor untuk koreksi faktor-daya dan hal ini digunakan dengan mesin induksi.

Generator sinkron digunakan bila diperlukan keluaran kualitas yang tinggi dan interferensi sistem yang rendah dan hal ini terdapat pada sistem kecil dengan penetrasi turbin yang tinggi, maka generator sinkron lebih umum digunakan untuk turbin angin kecil.

- Perakitan Subsystem/ Unit Kontrol

Perakitan sistem kontrol bergantung pada tipe dan fungsinya, yakni :

- pengereman manual untuk menghentikan secara darurat
- -sistem mekanik untuk turbin angin kecil
- -sistem listrik, hidraulik dan elektornik untuk yang lebih besar
- -sistem listrik, hidraulik, pneumatik, elektirk atau kontrol komputer untuk turbin angin besar

- Rakitan Mekanisme geleng (Yawing)

Sebagai komponen turbin angin yang berfungsi untuk mempertahankan rotor agar selalu mengarah ke angin, tipe yang dipilih adalah unit geleng yang diberi daya (powered yaw) yang terdiri dari aktuator berputar yang digandengkan dalam sebuah roda gigi yang terpasang dibagian atas menara dilengkapi dengan sensor.

Dalam kaitan dengan perakitan, komponen utama sebuah unit geleng adalah :

- Motor yang digandengkan dengan penggerak (aktuator) untuk mennggerakkan nasel pada bantalan dan gerakannya dikontrol berdasarkan informasi kecepatan dan arah angin yang dihasilkan oleh masing masing sensor
- Sensor kecepatan dan arah angin yang setiap saat memonitor kecepatan dan arah angin dan selanjutnya memberikan perintah kepada aktuator untuk menggerakkan atau menghentikan nasel.
- Rem geleng (pilihan) yang berfungsi untuk melepas sistem aktivasi bila rotor tertahan pada suatu posisi . Kadang-kadang rem ini dilepas bila aktivasi bekerja, akan tetapi kadang kadang harus ditarik dengan melakukan pengereman.

- Perakitan Sistem Keselamatan (Safety System)

Pengereman dapat dilakukan secara aerodinamik maupun mekanik. Cara mekanik mampu untuk menghentikan rotor secara sempurna atau untuk membuat dalam posisi parkir; sedangkan cara aerodinamik hanya mampu untuk memperlambat putaran rotor. Pengereman secara aerodinamik adalah dengan: pengaturan sudut pitch ke posisi feathering; penyetelan ke posisi feathering di bagian ujung sudu untuk turbin angin dengan kontrol stall dan menggunakan spoiler yaitu flap yang dapat berputar pada engsel.

Berdasarkan regulasi, kriteria yang digunakan adalah tersedianya dua cara pengereman yang saling independen yaitu aerodinamik untuk mengurangi kecepatan putaran rotor dan mekanik untuk pengereman penuh .

- Nasel

Sebagai bagian dari turbin angin yang berfungsi untuk penempatan unit unit penggerak yaitu roda gigi, kopling, generator, rem cakram, hidraulik, dll, nasel harus memiliki dimensi dan ruang bebas yang cukup untuk akses perakitan, pemeriksaan dan pemeliharaan. Umumnya dilengkapi dengan penutup yang dapat dibuka tutup untuk akses tersebut.

Nasel tidak terlalu ringan agar tidak mudah mengalami guncangan dan getaran akibat pengaruh dinamis maupun yang lain, dan harus mampu dalam keadaan stabil pada posisinya

## **Pengujian Sistem Turbin Angin**

Pengujian turbin angin sebagai suatu produk dengan tipe dan ukuran tertentu, terdiri atas 4 bagian yaitu:

(1). Pengujian fungsi dan keselamatan

Pengujian umumnya dilakukan di lokasi pengujian yang telah disediakan untuk mengetahui berfungsinya sistem secara keseluruhan sesuai rancangan dan dalam kondisi kondisi spesifik, misalnya fungsi rotor, roda gigi, generator dan fungsi pengontrolan

(2). Pengujian kinerja Turbin Angin

Pengukuran dan pengujian mengacu pada kurva daya yang dirancang, khususnya daya pada kecepatan-kecepatan operasional yaitu kecepatan asut (starting), pada kecepatan rancangan dan kecepatan lain di bawah dan di atas rancangan

(3). Uji durasi (duration test)

Pengujian dilakukan di lokasi pengujian untuk mengetahui kemampuan turbin angin beroperasi dalam jangka waktu atau durasi yang telah dirancang, minimal 1 tahun. Faktor alami dan cuaca antara lain karat, suhu yang berubah secara ekstrim, hujan, dll sangat mempengaruhi sistem untuk jangka lama, sehingga sistem harus diproteksi terhadap kemungkinan pengaruh tersebut.

(4). Pengujian lain

Pengujian lingkungan pada umumnya lebih diperlukan untuk turbin angin besar, antara lain kebisingan, interferensi gelombang radio.

Peralatan yang umumnya diperlukan untuk pengujian kinerja turbin angin adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 11 Peralatan Pengujian Turbin Angin

No	Jenis pengujian	Parameter dan unit	Peralatan/instrumen
1	Daya listrik	▪ Arus listrik (A), ▪ Tegangan(V)	Transduser daya
2	Kecepatan Angin	m/s	Anemometer
3	Arah angin	derajat	Sensor arah angin (wind vane)

4	Rapat massa udara	Kg.m <sup>3</sup>	Melalui pengukuran temperature, tekanan dan kelembaban atmosfer
5	Putaran rotor turbin angin dan sudut pitch	rpm	Melalui pengujian lapangan dengan menggunakan tachometer atau monitor keluaran turbin angin
6	Kondisi sudu		Pemeriksaan terhadap pengaruh hujan, debu, karat, keretakan, dll
7	Sistem kontrol	Multi parameter	Pengujian status sinyal pada titik titik tertentu yang sudah ditetapkan
8	Sistem Akusisi data /SCADA	Multi parameter	Pengujian berbagai parameter operasional turbin angin secara real-time dengan menggunakan sensor masing masing parameter terkait

#### D. Aktivitas Pembelajaran

Kerjakan tugas dibawah ini secara kelompok :

1. Mengidentifikasi karakteristik angin di daerah yang ditentukan
2. Mendesain turbin angina berdasarkan data yang diperoleh.
3. Merakit turbin angin yang telah dipersiapkan komponennya.
4. Membuat blade sesuai cetakan yang disediakan.

#### E. Rangkuman

Parameter-parameter utama yang mendominasi peta koefisien daya rotor,  $C_{PR}$  adalah jumlah bilah rotor, distribusi panjang chord dari bilah rotor (planform), karakteristik airfoil aerodinamik, variasi pelintir bilah.

Nilai-nilai rancangan harus memenuhi salah satu atau gabungan dari 3 persyaratan yaitu nilai perkiraan beban rancangan, penggunaan model dinamik struktur, pengukuran beban secara penuh dengan melakukan ekstrapolasi.

Rancangan teknologi turbin angin untuk suatu lokasi / daerah didasarkan pada beberapa factor yaitu kapasitas atau daya turbin angin, diameter rotor turbin angin, turbin angin besar.

Keuntungan rotor 3 sudu di bandingkan dengan rotor 2 sudu adalah :

- menghasilkan beban dinamik yang lebih rendah
- kecepatan putaran rotor lebih rendah (akibatnya tidak bising) jika sudu-sudu tersebut memiliki kord yang sama dengan 2 sudu
- lebih stabil dengan penampilan yang lebih teratur

Unit transmisi berfungsi untuk mengubah putaran rotor turbin angin menjadi putaran yang sama dengan generator yang dapat dilakukan dengan menggunakan sabuk-V (V-belt), rantai atau roda gigi (gear box).

Fungsi aktual pengontrolan adalah mempertahankan turbin angin dalam kondisi operasi yang diijinkan/direncanakan khususnya selama angin tinggi yaitu membatasi nilai kecepatan, torsi, daya dan gaya dorong rotor ( thrust ) dalam julat (range) yang telah ditetapkan.

Tipe pengontrolan turbin angin di kelompokkan dalam 3 (tiga) jenis utama yaitu Over speed control (proteksi kecepatan lebih), Sistem Kontrol Sederhana dan Proteksi Badai, Sistem Kontrol Cepat (Fast Control System).

Pengujian turbin angin sebagai suatu produk dengan tipe dan ukuran tertentu, terdiri atas 4 bagian yaitu pengujian fungsi dan keselamatan, pengujian kinerja turbin angina, uji durasi (duration test), pengujian lingkungan.

#### **F. Tes Formatif**

1. Berdasarkan dorongan gaya angin sudu rotor dibagi dalam dua tipe, sebutkan?
2. Ukuran komponen apa yang menentukan daya turbin angina?
3. Sebutka factor dalam pemilihan jumlah sudu untuk sebuah turbin angina?
4. Apa fungsi dari Unit transmisi ?
5. Apa perbedaan antara generator sinkron dan generator induksi/asinkron?

### G. Kunci Jawaban

1. Gaya angkat (lift) atau gaya hambat (drag)
2. Diameter rotor
3. Kinerja sistem, beban, biaya rotor, dampak terhadap biaya komponen, susunan penggerak (drive train), kebisingan dan penampilan visual.
4. Mengubah putaran rotor turbin angin menjadi putaran yang sama dengan generator.
5. Mesin Sinkron : Jika dihubungkan dengan grid yang kuat pada frekuensi tetap, hanya dapat beroperasi pada kecepatan sinkron  $N_s$ ....., Mesin asinkron :....

## **KEGIATAN BELAJAR 4 : IMPLEMENTASI DAN TINJAUAN EKONOMI**

### **A. Tujuan**

Setelah mempelajari kegiatan pembelajaran 4 implementasi dan tinjauan ekonomi peserta mampu memahami implementasi pembangkit listrik tenaga bayu dan tinjauan ekonomi instalasi PLTB.

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

Indikator pencapaian kompetensi, peserta mampu:

- Mengimplementasikan PLTB
- Menghitung biaya pemasangan instalasi PLTB
- Memperkirakan keuntungan pemasangan instalasi PLTB

### **C. Uraian Materi**

Setelah perang dunia II berakhir semakin banyak bangsa – bangsa di Afrika dan di Asia yang sejak lama dijajah mulai merdeka. Sejak itulah semakin ramai pelaksanaan pembangunan di negara-negara tersebut termasuk Indonesia. Semua membangun demi mengejar ketinggalan di segala kehidupan, demi meningkatkan taraf hidup/kemakmuran serta pertumbuhan ekonomi yang tinggi.

Oleh karena adanya keterbatasan sumber-sumber dana/investasi untuk membiayai pembangunan secara nasional serta langkanya sumber daya alam yang dibutuhkan, maka diperlukan suatu perencanaan pembangunan agar pemanfaatan sumber-sumber terutama dana/investasi bisa digunakan seefektif dan seefisien mungkin. Juga perlu mendapat prioritas pembangunan mana yang harus dilebihdahulukan terutama bagi kepentingan rakyat banyak.

Evaluasi Proyek merupakan suatu materi yang berkenaan dengan bagaimana memanfaatkan dana atau investasi dalam suatu proyek, baik yang berkaitan dengan perbedaan antara proyek yang dilakukan oleh private atau perusahaan swasta yang bertujuan mencari laba maksimum dan proyek-proyek yang dilakukan negara/pemerintah yang bertujuan mencapai hasil yang disebut the social return atau the economic return bagi proyek.

Pengertian Tentang Proyek

Yang dimaksud dengan proyek ialah suatu keseluruhan kegiatan yang menggunakan sumber-sumber agar memperoleh manfaat (benefit), suatu kegiatan dengan sejumlah pengeluaran biaya dengan harapan dapat memperoleh hasil pada waktu yang akan datang, dan yang dapat direncanakan, dibiayai dan dilaksanakan sebagai satu unit. Adapaun kegiatan suatu proyek selalu bertujuan untuk mencapai tujuan (objective) suatu tujuan (starting point) dan suatu titik akhir (ending point), baik biaya maupun hasilnya harus dapat diukur. Adapaun kegiatan-kegiatan yang dimaksud dapat berbentuk investasi baru seperti untuk pembangunan pabrik, pembuatan jalan raya, rel (jalan) kereta api dan segala fasilitasnya, irigasi, bendungan, waduk, perkebunan, pembukaan hutan, pembangunan gedung-gedung untuk pendidikan, rumah sakit, survai atau penelitian dan lain-lain. Suatu produk dapat diselenggarakan oleh pemerintah/negara, badan-badan usaha swasta atau organisasi-organisasi sosial maupun perseorangan. Untuk itu tergantung dari siapa yang berkepentingan akan hasil dari proyek itu. Juga tergantung dari kemampuan dalam pengadaan investasi untuk membiayai proyek tersebut.

#### **Tujuan Analisis Proyek**

Seperti diuraikan dimuka mengapa harus dibangun suatu proyek, karena mempunyai tujuan. Adapun tujuan dari analisis proyek yakni suatu upaya memperbaiki terhadap penilaian investasi. Masalahnya adanya sumber-sumber yang tersedia yang sangat penting bagi pembangunan umumnya sangat terbatas sekali, untuk itulah perlu dilakukan pemilihan antara berbagai macam proyek. Jika terjadi kesalahan di dalam pemilihan di antara proyek akan berakibat terjadi pengorbanan sumber-sumber yang langka itu. Jadi sebelum suatu proyek akan dilaksanakan atau dikerjakan, terlebih dahulu perlu diadakan perhitungan-perhitungan besarnya biaya serta berapa besarnya manfaat (benefit) yang akan dihasilkan dari proyek tersebut. Dengan kata lain kecermatan dalam pemilihan berbagai proyek yang sangat besar mendatangkan manfaat (benefit) sangat diperlukan sekali. Untuk itu diperlukan keahlian di dalam menganalisis suatu perhitungan untuk membangun suatu proyek. Apalagi untuk proyek-proyek yang sangat membutuhkan modal atau investasi yang sangat besar di mana yang terbesar dananya berasal dari pinjaman luar negeri.

### **Aspek-aspek dalam Analisis proyek**

Dari pengalaman pemberian kredit kepada beberapa negara untuk pembiayaan proyek-proyek pembangunan, Bank Dunia mengenal enam aspek persiapan perencanaan proyek yang harus diperhatikan serta dipertimbangkan pada setiap proyek. Aspek-aspek tersebut sebagai berikut

:

#### **Aspek Analisis Teknis**

Yakni yang berkaitan dengan masalah input barang-barang dan jasa. Pada hakikatnya analisis ini merupakan analisis agronomis atau mekanis walaupun semua aspek dari teknologi yang digunakan pada proyek bersangkutan juga harus diperhitungkan.

#### **Aspek Manajerial dan Administrasi**

Yakni suatu proyek yang cukup sulit untuk dinilai, walaupun demikian dua aspek ini mungkin sebagai kunci berhasil atau gagalnya suatu proyek. Aspek ini menyangkut kemampuan staf atau sumber daya manusia yang berada dalam/terkait dalam proyek untuk menjalankan administrasi kegiatan dalam ukuran besar (large scale activities). Adapun keahlian manajemen hanya dapat dievaluasi secara subyektif. Apabila hal ini tidak mendapat perhatian yang khusus, dikhawatirkan akan terjadi pengambilan keputusan yang kurang baik dalam suatu proyek yang direncanakan itu.

#### **Aspek Organisasi**

Berbeda dengan aspek manajerial, dalam aspek organisasi perlu diperhatikan hubungan antara proyek dengan unsur-unsur pemerintah. Apakah wewenang dan tanggung jawab cukup jelas mata rantainya. Bagaimana dengan persiapan-persiapan training. Dapatkah pengeluaran-pengeluaran dilakukan dengan cepat.

#### **Aspek Komersial**

Dalam suatu proyek termasuk usaha-usaha mengenai pemasaran dari hasil-hasil proyek yang bersangkutan dan survai bahan-bahan baku serta jasa-jasa yang dibutuhkan dan melaksanakan proyek. Kondisi-kondisi pasar harus diperhatikan dalam memutuskan

mengenai jadi tidaknya suatu proyek pertanian itu dilaksanakan. Hal ini berkaitan dengan adanya proyek pertanian.

#### Aspek Finansial

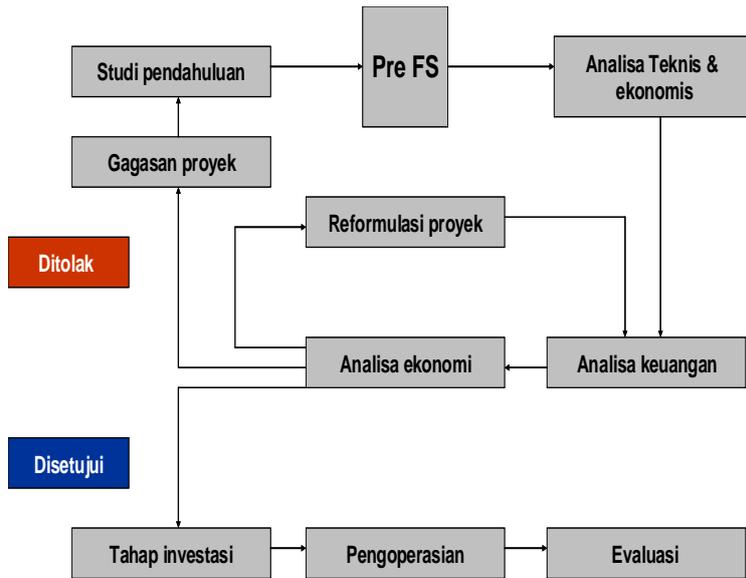
Di sini berkaitan dengan masalah keuntungan pendapatan (revenue earning) yang diperoleh oleh suatu proyek. Hal ini berkaitan dengan masalah apakah proyek yang bersangkutan sanggup menjamin dana yang dibutuhkan dan apakah sanggup membayar kembali serta apakah proyek tersebut bisa menjamin kelangsungan hidupnya secara finansial. Analisis ini hampir sama dengan analisis pihak bank bila akan memberikan pinjaman pada perusahaan yang hendak mendirikan proyek baru. Misalnya yang berkenaan dengan biaya-biaya apa saja yang diperkirakan akan muncul berdasarkan analisis teknis. Bagaimana dengan perkiraan pendapatan yang akan diperoleh dari hasil penjualan yang berdasarkan analisis komersial. Dengan anggapan adanya kemampuan manajerial yang tetap, bagaimana kemungkinannya untuk memperoleh laba.

#### Aspek Analisis Ekonomi

Dalam aspek ini perlu dipertimbangkan apakah proyek tersebut akan banyak membantu dalam pembangunan ekonomi secara keseluruhan. Apakah kontribusinya cukup besar hingga penggunaan sumber-sumber produksi langka yang dibutuhkannya bisa dibenarkan. Adapun penyusutan analisis ekonomi dimulai dengan analisis finansial mengenai perkiraan laba yang mungkin akan diperoleh. Setelah itu baru membuat beberapa penyesuaian untuk menyesuaikan hasilnya menjadi suatu perhitungan sosial (social accounting) untuk perekonomian secara keseluruhan.

## Siklus Proyek

Gambar 4. 1 Siklus Proyek



### Gagasan dan Studi Awal

Suatu proyek dilaksanakan melalui siklus sebagaimana tabel tersebut di muka. Segalanya diawali dengan suatu gagasan, tidak terkecuali suatu proyek pemanfaat sumber energi terbarukan. Gagasan tersebut bisa datang dari berbagai pihak yang merasa berkepentingan, bisa dari pemerintah dalam rangka suatu program sosial ekonomi, swasta dalam rangka memasarkan produk, lembaga penelitian dan pendidikan dalam rangka pengkajian maupun pengenalan, serta lembaga sosial kemasyarakatan dalam rangka pemberdayaan masyarakat, hingga kerja sama diantara pihak-pihak tersebut.

### Pre Feasibility Study (Pre-FS)

Pertama kali tentu dicermati apakah gagasan tersebut logis atau masuk akal. Setelah gagasan suatu investasi diterima, dimana secara umum gagasan tersebut masuk akal, maka

study pendahuluan yang sifatnya kasar dapat dilaksanakan untuk memperoleh indikasi secara teknis dan secara ekonomis maupun finansial akan berhasil, atau dikenal dengan Pre Feasibility Study (Pre-FS). Dalam studi ini biasanya masih menggunakan data sekunder baik yang sifatnya teknis maupun ekonomi.

Teknikal, mencakup hal-hal yang sifatnya teknis dan operasional seperti; teknologi yang akan digunakan, kualifikasi tenaga kerja, serta sumber daya lain yang tersedia, dll. Ekonomi, mencakup study potensi pasar, persaingan pasar, daya beli, dll. Keuangan, mencakup kajian berbagai sumber-sumber pendanaan suatu proyek, instrumen pendanaan yang memungkinkan untuk mengerahkan dana pembiayaan, lembaga keuangan mana yang memiliki interest dengan pembiayaan proyek yang akan dibangun tersebut, dll.

#### Feasibility study

Karena keterbatasan sumber-sumber yang dibutuhkan bagi pelaksanaan aneka jenis proyek, maka sebaiknya sebelum mengambil suatu keputusan untuk melakukan suatu investasi, berbagai unsur perlu dipersiapkan serta diuji. Pengujian khususnya harus melalui serangkaian kegiatan penelaahan yang akhirnya hasilnya akan mencerminkan suatu studi kelayakan (feasibility study) yang akan menjawab apakah suatu rencana pelaksanaan investasi untuk suatu proyek itu "Feasible" atau tidak. Dengan kata lain, apakah rencana investasi tersebut akan menguntungkan. Selain itu studi kelayakan dibutuhkan sebagai permohonan memperoleh kredit dari Bank, baik perbankan luar negeri, lembaga keuangan internasional, maupun perbankan dan lembaga keuangan dalam negeri.

Penyusunan suatu studi kelayakan (feasibility study) merupakan suatu pekerjaan yang cukup kompleks, masalahnya menyangkut kegiatan-kegiatan penelaahan (riset), analisis evaluasi serta membutuhkan suatu pengujian-pengujian (appraisal) berbagai aspek misalnya berupa aspek financial, aspek ekonomi dan aspek nonekonomi.

Bila study pendahuluan memperikan hasil positif, maka dapat ditindak lanjuti dengan penyusunan FS dimana penelitian dilaksanakan secara lebih komprehensif mencakup 3 hal utama:

- Analisa Tekno-ekonomi
- Analisa Keuangan

- Analisa Ekonomi

Dalam analisa yang dilaksanakan diarahkan untuk menjawab hal-hal; keunggulan, kelemahan, peluang dan risiko yang dihadapi, dari hal-hal sebagai berikut:

Tekno-ekonomi

(1) Latar belakang project

- Identitas proyek dan inisiator
- Orientasi proyek – market oriented atau resource oriented
- Domestik atau ekspor
- Dukungan politik – sejalan dengan kebijakan pemerintah

(2) Pasar penjualan dan kapasitas

- Permintaan tahunan
- Volume export atau import
- Kecenderungan pengembangan pasar hasil produksi  
(harga dan kuantitas)
- Program produksi
- Kapasitas produksi

(3) Pasar bahan baku dan input lainnya

- Ketersediaan bahan baku dilokasi
- Kecenderungan pengembangan pasar bahan baku  
(harga dan kuantitas)
- Regulasi bila harus import (kuota, bea masuk, pajak, dll)

(4) Lokasi

- Iklim, sifat tanah terkait konstruksi
- Peraturan terkait lingkungan
- Jarak kepada bahan baku dan pelanggan
- Ketersediaan tenaga kerja
- Sistem transportasi yang tersedia

(5) Teknologi

- Teknologi yang dipilih

- Jenis peralatan dan engineering yang diperlukan
- (6) Organisasi dan badan hukum
- (7) Tenaga kerja yang diperlukan
  - Kualifikasi skilled unskilled
  - Peraturan ketenaga kerjaan
- (8) Skedul pelaksanaan
  - Jangka waktu tahap konstruksi
  - Jangka waktu test run

#### Analisa keuangan

- (1) Inflow dan outflow keuangan
- (2) Sumber pendanaan: modal sendiri dan atau dana pinjaman
- (3) Cashflow dan perencanaan likuiditas
- (4) Proyeksi perhitungan laba rugi dan neraca
- (5) Penyusunan penilaian investasi
- (6) Analisa sensitifitas

#### Analisa Ekonomi

- (1) Kompilasi pengaruh ekonomi
- (2) Revaluasi input dan output sesuai kriteria ekonomi
- (3) Penyusunan penilaian investasi dari sudut ekonomi
- (4) Analisa sensitifitas dari sudut ekonomi

#### Pelaksanaan Proyek

- (1) Desain dan perencanaan
- (2) Pengadaan barang
- (3) Perijinan, patent dan lisensi
- (4) Persiapan dan pengaturan supply bahan baku bila telah beroperasi
- (5) Mempersiapkan tenaga kerja
- (6) Komisioning

#### Tahap Operasional

- (1) Test run
- (2) Analisa hasil percobaan terhadap perencanaan
- (3) Penyesuaian yang harus dilakukan
- (4) Keputusan operasi bisa dilanjutkan atau proyek diperpanjang (keputusan investasi baru)

#### Evaluasi (ex-post evaluation)

- (1) Over atau under estimate biaya atau harga-harga
- (2) Kesalahan<sup>2</sup> dalam menduga pasar dan perkiraan kapasitas
- (3) Problem<sup>2</sup> dalam operasi
- (4) Hal<sup>2</sup> yang belum terpenuhi atau belum dilakukan terkait kontrak, dll

#### **Analisis Finansial dan Analisis Ekonomi**

Biasanya di dalam evaluasi proyek diadakan dua macam analisis, yakni pertama, analisis finansial dan kedua, analisis ekonomi. Di dalam analisis finansial proyek dilihat dari sudut badan atau orang yang menanam modalnya dalam proyek atau yang berkepentingan langsung dalam proyek. Di dalam analisis ini yang perlu diperhatikan ialah hasil dari modal saham (equity capital) yang ditanam di dalam suatu proyek. Adapun hasil dari finansial ini biasanya dikenal dengan istilah "private returns".

Analisis finansial ini sangat penting artinya dalam memperhitungkan rangsangan (incentive) bagi mereka yang ikut serta dalam menyukseskan pelaksanaan suatu proyek. Oleh karena itu ada gunanya untuk melaksanakan suatu proyek yang menguntungkan dilihat dari sudut perkeekonomian secara keseluruhan, jika mereka yang menjalankan kegiatan produksi tidak bertambah keadaannya.

Yang juga harus diperhatikan dalam analisis finansial adalah masalah waktu diperolehnya hasil (returns) dari proyek itu. Negara dapat mengeluarkan investasi untuk suatu proyek yang menguntungkan jika dilihat di dalam jangka waktu dua puluh tahun, karena dalam

jangka waktu lima tahun yang pertama hasil yang diperoleh masih sedikit. Tetapi kita tidak dapat mengharapkan bahwa pihak swasta mau melakukan investasi untuk proyek-proyek tersebut, masalahnya dalam jangka waktu lima tahun pertama pengusaha itu sudah kehabisan modal.

Di dalam analisis ekonomi, suatu proyek dilihat dari sudut pandang perekonomian sebagai keseluruhan. Yang harus diperhatikan di dalam analisis ekonomi yakni hasil total, yang digunakan dalam suatu proyek untuk kepentingan masyarakat atau perekonomian sebagai keseluruhan, tanpa melihat siapa yang menyediakan sumber-sumber tersebut dan tanpa melihat siapa-siapa di dalam masyarakat yang akan menerima hasil-hasil dari proyek tersebut. Hasil ini bisa dikenal dengan istilah "the social return" atau "the economic return" bagi proyek.

Bagi para penentu kebijakan (policy makers) yang penting adalah mengarahkan penggunaan sumber-sumber yang langka itu ke dalam proyek-proyek yang dapat memberikan hasil yang terbanyak bagi perekonomian sebagai keseluruhan, maksudnya yang menghasilkan apa yang dikenal dengan istilah "the social return" atau "the economic return" yang tertinggi.

#### **Perbedaan Penilaian antara Analisis Finansial dan Analisis Ekonomi**

Ada beberapa unsur yang berbeda penilaiannya antara analisis finansial dan analisis ekonomi yakni dalam hal harga, biaya, pembayaran transfer.

#### **Harga**

Di dalam analisis ekonomi selalu digunakan harga bayangan (shadow prices atau accounting prices) yakni harga yang menggambarkan nilai sosial atau nilai ekonomi yang sesungguhnya bagi unsur-unsur biaya maupun hasil, sedangkan di dalam analisis finansial selalu menggunakan harga pasar.

#### **Biaya**

Dalam analisa finansial biaya bagi input suatu proyek adalah suatu pengorbanan yang tujuannya untuk memperoleh hasil atau manfaat sebesar pengeluaran untuk memperoleh

barang dan jasa yang dibutuhkan (cost of acquisition) oleh proyek. Di dalam analisa ekonomi biaya bagi input suatu proyek adalah manfaat yang hilang (the benefit foregone) bagi perekonomian karena input itu digunakan dalam proyek, atau “the opportunity cost” bagi input.

### **Pembayaran transfer**

Di dalam pembayaran transfer menyangkut masalah pajak subsidi, dan bunga.

#### a) Pajak

Di dalam analisis ekonomi pembayaran pajak tidak dikurangi/dikeluarkan dari manfaat proyek. Pajak adalah bagian dari hasil neto proyek yang diserahkan kepada pemerintah untuk digunakan bagi kepentingan masyarakat sebagai keseluruhan. Oleh karena itu pajak tidak dianggap sebagai biaya.

#### b) Subsidi

Subsidi menimbulkan persoalan di dalam perhitungan biaya suatu proyek. Subsidi ini sesungguhnya sebagai suatu pembayaran transfer dari masyarakat kepada proyek, sehingga dalam :

- Analisis financial subsidi mengurangi (menurunkan) biaya proyek, jadi berarti menambah manfaat proyek.
- Dalam analisis ekoninomi harga pasar harus disesuaikan (adjusted) untuk menghilangkan pengaruh subsidi. Jika subsidi ini menurunkan harga barang-barang input, maka besarnya subsidi harus ditambahkan ke harga pasar barang-barang tanpa input tersebut.

#### c) Bunga

Dalam analisis ekonomi bunga modal tidak dipisahkan atau dikurangi dari hasil bruto.

Untuk masalah bunga terdapat perbedaan dalam analisis financial, perbedaan tersebut antara lain :

- Bunga yang dibayarkan kepada orang-orang dari luar yang meminjamkan uangnya kepada proyek. Bunga ini dianggap sebagai biaya (cost) sedangkan pembayaran kembali utang dari luar proyek dikurangi dari hasil bruto sebelum arus manfaat diperoleh.
- Bunga atas modal proyek (inputed or paid to the entry) tidak dianggap sebagai biaya (cost), karena bunga merupakan bagian dari “financial returns” yang diterima oleh modal proyek.

### **Biaya**

Biaya Finansial Proyek yang Tidak Dihitung sebagai Biaya dalam Analisis Ekonomi.

Ada beberapa macam biaya yang di dalam perhitungan manfaat/biaya (benefit/cost) ekonomi tidak dianggap sebagai biaya yakni : sunk costs, penyusutan, pelunasan utang beserta bunganya, studi teknis dan studi kelayakan dan biaya-biaya lain.

#### Sunk Costs

Yakni biaya yang telah dikeluarkan pada waktu lampau untuk suatu proyek, atau biaya yang telah dikeluarkan sebelum diambil keputusan untuk melaksanakan proyek. Biaya ini tidak dihitung di dalam analisis ekonomi proyek dan tidak berpengaruh terhadap pilihan proyek. Yang dihitung sebagai pengeluaran proyek hanya biaya-biaya dalam waktu yang akan datang (future costs) yang akan mendatangkan manfaat di dalam jangka waktu yang akan datang (future benefits).

#### Penyusutan

Sesungguhnya penyusutan/depresiasi merupakan pengalokasian biaya investasi setiap tahun sepanjang umur ekonomik proyek untuk menjamin bahwa biaya modal itu diperhitungkan di dalam laporan/neraca rugi-laba tahunan (profit and loss statement). Walau sesungguhnya penyusutan itu bukan merupakan pengeluaran biaya riil, karena yang betul-betul sebagai pengeluaran biaya yakni investasi semula. Atau apabila investasi proyek itu dibiayai dengan pinjaman terikat, maka yang dianggap sebagai biaya yakni arus pelunasan kredit atau angsurannya beserta bunganya pada waktu kedua arus itu benar-benar dilaksanakan.

#### Pelunasan Utang beserta Bunganya

Apakah pelunasan utang (angsuran) dan bunganya itu dihitung sebagai biaya ekonomik atau bukan, hal itu tergantung pada apakah pelunasan itu merupakan beban sosial atau bukan. Dalam hal ini “pinjaman untuk investasi” ada pengeluaran yang dihitung sebagai biaya (cost) yakni :

##### a) Pada waktu diadakan investasi

Yakni jika dipinjamkan itu tidak terikat pada suatu proyek tertentu, maka dana itu sesungguhnya dapat digunakan untuk melaksanakan berbagai macam proyek. Ini berarti, jika dana itu digunakan untuk investasi dalam suatu proyek. Misalnya proyek irigasi, di mana pada waktu pengeluaran untuk investasi tersebut perekonomian kehilangan kesempatan untuk menggunakan dana-dana tersebut untuk proyek-proyek lain misalnya seharusnya dana itu bisa digunakan untuk proyek jembatan, jalan dan sebagainya, yang dapat memberi manfaat pada perekonomian. Artinya, pada waktu penggunaan pinjaman tersebut untuk proyek irigasi, terdapat manfaat yang hilang (benefit foregone)

##### b) Pada waktu pelunasan pinjaman dan bunganya

Jika suatu proyek dibiayai dari pinjaman/kredit terikat, maka pinjaman/kredit itu hanya diberikan untuk pelaksanaan/suatu proyek tertentu. misalnya proyek untuk rumah sakit. Artinya jika rumah sakit itu tidak jadi dilaksanakan, pinjaman itu akan batal dan tidak dapat digunakan untuk proyek lain. Hal ini berarti bahwa pada waktu dana/sumber itu diinvestasikan pada proyek rumah sakit tersebut, bagi perekonomian tidak ada proyek lain yang dikorbankan (tidak ada “benefit foregone”), sehingga investasi pada proyek rumah sakit itu dilihat dari sudut perekonomian/masyarakat bukan merupakan pengorbanan (cost). Untuk proyek-proyek seperti ini beban sosial/ekonomi baru terasa pada waktu pelunasan pinjaman dan bunganya di kemudian hari dan bukan pada waktu investasi.

#### Engineering dan Feasibility Studies

##### a) Preliminary desain

Sebagai sunkcost sehingga tidak diperhitungkan dalam biaya investasi dari proyek yang sedang dipelajari.

b) Final desain

Final desain dilakukan bila keputusan investasi telah di ambil sehingga pengeluaran untuk pembuatan final desain termasuk biaya proyek.

Biaya Finansial Proyek yang dihitung sebagai Biaya dalam Analisis Ekonomi

#### **Tanah**

**Baik dalam analisa finansial maupun ekonomi biaya pengadaan tanah masuk sebagai biaya. Secara finansial biaya tersebut dinilai sebesar pengeluaran untuk perolehannya, sedang secara ekonomi dilihat dari sudut adanya benefit yang dikorbankan (social opportunity cost). Secara ekonomi diperhitungkan bila ada pengorbanan produksi (production foregone) bila tanah tersebut memberikan hasil.**

Pengadaan peralatan secara finansial masuk sebagai biaya sebesar harga perolehannya, namun secara ekonomi perlu diperhatikan apakah dalam peralatan tersebut terdapat unsur impor yang mana harus diperhitungkan harga bayangan (shadow price foreign exchange).

#### **Bahan**

Pengadaan bahan yang digunakan secara finansial masuk sebagai biaya sebesar harga perolehannya, sedang secara ekonomi harus diperhatikan apakah barang tersebut merupakan tradeable goods yang penilaiannya pada border price (harga diperbatasan).

#### **Biaya Tenaga Kerja**

Secara finansial biaya tersebut dibebankan kedalam analisa sebesar jumlah yang dibayarkan, tetapi secara ekonomi harus dinilai berdasarkan shadow pricenya yaitu social opportunity cost.

#### **Biaya Operasi dan Pemeliharaan**

Termasuk dalam kelompok ini biasanya terdiri dari biaya; gaji personalia, BBM, consumable, barang untuk pemeliharaan, serta biaya keperluan kantor.

#### Bunga Selama Masa Konstruksi

Sama halnya dengan bunga pada umumnya, maka untuk biaya investasi dibebankan pada waktu diadakan investasi. Bunga selama masa konstruksi tidak dihitung sebagai biaya ekonomik (bunga modal itu termasuk dalam discount rate yang digunakan untuk mendiskonto semua biaya dan manfaat sehingga menjadi nilai sekarang/the present value. Tetapi kalau biaya investasi diperhitungkan pada waktu pelunasan pinjaman dan bunga cicilan, maka pembayaran bunga selama konstruksi perlu diperhitungkan dalam biaya ekonomik.

#### Biaya Penggantian (Replacement Cost)

Sifat biaya ini akan memperpanjang umur mesin dan peralatan sehingga termasuk dalam biaya investasi.

#### Contingencies

Biaya ini adalah untuk menampung kesalahan dalam perencanaan seperti salah perhitungan akibat keadaan tidak seperti diperkirakan semula sehingga pekerjaan menjadi lebih sukar, waktu lebih lama, dan lain-lain. Perlu dipahami terkait biaya ini adalah bahwa penyimpangan yang terjadi sebagai akibat inflasi sehubungan kenaikan harga umum. Semua biaya hendaknya diukur atas dasar harga konstan saat perhitungan dilakukan.

#### Intangible Cost

Walaupun biaya tersebut sulit dihitung namun secara ekonomi perlu diperhatikan karena mencerminkan biaya riil.

#### **Manfaat Proyek**

Manfaat proyek dapat dibagi tiga yakni pertama, manfaat langsung, kedua, manfaat tidak langsung, ketiga, manfaat yang tidak dapat dinyatakan dengan jelas (intangible).

### Manfaat Langsung

Manfaat ini dapat berupa kenaikan dalam nilai hasil/output dan penurunan biaya.

- a) Kenaikan dalam nilai hasil/output dapat disebabkan oleh kenaikan dalam produk fisik, perbaikan mutu produk (quality improvement), perubahan dalam lokasi dan waktu penjualan dan perubahan dalam bentuk grading and processing.
- b) Penurunan biaya dapat berupa keuntungan dari mekanisme, penurunan biaya pengangkutan dan penurunan atau penghindaran kerugian.

### Manfaat tidak Langsung atau Manfaat Sekunder Proyek

lalah manfaat yang timbul atau dirasakan di luar proyek karena adanya realisasi suatu proyek. Ada tiga macam manfaat tidak langsung/sekunder yakni manfaat yang disebabkan (induced) oleh adanya proyek yang biasa disebut efek multiplier dari proyek, dan manfaat yang disebabkan oleh adanya keunggulan skala besar (economies of scale), serta manfaat yang muncul karena adanya pengaruh sekunder dinamik (dynamic secondary effects), misalnya berupa perubahan di dalam produktivitas tenaga kerja yang disebabkan oleh adanya perbaikan kesehatan atau pendidikan (health and education).

### Manfaat Yang Tidak Dapat Dinyatakan Dengan Jelas (Intangible Benefits)

Yakni manfaat yang sulit dinilai dengan uang misalnya perbaikan lingkungan hidup, perbaikan pemandangan karena adanya tanaman-tanaman dan taman yang indah, adanya perbaikan distribusi pendapatan, integrasi nasional serta pertahanan nasional dan sebagainya.

### Inflasi

Manfaat dan biaya proyek dinyatakan di dalam ukuran uang. Kalau terjadi inflasi, biasanya diikuti kenaikan harga input/biaya, sehingga inflasi menyebabkan manfaat neto proyek nampaknya makin besar jika diukur atas dasar harga yang berlaku. Oleh karena itu di dalam analisis proyek baik arus manfaat maupun arus biaya harus diukur berdasarkan harga konstan pada tahun pengambilan keputusan tentang dilaksanakan atau tidaknya suatu

proyek. Hanya apabila diperkirakan ada unsur manfaat atau biaya yang perkembangan harganya akan menyimpang dari laju perkembangan harga pada umumnya, maka hal ini perlu diperhitungkan.

Tabel 4. 1 Harga Konstan Di Inflasi

**Harga konstan di inflasi**

Tahun	Proyek A	Proyek B	Inflasi	Proyek A	Proyek B
a	b	c	d	b	c
			20%		
0	(10.00)	(10.00)	1.00	(10.00)	(10.00)
1	15.00	5.00	1.20	18.00	6.00
2		10.00	1.44	-	14.40
	5.00	5.00		8.00	10.40

$$\text{Inflasi} = (1 + i)^n$$

Dimana  $i$  = tingkat inflasi (%)

$n$  = tahun ke  $n$

Tabel 4. 2 Harga konstan di deflasi

**Harga konstan di deflasi**

Tahun	Proyek A	Proyek B	Deflasi	Proyek A	Proyek B
a	b	c	d	b	c
			20%		
0	(10.00)	(10.00)	1.00	(10.00)	(10.00)
1	18.00	6.00	0.83	15.00	5.00
2	-	14.40	0.69	-	10.00
	8.00	10.40		5.00	5.00

$$\text{Deflasi} = \frac{1}{(1 + i)^n}$$

**Diamana**  $i$  = tingkat inflasi (%)  
 $n$  = tahun ke  $n$

Sekiranya data benefit dan cost yang akan dianalisa ternyata telah di inflasi, maka discount rate-nya harus di deflasi terlebih dahulu untuk memperoleh net present value benefit cost.

#### **Proyek Investasi**

Suatu proyek merupakan suatu rangkaian kegiatan investasi dengan menggunakan modal/sumber-sumber alam/faktor produksi, diharapkan memperoleh manfaat (benefit/profit) setelah suatu jangka tertentu. Adapun yang dimaksudkan dengan investasi di sini ialah pengeluaran-pengeluaran yang dilakukan oleh investor (pemerintah maupun swasta) untuk pembelian barang-barang/jasa yang dibutuhkan dalam rangka investasi.

Faktor atau ukuran yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan untuk melakukan investasi adalah:

1. Marginal efficiency of capital (MEC)
2. Keuntungan absolute (total profit)
3. Ranking by inspection
4. Payback period

#### **Marginal Efficiency of Capital (MEC)**

Keputusan apakah suatu investasi akan dilaksanakan atau tidak, tergantung pada/ditentukan oleh dua hal yakni; keuntungan yang diharapkan (MEC dinyatakan dalam persen per satuan waktu) di satu pihak dan ongkos penggunaan dana atau tingkat bunga (interest rate) di pihak lain, dengan demikian:

- Kalau MEC lebih besar daripada tingkat bunga (i), maka investasi dilaksanakan
- Jika MEC lebih kecil daripada tingkat bunga (i), investasi tidak dilakukan/ditolak.
- Jika MEC sama dengan tingkat bunga (i), investasi bisa dilakukan atau tidak dilakukan, tergantung pada pemilik modal untuk memutuskannya, karena pada tingkat ini terjadi apa yang dinamakan break event point.

Jika terdapat proyek A, B, C dengan jumlah investasi dan MEC seperti pada table 4.3

Macam Proyek	Nilai Investasi (jutaan Rp.)	MEC
A	15	9%
B	25	8%
C	20	7%

Kalau tingkat bunga 8,5% per tahun, hanya Proyek A yang dapat dilaksanakan karena MEC-nya lebih besar daripada tingkat suku bunga setahun 8,5% pertahun. Sedangkan proyek B MEC-nya 8% pertahun, jadi tidak dilaksanakan, begitu juga proyek C besar MEC-nya hanya 7% lebih kecil daripada suku bunga sebesar 8,5% pertahun, tidak dilaksanakan.

#### Keuntungan Absolut (Total Profit)

Perhitungan pendahuluan diarahkan pada total profit, dalam pengertian keuntungan absolute, dengan rumusnya sebagai berikut:

$$\text{Total profit} = \text{TR} - \text{TC}.$$

TR = Total revenue (jumlah seluruh pendapatan)

TC = Total cost (jumlah biaya)

Jika jumlah angka menghasilkan angka positif (+), maka investasi dinyatakan "go", kalau negatif (-), maka investasinya dinyatakan "no go" (reject/ditolak). Tetapi perhitungan atas dasar total profit (absolut) belum dapat dijadikan sebagai dasar pertimbangan untuk

memutuskan apakah suatu proyek go atau no go. Karena kita harus memperhitungkan tingkat inflasi (dinyatakan dalam %) pada tahun yang bersangkutan. Karenanya setelah kita memperoleh hasil perhitungan yang didasarkan pada total profit berada di atas tingkat inflasi (inflation rate) pada tahun itu atau di bawah inflation rate (%) maka kita harus menghitung tingkat keuntungan (perhitungan rate dalam %), dengan rumus total profit) dibagi total cost (TC) dikalikan 100% atau:

$$\text{Profit rate} = \text{TR} / \text{TC} \times 100\%$$

Adakalanya suatu investasi setelah dihitung/dianalisis berdasarkan total profit, dinyatakan feasible (go), tetapi jika berdasarkan perhitungan analisis profit rate karena berada di bawah atau lebih kecil secara ekonomis, jadi tidak feasible (no go).

Proyek	Total Revenue	Total Cost	Total Profit	Profit rate	Inflasi
A	100.00	95.00	5.00	5%	10%
B	10.00	8.50	1.50	18%	10%

Seperti terlihat pada data diatas, proyek A profit rate-nya 5% sementara proyek B profit rate-nya 18%, dengan tingkat inflasi 10% maka proyek A "no go" dan proyek B "go".

#### Ranking by Inspection

Dalam menilai investasi cara ini, maka untuk suatu proyek hanya dilihat dari biaya investasi dan aliran net benefit (selisih antara gross benefit dengan operation maintenance cost).

#### Payback Period

Payback periode merupakan penilaian investasi suatu proyek yang didasarkan pada pelunasan biaya investasi oleh net benefit dari proyek (jangka waktu tercapainya net benefit menyamai biaya investasi).

Tabel 4. 4 Payback period

Tahun	Investasi	O&M	Total cost	Benefit	Net Benefit-O&M	Payback
1	20.00	5.00	25.00	10.00	5.00	5.00
2		5.00	5.00	17.00	12.00	17.00
3		5.00	5.00	11.50	6.50	23.50

Suatu proyek pada tahun pertama dikeluarkan untuk investment cost sebesar Rp 20 juta, net benefit tahun pertama Rp 5 juta, net benefit tahun kedua Rp 12 juta, net benefit tahun ketiga Rp 6,5 juta. Dari masa tiga tahun itu jumlah net benefit sebesar Rp 23,5 juta. Untuk menyamakan jumlah benefit = investment cost pada tahun kedua jumlah net benefit baru mencapai Rp 17 juta, supaya sama dengan Rp. 20 juta, masih dibutuhkan Rp 3 juta lagi. Oleh karena pada tanggal ketiga masih diperoleh net benefit Rp 6,5 juta, maka untuk mencapai nilai Rp 20 juta net benefit harus diambil sebanyak Rp 3 juta dari masa selama tahun ketiga yakni dari net benefit Rp 6,5 juta. Dengan demikian payback period untuk proyek ini yakni dua tahun (2 tahun) ditambah (Rp 3 juta/Rp 6,5 juta) = 2 tahun + 0,4615 tahun atau dibulatkan menjadi 0,5 tahun, jadi payback periode-nya dua tahun ditambah setengah tahun atau 2,5 tahun.

#### 4.1 Time Value of Money

##### Time Preference dan Produktifitas

Inti evaluasi suatu proyek ialah menentukan adalah menentukan seberapa jauh investasi dalam proyek tersebut memberikan keuntungan (benefit) yang lebih besar dari pengorbanannya (biaya). Persoalannya adalah bagaimana membandingkan pengorbanan sekarang (investasi) dengan benefit yang akan diterima beberapa tahun mendatang.

Secara intuitif kita sadari bahwa suatu sumber yang tersedia dinikmati saat ini lebih disenangi dari pada sumber tersebut baru dinikmati satu tahun kemudian (time preference). Pada sisi lain kita juga menyadari bila sumber tersebut diproduktifkan kemungkinan jumlah yang akan dinikmati satu tahun kemudian lebih besar.

Formatted: Font: Calibri, 12 pt, Not Italic



### Bunga (Interest)

Tarik menarik kedua unsur yaitu time preference dengan produktifitas di pasar modal, dimana penawaran merupakan tabungan masyarakat, sedang permintaan berasal dari pihak-pihak yang mencari keuntungan melalui penanaman modal, terciptalah harga yang tercipta akibat hubungan penawaran dan permintaan modal tersebut. Harga dana modal tersebut dikenal dengan bunga. Bunga mencerminkan keseimbangan antara Marginal Time Preference dengan Marginal Efficiency of Capital.

Adanya tingkat bunga memungkinkan kita membandingkan arus biaya dengan arus benefit yang diterapkan melalui proses pengurangan nilai masa mendatang (discounting). Maka tingkat harga tersebut merupakan factor yang menjadi alat ukur penurunan nilai uang dimasa mendatang.

### Bunga Berbunga (Compound Interest)

Bunga berbunga untuk menghitung hasil bunga dimasa mendatang.

Misal bunga 12% pertahun untuk pinjaman sebesar Rp 100.000,-, maka nilai dana pada:

Tahun 1:      Rp 100.000 + (12% X Rp 100000,-), atau  
                  Rp 100.000 X (1 + 12%)  
                  Rp 112.000

### Discount Factor

Disebut discount factor, yaitu bilangan kurang dari 1 untuk mengurangi nilai dimasa mendatang (F) supaya menjadi nilai sekarang (P)

$$\frac{1}{(1+i)^n}$$

Tabel 4. 5 Contoh Tabel Discount Factor

**Contoh Tabel Discount Factor**

Tahun (n)	Disc. Factor (i)				
	8%	10%	12%	14%	16%
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1	0.926	0.909	0.893	0.877	0.862
2	0.857	0.826	0.797	0.769	0.743
3	0.794	0.751	0.712	0.675	0.641
4	0.735	0.683	0.636	0.592	0.552
5	0.681	0.621	0.567	0.519	0.476

Discount factor :  $\frac{1}{(1+i)^n}$

Seringkali diketahui adalah Future amount (F) yaitu besarnya nilai diwaktu yang akan datang, sehingga untuk mencari nilai sekarang (Present Value) dapat dihitung sbb:

$$P = \frac{F}{(1+i)^n} = F \times \frac{1}{(1+i)^n}$$

Dimana:

F: nilai dimasa mendatang (future value)

P: nilai sekarang (Present Value)

i: Suku bunga

n: jangka waktu

#### Anuitas (Annuity)

Annuity adalah suatu jumlah yang dibayar atau diterima secara berturut-turut pada beberapa periode dalam jumlah yang sama terdiri dari pembayaran bunga dan angsuran pokok.

- Jumlahnya sama
- Panjangnya periode antar angsuran sama
- Pembayaran pertama dilakukan pada akhir periode pertama

$$A = P \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Dimana:

A: Anuitas atau angsuran

P: Present Value

i: Suku bunga

n: Jangka waktu

#### 4.2. KRITERIA INVESTASI

Dalam analisa suatu proyek ada beberapa kriteria untuk menentukan apakah suatu usulan proyek diterima atau ditolak, atau untuk menentukan pilihan diantara berbagai usulan proyek. Dalam suatu kriteria untuk menilai besarnya suatu manfaat atau biaya (cost) dinyatakan dalam nilai sekarang (Present Value).

##### Gross Benefit & Cost Ratio

Gross Benefit & Cost Ratio adalah untuk mengetahui seberapa besar keuntungan yang diperoleh sehubungan dengan investasi yang dilakukan. Bila ratio tersebut lebih besar dari 0 (nol) maka benefit yang diperoleh lebih besar dari biayanya atau dapat dikatakan menguntungkan.

Tabel 4. 6

Gross Benefit-Cost

Gross Benefit - Cost					
Tahun	Disc. Factor	Gross Cost	Gross Benefit	PV gross Cost	PV gross Benefit
	8%				
0	1.000	-	-	-	-
1	0.926	400	-	370.4	-
2	0.857	600	-	514.4	-
3	0.794	100	505	79.4	400.9
4	0.735	100	505	73.5	371.2
5	0.681	100	505	68.1	343.7
<b>Jumlah</b>		<b>1,300</b>	<b>1,515</b>	<b>1,106</b>	<b>1,116</b>

$$\text{Gross B/C ratio} : \frac{1,116}{1,106} = 1.0091 > 1$$

$$\text{Gross B/C ratio} : \frac{\text{PV Gross Benefit}}{\text{PV Gross Cost}}$$

#### Net Benefit Cost Ratio

Perbedaannya dengan Gross Benefit Ratio sebelumnya adalah bahwa dilakukan perhitungan nettonya, bila selisih antara benefit dengan cost negative berarti yang terjadi adalah net cost, sebaliknya bila selisih positif berarti terjadi net benefit.

Tabel 4. 7

Net Benefit-Cost

Net Benefit - Cost						
Tahun	Disc. Factor	Gross Cost	Gross Benefit	Netto	PV Net cost	PV Net benefit
	8%					
0	1.000	-	-	-	-	-
1	0.926	400	-	(400.0)	370.4	
2	0.857	600	-	(600.0)	514.4	
3	0.794	100	505	405.0		400.9
4	0.735	100	505	405.0		371.2
5	0.681	100	505	405.0		343.7
<b>Jumlah</b>		<b>1,300</b>	<b>1,515</b>	<b>215</b>	<b>885</b>	<b>1,116</b>

$$\text{Nett B/C ratio} : \frac{1,116}{885} = 1.2611 > 1$$

$$\text{Nett B/C ratio} : \frac{\text{PV Net Benefit}}{\text{PV Net Cost}}$$

### Profitability Ratio

Untuk mengetahui besarnya return bagi modal investasi yang ditanam didalam proyek .  
Besarnya net return adalah gross benefit dikurangi Biaya O&M. Perbandingan ini dianggap mengukur rentabilitas.

Tabel 4. 8 Profitability Ratio

Profitability Ratio							
Tahun	Disc. Factor	O & M	Gross Benefit	Gross B-O&M	Investasi	PV Gross B-O&M	PV Investasi
	8%						
0	1.000	-		-		-	-
1	0.926	-	-	-	400	-	370
2	0.857	-	-	-	600	-	514
3	0.794	100	505	405.0		322	-
4	0.735	100	505	405.0		298	-
5	0.681	100	505	405.0		276	-
<b>Jumlah</b>		<b>300</b>	<b>1,515</b>	<b>1,215</b>	<b>1,000</b>	<b>895</b>	<b>885</b>

$$\text{Profitability ratio} : \frac{895}{885} = 1.0114 > 1$$
$$\text{Profitability ratio} : \frac{\text{PV Gross B-O\&M}}{\text{PV Investasi}}$$

### Net Present Value (NPV)

Tujuan investasi adalah untuk memperoleh hasil netto (net benefit) secara maksimum yang dapat dicapai melalui pengorbanan sumber-sumber yang dimiliki. Sehingga NPV pada dasarnya adalah selisih antara Present Value Benefit dengan Present Value Cost.

Tabel 4. 9

Net Present Value

Net Present Value							
Tahun	Disc. Factor	Biaya			Benefit	Net B-C	PV Net B-C
		Investasi	O & M	Jumlah			
	8%						
0	1.000		-	-		-	-
1	0.926	400	-	400	-	(400)	(370)
2	0.857	600	-	600	-	(600)	(514)
3	0.794		100	100	505	405	322
4	0.735		100	100	505	405	298
5	0.681		100	100	505	405	276
<b>Jumlah</b>		<b>1,000</b>	<b>300</b>	<b>1,300</b>	<b>1,515</b>	<b>215</b>	<b>10</b>

Net Present Value = Present Value Benefit - Present Value Cost

NPV =

$$\left[ \frac{B_1}{(1+i)^1} + \frac{B_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{B_n}{(1+i)^n} \right] - \left[ \frac{C_1}{(1+i)^1} + \frac{C_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{C_n}{(1+i)^n} \right]$$

$$\sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t}$$

Dimana:

- Bt benefit
- Ct cost
- n jangka waktu
- i discount rate

Apabila analisa melalui Benefit Cost Ratio dimuka menghasilkan nilai lebih besar dari 0 (nol) maka NPV lebih besar dari 0 (nol). Suatu keputusan investasi dapat dilaksanakan bila NPV suatu proyek lebih besar dari 0 (nol).

#### Internal Rate of Return (IRR)

IRR adalah Nilai Discount Rate (i) yang membuat NPV dari suatu investasi sama dengan 0 (nol).

$$\sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+IRR)^t}$$

IRR dapat dianggap sebagai tingkat keuntungan atas investasi bersih dalam suatu proyek, asal setiap benefit bersih yang diwujudkan oleh  $B_t - C_t$  hasilnya positif dimana secara otomatis ditanam kembali dalam tahun berikutnya dan mendapatkan tingkat keuntungan (i) yang sama dengan tahun tahun sebelumnya.

$$\sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+IRR)^t}$$

Biasanya IRR tidak dapat dipecahkan secara langsung melainkan melalui coba-coba (guess) besarnya dicount rate, yang kira-kira hasilnya akan mendekati  $NPV = 0$ . Misal dengan dicount rate 8% menghasilkan NPV positif, maka discount rate dugaan harus lebih besar dari 8%. Demikian sebaliknya bila  $NPV =$  negatif, maka discount rate dugaan harus lebih kecil dari 8% tersebut.

Tabel 4. 10 Internal Rate Of Return (IRR)

Internal Rate of Return (IRR)							
Tahun	Net B-C	Disc. Factor	NPV1 at DF	Disc. Factor	NPV2 at DF	Disc. Factor	NPV2 at DF
		8%	8%	12%	12%	8.52%	8.52%
0	-	1.000	-	1.000	-	1.000	-
1	(400)	0.926	(370)	0.893	(357)	0.921	(369)
2	(600)	0.857	(514)	0.797	(478)	0.849	(509)
3	405	0.794	322	0.712	288	0.782	317
4	405	0.735	298	0.636	257	0.721	292
5	405	0.681	276	0.567	230	0.664	269
<b>Jumlah</b>	<b>215</b>		<b>10</b>		<b>(60)</b>		<b>(0.1)</b>

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} (i_2 - i_1)$$

Manual:  $\longrightarrow$  
$$IRR = 8\% + \frac{10}{10 - (-60)} (12\% - 8\%)$$

Excel:  $=IRR(\text{Net B-C 0:Net B-C 5,Disc.rate}) = 8,52\%$

$$IRR = 8\% + \frac{10}{70} \times 4\%$$

$$IRR = 8\% + 0,57\%$$

$$IRR = 8,57\%$$

Jika nilai IRR sama dengan discount rate maka nilai NPV sama dengan 0 (nol), jika nilai IRR < discount rate berarti NPV < 0, dan jika IRR > discount rate berarti NPV > 0. oleh karena itu suatu nilai IRR > discount rate berarti proyek menguntungkan dan dapat disimpulkan investasi dapat dilaksanakan.

#### Inflasi Harga Umum terhadap Investment Criteria

Sesuai dengan yang telah diutarakan dalam investment criteria, dimana banyak menekankan bahwa semua benefit maupun biaya yang dibandingkan dalam rangka menghitung suatu investment criteria harus bersifat riil, maksudnya harus dinilai atas dasar suatu tingkat harga umum yang tetap. Sebab dalam menghitung NPV misalnya, kita menyambung nilai dari beberapa tahun yang dinyatakan dalam uang untuk mendapatkan suatu nilai total. Andaikata dalam nilai-nilai yang tersambung dalam wadah NPV mengandung unsur inflasi umum, maka uang tidak lagi memenuhi syarat sebagai dasar perbandingan antara benefit dan cost.

Tabel 4. 11 Harga Telah Di Inflasi

Harga telah di inflasi					
Tahun	Proyek A	Proyek B	Inflasi	Proyek A	Proyek B
a	b	c	d	e	f
			20%		
0	(10.00)	(10.00)	1.00	(10.00)	(10.00)
1	10.00	5.00	1.20	12.00	6.00
2	5	10.00	1.44	7.20	14.40
	5.00	5.00		9.20	10.40

Maka bila nilai tersebut di-discount untuk memperoleh NPV akan sebagai berikut:

Tabel 4. 12 Discount Factor Tidak Diperhitungkan Inflasi

Discount factor tidak di perhitungkan inflasi					
Tahun	Proyek A	Proyek B	Disc.rate	Proyek A	Proyek B
a	b	c	d	e	f
			15%		
0	(10.00)	(10.00)	1.00	(10.00)	(10.00)
1	10.00	5.00	0.87	8.70	4.35
2	5.00	10.00	0.76	3.78	7.56
	5.00	5.00		2.48	1.91

Tabel 4. 13

Discount Factor Di Perhitungkan Inflasi

Discount factor di perhitungkan inflasi					
Tahun	Proyek A	Proyek B	Disc.rate	Proyek A	Proyek B
a	b	c	d	e	f
			15%		
0	(10.00)	(10.00)	1.00	(10.00)	(10.00)
1	12.00	6.00	0.87	10.43	5.22
2	7.20	14.40	0.76	5.44	10.89
	9.20	10.40		5.88	6.11

Seperti terlihat pada tabel diatas, menggunakan discount rate 15% proyek A memberikan NPV 2,48 sementara proyek B NPV sebesar 1,91, sehingga dapat disimpulkan bahwa proyek A lebih menguntungkan dibanding B. setelah diperhitungkan unsur inflasi umum sebagai mana terlihat pada kolom e dan f pada tabel diatas, ternyata hasilnya berbeda yaitu proyek B memberikan NPV yang lebih besar yaitu 6.11, sementara proyek A sebesar 5,88. Nilai yang ditunjukkan oleh NPV setelah dimasukkan unsur inflasi menjadi tidak riil karena yang ditunjukkan adalah maksimalisasi nilai sekarang atas arus daya beli, atau tuntutan akan barang dan jasa riil.

Sekiranya nilai nilai yang dicontohkan tersebut diatas berupa produk beras, maka proyek A lebih menguntungkan karena dapat menghasilkan beras yang lebih cepat yaitu pada tahun ke 1, sedang proyek B baru dicapai pada tahun ke 2. Walaupun harga beras juga mengalami inflasi, seharusnya kesimpulan yang diperoleh setelah adanya inflasi memberikan kesimpulan yang sama.

Dari uraian tersebut, agar supaya semua nilai dalam rangka analisa benefit cost dinyatakan atas dasar suatu tingkat harga umum yang tetap. Sehingga bila nilai tersebut mengandung inflasi, maka harus di-deflate sebelum di-discount menjadi present value.

Discount factor di perhitungkan inflasi					
Tahun	Proyek A	Proyek B	Disc.rate	Proyek A	Proyek B
a	b	c	d	e	f
			38%		
0	(10.00)	(10.00)	1.00	(10.00)	(10.00)
1	12.00	6.00	0.72	8.70	4.35
2	7.20	14.40	0.53	3.78	7.56
	9.20	10.40		2.48	1.91

$$\text{Deflasi discount factor} = \left[ \frac{1 + \text{Disc fact (15\%)}}{1 + \text{Inflation rate (20\%)}} \right] - 1 =$$

#### Biaya Penyusutan terhadap Investment Criteria

Biaya penyusutan tidak dimasukkan sebagai biaya dalam arus biaya untuk tujuan analisa benefit cost, hal ini disebabkan bahwa penyusutan sesungguhnya adalah alokasi biaya atas investasi yang telah dilakukan.

Benefit Cost				
Tahun	Benefit	Cost	Keterangan	Net BC
0		1,000	Investasi	(1,000)
1	1,500			1,500
Tahun	Net BC	Disc. F	NPV	
		15%		
0	(1,000)	1.0000	(1,000)	
1	1,500	0.8696	1,304	
	500		304	
IRR	50%			

Tahun	Benefit	Cost	Keterangan	Net BC
0		1,000	B. Investasi	(1,000)
1	1,500	1,000	B. Penyusutan	500

Tahun	Net BC	Disc. F	NPV
		15%	
0	(1,000)	1.0000	(1,000)
1	500	0.8696	435
	(500)		(565)

IRR negative

Dengan demikian, jika biaya penyusutan dimasukkan dalam arus biaya dalam analisa benefit cost, maka akan terjadi dua kali (double counting) terhadap biaya investasi dalam arus biaya.

#### 4.3. Ketidak Pastian, Kepekaan, dan Risiko

##### Ketidakpastian

Dalam analisa proyek banyak diperlukan peramalan (forecasting), maka perhitungan benefit dan biaya juga mengandung ketidak pastian. Biaya konstruksi dapat dipengaruhi oleh cuaca, umur investasi menjadi lebih pendek karena adanya penemuan-penemuan baru yang lebih efisien, permintaan akan berubah karena adanya barang substitusi yang lebih murah dan praktis, dll.

Ada dua metode dasar untuk menyatakan ketidak pastian dalam suatu perkiraan, yaitu:

##### Metode sederhana

Metode sederhana yaitu dengan memberikan beberapa nilai kepada beberapa faktor penting atau pokok kemudian dihitung rate of return untuk nilai-nilai yang berbeda. Misal kurs valuta asing tidak pasti, maka dibuatlah perhitungan dengan valuta asing yang berbeda. Hal yang sama dapat juga diterapkan pada ramalan lalu lintas, perkiraan biaya, manfaat dan sebagainya.

##### Metode probabilitas

Metode ini lebih sukar dan didasarkan pada analisa probabilitas berbagai ramalan, dan hasil akhirnya akan menyatakan probabilitas untuk mencapai rate of return tertentu. Contohnya tidak mungkin mengetahui banyaknya turun hujan dalam satu bulan tertentu, tetapi catatan mengenai turun hujan diwaktu lampau menunjukkan probabilitas tentang berbagai tingkat turunnya hujan.

#### **Kepekaan**

Analisa kepekaan (sensitivity analysis) membantu menemukan unsur yang sangat menentukan hasil proyek (Critical Element). Analisa ini dapat membantu mengarahkan perhatian orang pada variabel penting untuk memperbaiki perkiraan dan memperkecil ketidak pastian. Misal dalam tenaga surya akan sangat peka terhadap radiasi matahari, sehingga ditentukan berbagai kemungkinan radiasi yang akan dicapai.

#### **Analisa Risiko (Risk Analysis)**

Analisa risiko memerlukan spesifikasi yang jelas tentang kemungkinan-kemungkinan (probability) terjadinya berbagai nilai bagi setiap variable yang tercakup dalam analisa proyek, dan seberapa jauh perubahan dalam satu variabel berhubungan dengan variabel lain.

### **4.4. Penyesuaian Harga Finansial dengan Nilai Ekonomi**

#### **Harga Bayangan (Shadow Prices)**

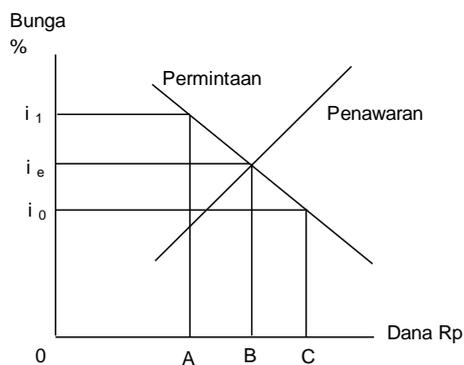
Di dalam pandangan ekonom bahwa harga pasar sering tidak mencerminkan harga sosial diantaranya disebabkan oleh kebijakan-kebijakan pemerintah berupa pajak, subsidi, serta tata niaga. Sehingga misal suatu proyek dimana menggunakan produk yang didalam terdapat unsur pajak, maka nilai proyek tersebut menjadi tidak riil mencerminkan harga sosialnya barang-barang yang digunakan untuk proyek tersebut. Pajak bukan biaya riil terhadap produk yang digunakan karena tidak ada tambahan riil yang dikorbankan dalam

proses tersebut. Jenis unsur atau sarana yang shadow price-nya sering dipakai, adalah; modal, tenaga kerja tidak terdidik, dan devisa.

### Modal

Penyebab terjadinya ketidak seimbangan di pasar terhadap modal karena pemerintah beranggapan bahwa salah satu hambatan pertumbuhan ekonomi adalah kekurangan investasi yang disebabkan tingginya biaya dana modal (tingkat suku bunga). Dimana salah satu upaya untuk menggairahkan masyarakat menabung adalah dengan menawarkan suku bunga yang; dapat menutupi kemerosotan nilai uang terhadap inflasi, dan mengimbangi time preference yaitu keadaan dimana orang lebih senang menikmati pendapatannya sekarang dari pada menanggung sampai kemudian hari.

Gambar 4. 2 Grafik Dana Dan Bunga

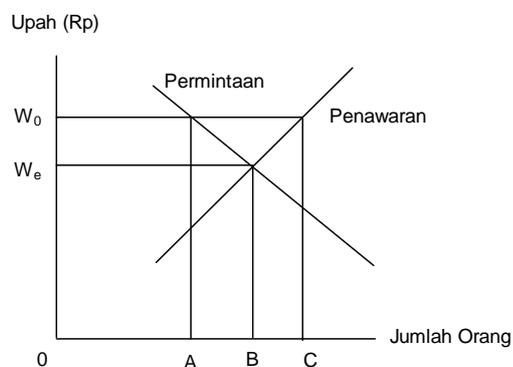


Misal pemerintah mengatur suku bunga tabungan nasabah sehingga bunga berada pada  $i_0$  yang lebih rendah dari tingkat keseimbangan  $i_e$ . Pada tingkat  $i_0$  penanam modal menghendaki dana sebanyak OC sedang para penabung hanya bersedia menyediakan OA, karena dana terbatas maka menekan naik harga dana menjadi  $i_1$ . Atas keadaan tersebut maka harga pasar tidak mencerminkan harga sosial yang secara riil terjadi.

### Tenaga Kerja Tidak Terdidik (Unskilled Labour)

Karena satu dan lain hal tingkat upah yang berlaku dipasar tenaga kerja  $W_0$  melebihi tingkat upah seimbang  $W_e$  dimana majikan bersedia menawarkan kesempatan kerja dalam jumlah yang lebih banyak tenaga kerja yang bersedia bekerja pada tingkat upah  $W_e$  itu.

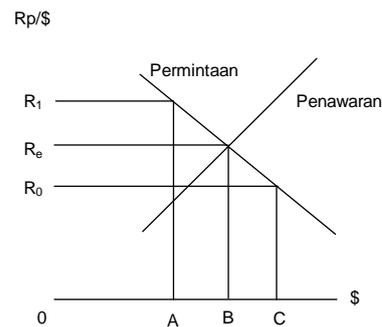
Gambar 4. 3 Grafik Jumlah Orang Dan Upah



Hal tersebut terjadi karena kebijakan pemerintah mengenai pembatasan tingkat upah minimum yang dirasakan bagi majikan berada diatas kemampuannya, sehingga para majikan banyak beralih kepada pemanfaatan teknologi padat modal, sehingga permintaan tenaga kerja menurun. Pada tingkat  $W_e$  tenaga kerja diserap  $OB$  dengan ketentuan upah maka tenaga kerja yang terserap  $OA$ , dengan demikian pengangguran bertambah sebesar  $AB$ . Pengangguran pada tenaga kerja tidak terdidik mengindikasikan bahwa tingkat upah di pasar tenaga kerja lebih tinggi dari tingkat upah seimbang. Atas keadaan tersebut maka harga pasar tidak mencerminkan harga sosial yang secara riil terjadi.

## Devisa

Gambar 4. 4 Grafik Permintaan Dan Penawaran



Sering dipertahankan suatu kurs tukar mata uang resmi misal rupiah per dollar AS yang biasanya lebih rendah dari kurs pasar agar untuk menyeimbangkan kebutuhan devisa.

Pada nilai tukar resmi  $R_0$  permintaan sebanyak  $OC$  tetapi penawaran hanya  $OA$ . Agar tidak terjadi defisit dalam neraca pembayaran, maka pemerintah melakukan penjatahan persediaan devisa sebanyak  $OA$ , akibatnya harga didalam negeri naik ke  $R_1$ . hal itu dilakukan dengan pembatasan impor dan penetapan bea masuk.

Tindakan tersebut membuat produsen substitusi impor dapat memanfaatkan suatu nilai tukar efektif yakni nilai tukar proteksi efektif yang mereka peroleh terhadap impor barang yang besarnya  $R_1$ , sehingga besarnya biaya berupa sumber-sumber dalam negeri untuk menghemat devisa dalam bidang tersebut menjadi  $R_1$  juga. Disisi lain biaya untuk mendapatkan devisa lewat ekspor ditekan pada  $R_0$ .

Perhitungan Shadow Exchange Rate (SER) adalah ebagai berikut:

$$\text{SER} = \text{OER} \times (1 + \text{Foreign Exc Premium})$$

Dimana:

- Nilai tukar resmi official exchange rate – OER
- Foreign exchange premium, yaitu suatu kesanggupan para pemakai barang yang diperdagangkan untuk membayar sejumlah tambahan terhadap nilai valuta asing yang dibutuhkan untuk membeli barang.

Atas keadaan tersebut maka harga pasar tidak mencerminkan harga sosial yang secara riil terjadi.

Penyesuaian-penyesuaian untuk mengkonversi harga finansial menjadi nilai ekonomi meliputi hal-hal sebagai berikut:

- Penyesuaian pembayaran transfer,
- Penyesuaian ketimpangan harga barang-barang yang diperdagangkan,
- Penyesuaian ketimpangan harga barang-barang yang tidak diperdagangkan.
- 

#### **Penyesuaian Harga**

##### **Penyesuaian Pembayaran Transfer**

Langkah pertama dalam penyesuaian harga finansial dengan nilai ekonomi adalah menghilangkan pembayaran-pembayaran yang tidak menggunakan sumber-sumber riil, melainkan hanya berupa transfer, melainkan hanya berupa transfer terhadap sumber-sumber riil dari seseorang dalam masyarakat kepada orang lain.

Pembayaran transfer yang paling umum adalah pajak, subsidi, penerimaan pinjaman, angsuran pinjaman serta bunganya, demikian pula pembayaran hutang dagang maupun piutang dagang yang ada di neraca finansial.

##### **4.2.2.1. Penyesuaian ketimpangan harga barang yang diperdagangkan**

Barang yang diperdagangkan adalah barang-barang yang dapat diekspor atau diimpor. Harga barang yang diperdagangkan disesuaikan dengan harga perbatasan (border price) yaitu;

- Harga pada Cost, Insurance, and Freight (CIF) bila barang tersebut merupakan barang impor. Barang tersebut dapat diperdagangkan karena harga CIF lebih rendah dari harga produksi dalam negeri.
- Harga pada Free On Board (FOB), bila barang tersebut merupakan barang ekspor. Barang tersebut dapat diperdagangkan karena harga FOB lebih tinggi dari produksi dalam negeri.

Bila proyek yang akan dilaksanakan menggunakan atau menghasilkan barang substitusi impor yang nilainya lebih rendah dari bila impor maka barang tersebut dinilai berdasarkan CIF, maka nilai perekonomian adalah devisa yang dihemat dengan menggunakan produksi

Formatted: Normal, No bullets or numbering

dalam negeri. Kemudian harga perbatasan itu disesuaikan dengan memasukkan biaya pengangkutan domestik antara tempat lokasi proyek ke pelabuhan impor itu.

Contoh: Proyek memerlukan support untuk modul SHS dengan harga Rp 1.000,- buatan dalam negeri, sementara bila kita impor harga c..i.f. sebesar Rp 750,-, maka dalam penilaian ekonomik harga yang dipakai sebesar Rp 750,- yang mencerminkan harga sosial barang tersebut.

Bila proyek yang diusulkan menggunakan barang yang sesungguhnya dapat diekspor, maka nilai ekonominya sebesar devisa ekspor yang hilang berdasarkan harga FOB. Kemudian harga perbatasan itu disesuaikan dengan memasukkan biaya pengangkutan domestik antara tempat pelabuhan ekspor ke lokasi proyek itu. Hasilnya adalah adalah harga efisiensi (The efficiency Price). Menggunakan barang yang sesungguhnya dapat diekspor berarti terjadi pengalihan ekspor (diverted export), maka opportunity cost bagi barang-barang semacam ini bagi perekonomian adalah nilai ekspor yang hilang yang dihitung berdasarkan FOB.

Contoh: Proyek memerlukan support untuk modul SHS dengan harga Rp 750,- buatan dalam negeri, sementara bila kita diekspor harga f.o.b. sebesar Rp 1000,-, maka dalam penilaian ekonomik harga yang dipakai sebesar Rp 1000,- yang mencerminkan harga sosial barang tersebut.

Selanjutnya Nilai devisa berdasarkan CIF maupun FOB tersebut di konversi kedalam mata uang rupiah berdasarkan harga bayangan (Shadow Exchange Rate) tersebut selanjutnya.

Penyesuaian ketimpangan harga barang yang tidak diperdagangkan

Sebab barang tidak diperdagangkan karena:

- Harga impor c.i.f. lebih tinggi dari harga produksi dalam negeri
- Harga ekspor f.o.b. lebih rendah dari harga produksi dalam negeri
- Adanya larangan pemerintah tidak diperdagangkan (ekspor impor)

Terhadap harga impor yang nilai c.i.f. lebih tinggi dari harga produksi dalam negeri ataupun nilai f.o.f. lebih rendah dari harga produksi dalam negeri, cukup jelas kenapa tidak diperdagangkan, yaitu untuk apa kita ekspor kalau harganya lebih murah dan buat apa impor kalau harganya lebih mahal.

Perlu diterangkan disini adalah bila sesungguhnya barang tersebut dapat diperdagangkan tetapi karena ada peraturan pemerintah maka terjadi pembatasan atau larangan. Misal impor dari luar negeri lebih murah, tetapi untuk melindungi produksi dalam negeri dilakukan pembatasan impor, perlindungan tersebut disebabkan produk dalam negeri belum efisien serta kualitasnya lebih rendah. Kecenderungan yang terjadi adalah terjadi kekurangan pasokan sehingga menaikkan harga melampaui harga internasional. Penilaian ekonomi barang semacam ini adalah berdasarkan kesanggupan membayar (*willingness to pay*) dan harga pasar adalah indikator yang digunakan.

Demikian pula dalam hal ekspor. Suatu produk sesungguhnya dapat diekspor tetapi untuk melindungi konsumen dalam negeri pemerintah melakukan pembatasan atau larangan ekspor. Kecenderungan yang terjadi adalah terjadi kelebihan pasokan sehingga menurunkan harga melampaui harga internasional. Penilaian ekonomi barang semacam ini adalah berdasarkan kesanggupan membayar (*willingness to pay*) dan harga pasar adalah indikator yang digunakan.

#### Penilaian Tanah

Nilai tukar bayangan untuk tanah adalah *opportunity cost of capital* dari tanah yang digunakan untuk proyek. Adanya proyek maka terdapat benefit lain atas tanah yang hilang. Misal tanah tersebut berproduksi, maka penilaian ekonomik tanah tersebut adalah sebesar nilai produksi yang hilang. Misal: sebelum ada proyek tanah menghasilkan produk senilai Rp 250,- pertahun maka nilai tersebut yang digunakan untuk penilaian ekonomi atas tanah yang digunakan untuk proyek.

#### Penilaian Tenaga Kerja

Harga bayangan tenaga kerja tak terdidik yang dipekerjakan dalam proyek adalah nilai penghasilan (produksi) apabila tidak bekerja di proyek. Jika buruh tani akan dipekerjakan dalam suatu proyek, maka yang akan dikorbankan dalam perekonomian adalah sebesar nilai penghasilan sebagai buruh tani tersebut. Sehingga bila suatu proyek mempekerjakan pengangguran berarti tidak ada penghasilan yang mereka korbankan untuk bekerja di proyek, sehingga nilai ekonominya adalah 0 (nol).

Misal: buruh tani di desa yang akan dipekerjakan dalam proyek bekerja rata-rata 10 hari dalam sebulan atau 120 hari pertahun, dengan upah rata-rata Rp 500,- maka pendekatan nilai upah bayangan sebesar  $120 \times \text{Rp } 500,- = \text{Rp } 60.000,-$

#### **Penyusunan Penilaian Finansial Suatu Proyek**

#### **Contoh Kasus**

Pada suatu pulau didiami oleh penduduk lebih kurang 1.250 jiwa dengan 225 kepala keluarga yang sebagian besar bergantung hidupnya sebagai nelayan. Pertanian diusahakan tetapi tidak menjadi andalan ekonomi masyarakat.

Penduduk membangun rumah terkonsentrasi sehingga jarak rumah satu dan yang lain berdekatan. Pulau tersebut belum ada listrik, penerangan warga menggunakan lampu minyak tanah. Beberapa warga memiliki genset kecil cukup untuk melistriki 2 atau 3 rumah sekitar, namun dengan sulitnya memperoleh solar genset sering tidak dioperasikan, solar yang diperoleh diutamakan untuk menggerakkan motor tempel untuk melaut.

Harga minyak tanah di pulau cukup mahal karena pangkalan minyak tanah di pelabuhan pendaratan ikan di pulau lain. Harga minyak tanah bersubsidi Rp 2.000,- di pangkalan karena sering terjadi kelangkaan maka sering harus membeli dengan harga Rp 4.000,- selanjutnya sampai di tingkat warga (konsumen) di pulau tersebut menjadi sekitar Rp 7.000,-.

Berdasarkan kajian Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM), dinilai perlu di bangun pembangkit tenaga listrik berdasarkan sumber daya setempat yang ramah lingkungan. Setelah melakukan kajian mendalam diusulkan menggunakan pembangkit listrik tenaga surya dengan alasan :

- Teknologinya telah tersedia
- Mudah dan murah biaya pengoperasiannya
- Dengan menggunakan listrik maka akan memungkinkan penduduk memperoleh informasi melalui televisi, memungkinkan anak-anak belajar dimalam hari, yang akhirnya dapat meningkatkan taraf hidup warga.

Atas prakarsa LSM tersebut berusaha meyakinkan pemerintah setempat, serta produsen panel surya serta perbankan untuk bersedia mendanai pembangunan PLTS tersebut. Dengan dibangunnya PLTS Terpusat tersebut berarti bagi pemerintah dapat mengurangi beban

penyediaan minyak tanah yang sering terjadi kelangkaan serta harga terus meningkat maupun subsidi.

Selanjutnya warga setempat diminta membentuk organisasi pengelola untuk menjamin bahwa PLTS Terpusat dapat berkelanjutan.

#### Perkiraan Kebutuhan Listrik

Berdasarkan kajian pemakaian listrik di pedesaan di daerah lain yang telah tersedia listrik PLN adalah sebesar 126 kWh pertahun dengan perhitungan sebagai berikut :

Peralatan	Unit	Watt	Jam opr	Konsumsi	
Lampu	3	10	7	0.21	kWh/hr
Lainnya	1	20	7	<u>0.14</u>	kWh/hr
Jumlah pemakaian perhari				<u>0.35</u>	kWh/hr
Jumlah pemakaian pertahun				126	kWh/th

#### Perkiraan Kapasitas Panel Surya yang diperlukan

Berdasarkan hasil penelitian bahwa radiasi matahari adalah 5 jam perhari, sementara kebutuhan energi untuk seluruh warga dengan 225 kk sebesar 28,350 kWh pertahun setelah memperhitungkan losses 10%, sehingga energi minimal tersediakan sekurang-kurangnya dapat menghasilkan 31,500 kWh. Atas dasar perhitungan tersebut maka Kapasitas panel surya sebesar 17,5 kWp, sehingga jumlah panel surya yang harus dipasang sebanyak 100 panel @ 175 Wp dengan harga Rp 8,300,250 per unit.

#### Perkiraan Penjualan Listrik

Perkiraan penjualan listrik adalah suatu perkalian antara jumlah pelanggan dengan harga jual. Dalam menentukan harga dilakukan dengan cara memperhatikan kemampuan konsumen dan potensi harga tertinggi yang dapat dipikul oleh pelanggan. Dalam kasus ini telah dilakukan perhitungan bahwa untuk supaya proyek layak secara finansial maupun ekonomi maka harga Rp 12.000,- per kWh. Sehingga nilai penjualan pertahunnya sebesar Rp 340 juta.

Penjualan Listrik		
a. Jumlah pelanggan	Rp	225 kk
b. Harga jual	Rp	12,000 per kWh
c. Nilai penjualan	Rp	340 per tahun
d. Beban biaya perpelanggan	Rp	4,200 per hari
e. Disetarakan dg minyak tanah (dlm juta Rp)		0.60 liter

Karena usaha tersebut dikelola oleh warga untuk kepentingan warga maka harga tersebut dimaksudkan tidak untuk memupuk keuntungan melainkan untuk menjaga keberlanjutan dan melindungi nilai uang dari inflasi.

#### Perkiraan Kebutuhan Baterai

Untuk mendukung 100 unit panel surya tersebut dibutuhkan baterai dengan spesifikasi 12 PVV 2280 @ 2V-1620 Ah sebanyak 60 unit dengan harga Rp 7,092,000 per unit.

#### Perkiraan Kebutuhan Peralatan Lainnya

Dengan diketahui perkiraan perkiraan kebutuhan listrik serta komponen utama peralatan yaitu panel surya dan Baterai maka peralatan lain akan menyesuaikan kebutuhan tersebut.

#### Anggaran Biaya Investasi

Dengan diketahuinya data kebutuhan maka disusun Anggaran Biaya Investasi sebagai berikut:

Tabel 4. 15 Sistem PLTS 17.500 Wp Terpusat

Sistim PLTS 17.500 Wp Terpusat								
No.	Item	Invst awal	Replacemen t	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)	Masa manfaat (th)	Penyusutan& amortisasi
A	PENGADAAN KOMPONEN PLTS TERPUSAT					4.052.007.789		202.600.389
1	Panel Surya, total kap 17,5 Kwp	100		Buah	8.300.250	830.025.000	20	41.501.250
2	Pondasi dan Support Panel Surya	1		Set	44.684.706	44.684.706	20	2.234.235
3	Bangunan Power House, uk 6x8 m2	1		Unit	48.000.000	48.000.000	20	2.400.000
4	Pondasi, Tiang dan Pagar Kawat Berduri	1		Set	34.941.939	34.941.939	20	1.747.097
5	Batterei, 12 PVV 2280 @ 2V-1620 Ah, C10	60	180	buah	7.092.000	1.702.080.000	20	85.104.000
6	SCC dan Inverter (Bi-Directional), kap 20 kW	1	1	Set	430.650.000	861.300.000	20	43.065.000
7	Panel Transmisi dan Jaringan (TR)	1		Set	262.958.629	262.958.629	20	13.147.931
8	Penyambungan dan Instalasi ke Rumah	225		rumah	666.667	150.000.075	20	7.500.004
9	Kabel-Kabel dan Asesoris	1		Ls	99.960.000	99.960.000	20	4.998.000
10	Grounding System	1		Unit	18.057.440	18.057.440	20	902.872
B	PENGRIMAN, PEMASANGAN, PELATIHAN	5%		thd biaya pengadaan		202.600.389	20	10.130.019
C	TOTAL INVESTASI (A+B)					4.254.608.178		212.730.409

Nilai investasi tersebut merupakan nilai yang diperlukan untuk selama 20 tahun, sementara tahapan investasi adalah sebagai berikut:

(dlm juta Rp)

	Frekwensi dlm 20 th	Keterangan	Jumlah	Keseluruhan
Investasi awal	1		2,547	2,547
Replacement				
Baterai, 12 PVV 2280 @ 2V-1620 Ah, C10	3	per 5 th	426	1,277
SCC dan Inverter (Bi-Directional), kap 20 kW	1	per 10 th	431	431
				4,255

Umur proyek adalah 20 tahun dan diperkirakan nilai likuidasi (residu) atas investasi yang dilakukan bernilai sekitar 50% dari investasi awal.

#### Anggaran Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Biaya operasional dan pemeliharaan diperkirakan sebagai berikut:

Biaya Operasi				
a. Operasi & Manitenance		0.010%	thd invest	Rp 254,739.82
b. Tenaga kerja				
Skilled	12	bln org/th,	Rp 750,000	Rp 9,000,000.00
Unskilled	24	bln org/th,	Rp 500,000	Rp 12,000,000.00
c. Biaya umum & administrasi				Rp 1,000,000.00
Jumlah biaya pertahun				<u>Rp 22,254,739.82</u>

#### Tenaga Kerja

Tenaga kerja yang diperlukan tidak banyak yaitu 1 orang tenaga terdidik dan 2 orang tenaga tak terdidik. Tenaga tidak terdidik berasal dari buruh tani setempat yang pada umumnya bekerja 15 hari dalam sebulan dengan upah Rp 15.000,- per bulan.

#### Pendanaan

Sumber pendanaan untuk investasi awal diperoleh komitmen dari pihak-pihak sebagai berikut:

Lampiran 2

Pendanaan				
a. Modal sendiri	40%	thd invest	Rp	1,030.42
b. Pinjaman bank dalam negeri	27%	thd invest	Rp	686.95
c. Pinjaman dari supplier LN	33%		Rp	830.03
	100%		Rp	2,547.40

Modal sendiri merupakan hibah bantuan dari pemerintah daerah setempat, selain itu LSM juga mendapat pendanaan dari lembaga internasional untuk menutup kekurangan likuiditas yang terjadi maupun penggantian (replacement) peralatan yang diperlukan.

Bank yang dimiliki pemerintah daerah setempat juga berpartisipasi mendukung program pemerintah setempat, dengan jangka waktu 10 tahun bunga 10% per tahun.

Selain itu produsen panel surya di luar negeri ternyata juga bersedia memberi kredit dalam bentuk panel surya yang diperlukan dengan jangka waktu 10 tahun bunga 10% per tahun.

Adapun jadwal pembayarannya sebagai berikut:

Jadwal Pembayaran Hutang Bank

Pokok = Rp 686.95 juta  
 Bunga = 10% per tahun  
 Jangka waktu = 10 tahun

Tahun	Saldo awal (jt Rp)	Angsuran (jt Rp)	Bunga (jt Rp)	Saldo akhir (jt Rp)
0	686.95			686.95
1	686.95	68.69	68.69	618.25
2	618.25	68.69	68.69	549.56
3	549.56	68.69	61.83	480.86
4	480.86	68.69	54.96	412.17
5	412.17	68.69	48.09	343.47
6	343.47	68.69	41.22	274.78
7	274.78	68.69	34.35	206.08
8	206.08	68.69	27.48	137.39
9	137.39	68.69	20.61	68.69
10	68.69	68.69	13.74	-

Jadwal Pembayaran Hutang Supplier LN

Pokok = Rp 830.03 juta  
Bunga = 10% per tahun  
Jangka waktu = 10 tahun

Tahun	Saldo awal (jt Rp)	Angsuran (jt Rp)	Bunga (jt Rp)	Saldo akhir (jt Rp)
0	830.03			830.03
1	830.03	83.00	83.00	747.02
2	747.02	83.00	83.00	664.02
3	664.02	83.00	74.70	581.02
4	581.02	83.00	66.40	498.02
5	498.02	83.00	58.10	415.01
6	415.01	83.00	49.80	332.01
7	332.01	83.00	41.50	249.01
8	249.01	83.00	33.20	166.01
9	166.01	83.00	24.90	83.00
10	83.00	83.00	16.60	-

Infrastruktur

Terkait pembangunan PLTS Tenaga Surya tersebut pemerintah daerah menyediakan infrastruktur berupa jalan serta lahan yang nilainya sebesar Rp 200 juta, dimana sebelumnya lahan yang kurang subur untuk pertanian dengan penghasilan Rp 5 juta pertahun.

Informasi penting lainnya

Informasi penting lainnya terkait penyusunan penilaian Finansial dan Ekonomi Proyek PLTS

Terpusat adalah sebagai berikut:

- Discount factor 8%
- Inflasi 5%
- Pajak Penghasilan 15%
- Premium valuta asing 8%
- Pajak impor 5% terhadap nilai c.i.f

**Pengumpulan Data**

Dalam analisa keuangan dan ekonomi informasi yang dikumpulkan diarahkan untuk dapat diterjemahkan dalam nilai uang.

Informasi teknikal

Berdasarkan contoh kasus yang ada maka informasi teknis mengenai peralatan yang akan dipergunakan dan harga masing-masing peralatan serta informasi terkait dengan pengoperasian diketahui pada perkiraan rencana anggaran investasi.

PLTS dipertimbangkan dengan alasan mudah pengoperasiannya, sehingga pelatihan dapat dengan mudah dan praktis diberikan kepada para pelaksana.

#### Informasi pasar

Informasi pasar mencakup luas dan komposisi permintaan listrik, harga, volume, harga, serta strateginya, dalam contoh kasus dapat diuraikan sebagai berikut:

- Pasarnya adalah warga setempat
- Kompetitor dapat dikatakan tidak ada

Sedang strategi yang ditempuh adalah dengan membentuk organisasi pengelola yang berbasis warga setempat.

#### Metode perkiraan (Forecast metode)

Metode perkiraan kebutuhan listrik berdasarkan studi pada daerah sejenis yang telah berlistrik, yaitu sebesar 0.35 kWh perhari atau 128 kWh pertahun.

#### Penyusunan Penilaian Ekonomi Suatu Proyek

Dalam penyusunan penilaian ekonomi ini, mendasarkan pada analisa data finansial dengan melakukan penyesuaian sesuai kepentingan analisa ekonomi.

- Penyesuaian mencakup dikeluarkannya komponen yang sifatnya transfer atau transaksi yang tidak riil karena tidak ada pergerakan riil barang dan jasa, seperti pinjaman bank dan pajak.
- Penyesuaian harga-harga impor
- Penyesuaian nilai valuta asing karena adanya premium valuta asing.
- Penyesuaian eksternalitas, yaitu hal-hal diluar proyek yang merupakan benefit atau biaya dengan adanya proyek

#### D. Aktivitas Pembelajaran

Kerjakan tugas dibawah ini secara kelompok :

1. Menghitung biaya pemasangan instalasi PLTB
2. Memperkirakan keuntungan pemasangan instalasi PLTB
3. Merencanakan pemasangan instalasi PLTB
4. Mensimulasikan proses pemasangan instalasi PLTB mulai dari studi kelayakan sampai pengujian.

#### E. Rangkuman

Proyek merupakan suatu rangkaian kegiatan investasi dengan menggunakan modal/sumber-sumber alam/faktor produksi, diharapkan memperoleh manfaat (benefit/profit) setelah suatu jangka tertentu.

Faktor atau ukuran yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan untuk melakukan investasi adalah:

1. Marginal efficiency of capital (MEC)
2. Keuntungan absolute (total profit)
3. Ranking by inspection
4. Payback period

Tujuan analisis proyek upaya memperbaiki terhadap penilaian investasi, karena terbatas adanya sumber-sumber yang tersedia yang sangat penting bagi pembangunan.

Aspek-aspek dalam Analisis proyek yaitu : aspek analisis teknis, aspek manajerial dan administrasi, aspek organisasi, aspek komersial, aspek finansial, dan aspek analisis ekonomi.

Penyusunan Feasibility Study dilaksanakan secara lebih komprehensif mencakup 3 hal utama:

- Analisa Tekno-ekonomi
  - Analisa Keuangan
  - Analisa Ekonomi

Evaluasi proyek diadakan dua macam analisis, yakni pertama, analisis finansial dan kedua, analisis ekonomi.

Ada beberapa unsur yang berbeda penilaiannya antara analisis finansial dan analisis ekonomi yakni dalam hal harga, biaya, pembayaran transfer.

Pembayaran transfer menyangkut masalah pajak subsidi, dan bunga.

Ada beberapa macam biaya yang di dalam perhitungan manfaat/biaya (benefit/cost) ekonomi tidak dianggap sebagai biaya yakni : sunk costs, penyusutan, pelunasan utang beserta bunganya, studi teknis dan studi kelayakan dan biaya-biaya lain.

Manfaat tidak langsung atau manfaat sekunder proyek adalah manfaat yang timbul atau dirasakan di luar proyek karena adanya realisasi suatu proyek.

#### **F. Tes Formatif**

Jawablah pertanyaan dibawah ini :

1. Jelaskan tentang siklus proyek dari awal sampai evaluasi?
2. Jelaskan tentang tekno-ekonomi?
3. Jelaskan analisa keuangan?
4. Jelaskan analisa ekonomi?
5. Apa unsur yang berbeda penilaiannya antara analisis finansial dan analisis ekonomi?

### **G. Kunci Jawaban**

2. Lihat dan menjelaskan gambar 4.1
3. Latar belakang proyek ada 4 poin, pasar penjualan dan kapasitas ada 5 poin dst
4. Inflow dan outflow keuangan, Sumber pendanaan: modal sendiri dan atau dana pinjaman, Cashflow dan perencanaan likuiditas ....
5. Kompilasi pengaruh ekonomi, revaluasi input dan output sesuai kriteria ekonomi, penyusunan penilaian investasi dari sudut ekonomi.....
6. harga, biaya, pembayaran transfer

## BAB III

### PENUTUP

#### Uji Kompetensi

1. Besarnya daya angin yang dapat diekstraksi oleh suatu turbin angin mejadi energi mekanik poros mengikuti formula :
  - b.  $C_p \cdot (1/2) \cdot \rho A V^3$
  - c.  $(1/2) \cdot V^2 / t$
  - d.  $C_p \cdot (1/2) \cdot A V^3$
  - e.  $C_p \cdot (1/2) \cdot \rho \cdot m \cdot A V^3$
  
2. Kelebihan sudu turbin darrieus adalah :
  - a. Tidak memerlukan pengaturan yaw, Generator dan gearbox terletak dipermukaan tanah, pengaturan sudut pitch rotor lebih praktis.
  - b. Pengaturan yaw lebih murah, Generator dan gearbox terletak dipermukaan tanah, pengaturan sudut pitch rotor lebih praktis.
  - c. Tidak memerlukan pengaturan yaw, Generator dan gearbox terpasang dekat sudu, tidak ada pengaturan sudut pitch rotor.
  - d. Tidak memerlukan pengaturan yaw, Generator dan gearbox terletak dipermukaan tanah, tidak ada pengaturan sudut pitch rotor.
  
3. Dibawah ini beberapa karakter angin yang benar :
  - a. Bersih dan terbarukan, site-specific, kecepatan dan arah stabil, kecepatan bertambah terhadap ketinggian.
  - b. Bersih dan terbarukan, site-specific, kecepatan dan arah stabil, kecepatan bertambah terhadap temperatur
  - c. Bersih dan terbarukan, site-specific, kecepatan dan arah berubah-ubah, kecepatan bertambah terhadap temperatur

- d. Bersih dan terbarukan, site-specific, kecepatan dan arah berubah-ubah, kecepatan bertambah terhadap ketinggian

## DAFTAR PUSTAKA

1. A guide to the financial evaluation of investment projects in energy supply, by Horst Fink, Gerhard Oelert, Eschborn, GTZ GmbH, 1985
2. Analisis Investasi, Drs Abdul Halim, MM,Ak, Penerbit Salemba Empat, 2003
3. Economic Issues of Renewable Energy Systems, A Guide to Project Planning, by Gerhard Oelert, Falk Auer, Klaus Pertz, Eschborn, GTZ GmbH, 1987
4. Evaluasi Proyek, Analisis Ekonomi, Kadariah, Lembaga Penerbit FEUI, 2001
5. Modul Pelatihan Engineering School, WhyPgen-BPPT, 2014
6. Pengantar Evaluasi Proyek, oleh; Bahrawi Sanusi, Lembaga Penerbit FEUI, 2000
7. Pengantar Evaluasi Proyek, oleh; Clive Gray, Payaman Simanjuntak, Lien K. Subur, P.F.L. Maspaitella, R.C.G. Varley, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2002
8. Pengantar Evaluasi Proyek, oleh; Kadariah, Lien Karlina, Clive Gray, Lembaga Penerbit FEUI, 1999
9. Project Evaluation, An intergrated financial and economic analysis, by Axel Sell, University of Bremen, Avebury, Academic Publishing Group,1991

## GLOSARIUM

SKEA	: Sistem Konversi Energi Angin
PLTB	: Pembangkit Listrik Tenaga Bayu
Turbin Angin	: SKEA pembangkit listrik
Kincir Angin	: SKEA penggerak mekanik
Poros Tegak	: Posisi poros penggerak vertikal
Poros Datar	: Posisi poros penggerak horisontal
Down_wind	: Angin hulu
Up_wind	: Angin hilir
Kec. Cut_in	: Kec. Angin saat dihasilkan daya
Kec.rated	: Kec. Angin tercapai daya nominal
Kec.cut-out	: Kec. Angin maksimal daya dihasilkan
CIF	: Cost, Insurance, and Freight
FOB	: Free On Board
FS	: Feasibility Study
IRR	: Internal Rate of Return
MEC	: Marginal Efficiency of Capital
NPV	: Net Present Value
OER	: Official Exchange Rate
Pre FS	: Pre Feasibility Study
SER	: Shadow Exchange Rate
Acquisition Cost	Dalam analisa finansial biaya bagi input suatu proyek adalah suatu pengorbanan yang tujuannya untuk memperoleh hasil atau manfaat sebesar pengeluaran untuk memperoleh barang dan jasa yang dibutuhkan oleh proyek.
Annuity	Suatu jumlah yang dibayar atau diterima secara berturut-turut pada beberapa periode dalam jumlah

	yang sama terdiri dari pembayaran bunga dan angsuran pokok.
Barang tidak diperdagangkan	Barang-barang yang harga impor c.i.f. lebih tinggi dari harga produksi dalam negeri, harga ekspor f.o.b. lebih rendah dari harga produksi dalam negeri, serta adanya larangan pemerintah tidak diperdagangkan (ekspor impor)
Barang yang diperdagangkan	Barang-barang yang dapat diekspor atau diimpor. Harga barang yang diperdagangkan disesuaikan dengan harga perbatasan (border price) yaitu; harga impor CIF lebih rendah dari harga produksi dalam negeri dan harga ekspor FOB lebih tinggi dari produksi dalam negeri.
Benefit & Cost Ratio	Rasio untuk mengetahui seberapa besar keuntungan yang diperoleh sehubungan dengan investasi yang dilakukan. Bila ratio tersebut lebih besar dari 0 (nol) maka benefit yang diperoleh lebih besar dari biayanya atau dapat dikatakan menguntungkan.
Bunga	Harga dana modal tersebut dikenal dengan bunga. Bunga mencerminkan keseimbangan antara Marginal Time Preference dengan Marginal Efficiency of Capital.
Compound Interest	Bunga berbunga atas dana modal
Cost Insurance & Freight	Harga dipelabuhan impor yang terdiri dari harga barang, biaya pengapalan, dan asuransi.
Discount Factor	Bilangan untuk mengurangi nilai dimasa mendatang supaya menjadi nilai sekarang
Feasibility Study	Studi Kelayakan, yaitu kegiatan sebelum melakukan suatu investasi dilakukan pengujian melalui serangkaian kegiatan penelaahan yang hasil akhirnya akan menjawab apakah suatu rencana pelaksanaan

	investasi untuk suatu proyek itu “Dapat Dilaksanakan (Feasible)” atau tidak.
Foreign exchange premium	Suatu kesanggupan para pemakai barang yang diperdagangkan untuk membayar sejumlah tambahan terhadap nilai valuta asing yang dibutuhkan untuk membeli barang
Free on Board (FOB)	Harga diatas kapal pelabuhan ekspor
Harga Bayangan (Shadow Prices)	Harga yang mencerminkan social opportunity cost. Di dalam pandangan ekonom bahwa harga pasar sering tidak mencerminkan harga sosial diantaranya disebabkan oleh kebijakan-kebijakan pemerintah berupa pajak, subsidi, serta tata niaga.
Internal Rate of Return (IRR)	Nilai Discount Rate (i) yang membuat NPV dari suatu investasi sama dengan 0 (nol)
Marginal Efficiency of Capital (MEC)	Tingkat penghasilan atau keuntungan atas modal yang di investasikan dalam suatu kegiatan.
Marginal Time Preference	Tingkat penghasilan atau keuntungan atas modal yang manfaatkan sekarang
NPV	Selisih antara Present Value Benefit dengan Present Value Cost
Opportunity Cost	Di dalam analisa ekonomi biaya bagi input suatu proyek adalah manfaat yang hilang (the benefit foregone) bagi perekonomian karena input itu digunakan dalam proyek, atau “the opportunity cost” bagi input.
Penyusutan (Depreciation)	Alokasi biaya atas investasi yang telah dilakukan
Pre Feasibility Study	Pra Study Kelayakan, yaitu study pendahuluan yang sifatnya kasar dapat dilaksanakan untuk memperoleh indikasi secara teknis dan secara ekonomis maupun

finansial akan berhasil, atau dikenal dengan Pre Feasibility Study (Pre-FS)

## Lampiran

- **Lampiran 1.** Summary Wind Speed for several selected site

Summary Wind Speed for several selected site at 50 m height

No	Measurement Site	Province	Annual average wind speed (m/s)
1	BULAK BARU , Kedung , Kab. Jepara	Central Java	4.89
2	NANGALABANG , Borong , Kab. Manggarai	East Nusa Tenggara	3.66
3	BUNGAIYA , Bontomatene , Kab. Selayar	South Sulawesi	5.55
4	NANGALILI , Lembor , Kab. Manggarai	East Nusa Tenggara	4.89
5	T. N. KOMODO ,Komodo , Kab. Manggarai	East Nusa Tenggara	3.55
6	PASIR PUTIH , Komodo , Kab. Manggarai	East Nusa Tenggara	3.78
7	DOROPETI, Perwakilan Kempo Pekat, Kab. Dompu	West Nusa Tenggara	4.11
8	BAJO PULAU ,Sape, Kab. Bima	West Nusa Tenggara	4.28
9	SAMBELIA ,Sambelia , Kab. Lombok Timur	West Nusa Tenggara	4.22
10	TEMBERE , Kec. Kruak , Kab. Lombok Timur	West Nusa Tenggara	4.44
11	MAUBESI , Rote Tengah , Kab. Kupang	East Nusa Tenggara	4.44
12	PAUDEAN , Bitung Selatan , Kab.	North Selebes	3.02

	Bitung		
13	LIBAS ,Likupang , Kab. Minahasa	North Selebes	3.44
14	PALAKAHEMBI , Pandawai , Kab. Sumba Timur	East Nusa Tenggara	4.99
15	PAI , Wera , Kab. Bima	West Nusa Tenggara	4.04
16	KUTE , Pujut , Kab. Lombok Tengah	West Nusa Tenggara	3.00
17	SAJANG , Sambelia , Kab. Lombok Timur	West Nusa Tenggara	3.66
18	SIBOWULI , Aimere , Kab. Ngada	East Nusa Tenggara	3.22
19	Papagarang,Komodo, Komodo, Manggarai	East Nusa Tenggara	4.66
20	Ujung, Labuan Bajo, Komodo, Manggarai	East Nusa Tenggara	3.78
21	KARIMUNJAWA , Karimunjawa , Kab. Jepara	Central Java	3.92
22	SBSPJ - LAPAN , Kodya Pare-pare	South Selebes	5.11
23	DONGIN , Batui , Kab. Banggai	Central Selebes	3.09
24	BULUNGKOBIT ,Tinangkung , Kab. Banggai	Central Selebes	3.21
25	NEMBERALA, Rote Barat Daya Kab Kupang	East Nusa Tenggara	4.55
26	ROBEK, Reo, Kab Manggarai	East Nusa Tenggara	3.22
27	GERAK MAKMUR , Sampolawa, Kab Buton	South East Selebes	3.40
28	KAIMBULAWA , Batauga, Kab Buton	South East Selebes	4.39

29	KAMANGGIH , Paberiwai, Kab. Sumba Timur	East Nusa Tenggara	4.51
30	ABORU , Pulau Haruku, Kab Maluku Tengah	Maluku	3.40
31	KALASUGE ,Tabukan Utara, Kab Sangihe-Talaud	North Selebes	3.52
32	LENA , Paga, Kab. Sikka	East Nusa Tenggara	3.09
33	SWARANGAN ,Jorong, Kab Tanah Laut	South Kalimantan	3.56
34	APPATANAH ,Bontosikuyu , Kab. Selayar	South selebes	7.33
35	ABASON Totikum , Kab. Banggai	Central selebes	3.80
36	MALAMENGGU, Sangihe-Talaud	North Selebes	4.53
37	SRUNGGO II, Kec. Imogiri, Kab. Bantul	Yogyakarta	3.44
38	PANTAI SUNDAK , Gunung Kidul	Yogyakarta	3.80
39	KRAJAN, Muncar, Kab. Banyuwangi	East Java	4.04
40	LEDEANA,Ledeana, Sabu Barat, Kab. Kupang	East Nusa Tenggara	4.28
41	BERUNDUNG, Panengahan, Lampung Selatan	Lampung	3.92
42	KEMADANG , Tepus , Kab. G. Kidul	Yogyakarta	5.11
43	Sampuabalo , Lasalimu, Kab. Buton	South East Selebes	3.15
44	SAMPOBALO, Lasalimu, Kab. Buton	South East Selebes	3.15
45	UPT PIONG, Piong, Kec. Sanggar, Kab. Bima	West Nusa Tenggara	4.99
46	P. TIKUS, Teluk Segara, Kodya	West Sumatera	4.04

	Bengkulu		
47	UPT OITUI,Wira, Timur, Kab. Bima	West Nusa Tenggara	4.99
48	Walihi, Hambaprahing, Kab. Sumba Timur	East Nusa Tenggara	3.92
49	LAIKANG, Marbo, Kab. Takalar	South Sulawesi	3.09
50	AIRPETAI, Putri Hijau, Kab. Bengkulu Utara	West Sumatera	4.04
51	DENDUKA, Wewewa Selatan, Kab Sumba Barat	East Nusa Tenggara	4.28
52	KAMANGGIH, Kahaungu Eti, Kab. Sumba Timur	East Nusa Tenggara	3.80
53	KLECES, Kampung Laut, Kab. Cilacap	Central Java	3.09
54	P. KARYA, Kep. Seribu	DKI	5.34
55	BINANGEUN, Kec. Muara, Kab. Lebak	Banten	5.24
56	Besusu, Palu Timur, Kab. Palu	Central Selebes	5.23
57	GUNUNG SELOK, Cilacap	Central Java	4.86
58	PATIRONG, Kab. Jeneponto,	South Sulawesi	5.99
59	TANJUNGRAMAT, Kab. Gorontalo	Gorontalo	5.39
60	PATRATANI, Gelembung, Kab. Muara Enim	South Sumatera	3.04
61	Lamogorang, Kab. Kei Kecil, Tual	South East Maluku	4.24
62	GALESO,Sidomulyo, Kab. Polewali Mandar	West Selebes	3.64
63	Oesao	East Nusa Tenggara	3.01
64	Hansisi	East Nusa Tenggara	3.76
65	Sakteo, Soe	East Nusa Tenggara	6.13

		Tenggara	
66	Netpala, Soe	East Nusa Tenggara	4.52
67	Tameras, Soe	East Nusa Tenggara	6.88
68	Leorana	East Nusa Tenggara	3.44
69	Leraboleng	East Nusa Tenggara	2.58
70	Soga	East Nusa Tenggara	4.52
71	Nusa	East Nusa Tenggara	4.30
72	Walakira	East Nusa Tenggara	4.95
73	Leraboleng,	East Nusa Tenggara	3.23
74	Praipaha,	East Nusa Tenggara	4.95
75	Amarazi, Kupang	East Nusa Tenggara	5.38
76	Ekateta, Kupang	East Nusa Tenggara	4.29
77	Hansisi, Kupang	East Nusa Tenggara	4.39
78	Sulamu, Kupang	East Nusa Tenggara	4.79
79	Fatukalen, Timor Tengah Selatan	East Nusa Tenggara	7.62
80	Babia, Timor Tengah Selatan	East Nusa Tenggara	5.57

		Tenggara	
81	Bua, Timor Tengah Selatan	East Nusa Tenggara	6.29
82	Niki-Niki, Timor Tengah Selatan	East Nusa Tenggara	4.37
83	Boa Rote Ndao	East Nusa Tenggara	5.70
84	Hituk, Rote Ndao	East Nusa Tenggara	6.00
85	Hundihopo, Rote Ndao	East Nusa Tenggara	4.40
86	Sanggaoen, Rote Ndao	East Nusa Tenggara	4.80
87	Kabupaten Sidrap	South Sulawesi	6.47
88	Kabupaten Selayar	South Sulawesi	6.77
89	Baron, Gunung Kidul	DIY	5.31
90	Charlita Beach Nias	North Sumatera	2.32
91	Teluk Dalam Nias	North Sumatera	3.05
92	Ciomas, Sukabumi	West Java	7.01

Sumber : LAPAN, Winrock Int', Windguard

