

**SIMULASI PEMBANGKIT LISTRIK HIBRID SEBAGAI POWER  
SUPPLY PADA PULAU LAE-LAE SULAWESI SELATAN**



**TUGAS AKHIR**

Sebagai salah satu syarat untuk  
mencapai Gelar Sarjana Teknik dari  
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin

Oleh:

ADNAN SABIH

D411 06 023

ZN. ARIE RANGGA PUTRA

D411 06 045

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2011

**SIMULASI PEMBANGKIT LISTRIK HIBRID SEBAGAI POWER SUPPLY  
PADA PULAU LAE-LAE SULAWESI SELATAN**

**OLEH**

**ADNAN SABIH**

**D411 06 023**

**ZN. ARIE RANGGA PUTRA**

**D411 06 045**

**Tugas Akhir Ini Telah Diterima dan Disahkan Sebagai Salah Satu Syarat**

**Guna Mencapai Gelar Sarjana**

**Dalam Bidang**

**Teknik Tenaga Listrik**

**Jurusan Teknik Elektro**

**Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

**Disahkan Oleh**

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**Ir. Tajuddin Waris, MT**

**NIP. 1965042 4119203 1 003**

**Ir. Hj.Zaenab Muslimin, MT**

**NIP. 1966020119920 2 002**

**Diketahui Oleh**

**Ketua Jurusan Teknik Elektro**

**Dr.Ir.Zahir Zainuddin,MSc**

**NIP. 19640427 198910 1 002**

## ABSTRAK

Indonesia adalah negara yang memiliki sumber daya energi yang berlimpah dan beragam baik yang bersumber dari fosil seperti minyak bumi, batubara dan gas bumi. Ataupun sumber energi alternatif dan terbarukan lainnya seperti tenaga surya, tenaga angin, tenaga air, geothermal, biomasa dan lain-lain. Meskipun potensi sumber energi yang dimiliki berlimpah, Indonesia sampai saat ini tetap belum bisa memenuhi kebutuhan energi dalam negerinya sendiri.

Diversifikasi energi (bauran sumber energi) merupakan suatu konsep / strategi yang dapat dipergunakan sebagai alat (*tools*) untuk mencapai pembangunan energi dan ekonomi yang berkelanjutan. Kebijakan perpaduan energi (*energy hybrid*) menekankan bahwa Indonesia tidak boleh hanya tergantung pada sumber energi berbasis fosil, namun harus juga mengembangkan penggunaan energi terbarukan. Kebijakan energi di Indonesia perlu dikembangkan dengan memperjelas strategi, sasaran penggunaan, jumlah pemanfaatan dan pengelolaan energi nasional, dengan mempertimbangkan potensi energi, permintaan energi, infrastruktur energi serta faktor lainnya seperti harga energi, teknologi, pajak, investasi dan sebagainya.

Pada penelitian ini penulis ingin mensimulasikan konfigurasi pembangkit yang paling optimum yang dapat diterapkan di daerah penelitian dalam hal ini Pulau Lae-Lae Makassar Sulawesi Selatan

Keyword: *Energi hybrid*, Simulai, konfigurasi, Optimum

## **KATA PENGANTAR**

*Alhamdulillah Rabbil Alamin* segala Puji syukur kehadirat Allah SWT, atas segala berkah dan rahmat-Nya sehingga tugas Akhir ini dapat diselesaikan sebagai persyaratan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bimbingan dan dorongan serta bantuan dari beberapa pihak melalui kesempatan ini saya menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Tadjuddin Waris, MT selaku Pembimbing 1 atas segala saran, bimbingan dan nasehat selama penelitian berlangsung dan selama penyusunan tugas akhir ini
2. Ibu Ir. Zaenab Muslimin, MT selaku Pembimbing 2 atas segala saran, kritik, bimbingan dan nasehat selama pengerjaan tugas akhir ini
3. Bapak Dr. Ir. Zahir Zainuddin, MSc, selaku ketua jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. Bapak Ir Indra Jaya, MT selaku ketua sub jurusan Teknik Energi Listrik Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
5. Bapak Ibu dosen lainnya yang tidak sedikit telah memberikan ilmunya selama penulis menuntut ilmu di jurusan Elektro
6. Orang tua dan Saudara-Saudara Serta Segenap keluarga kami tercinta yang senantiasa mendoakan dan memberikan dorongan kepada penulis
7. Seluruh Staf Elektro maupun Fakultas yang telah banyak membantu kami selama melalui proses perkuliahan

8. Saudara-Saudara kami semua yang telah memberikan bantuan, semangat dan dukungannya selama ini dalam menyelesaikan tugas akhir, semoga mendapatkan berkah dan senantiasa diliputi rahmat dari Allah Subhanahu Wa Ta'la.

Penulis sadar masih banyak kekeliruan, kesalahan dalam penyusunan tugas akhir ini baik yang disengaja maupun yang tidak disengaja oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritk, saran dan masukan yang membangun semata-mata untuk lebih menyempurnakan tugas akhir ini.

Makassar, Juli 2011

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	I
LEMBAR PENGESAHAN.....	II
ABSTRAK.....	III
KATA PENGANTAR.....	IV
DAFTAR ISI.....	VI
DAFTAR GAMBAR.....	XI
DAFTAR TABEL.....	XVII
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 LATAR BELAKANG MASALAH.....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	3
I.3 TUJUAN PENELITIAN.....	3
I.4 BATASAN MASALAH.....	3
I.5 METODE PENELITIAN.....	3
I.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	4
BAB II TEORI DASAR	
II.1 SUMBER-SUMBER ENERGI TERBARUKAN.....	5
II.2 SEJARAH PENGGUNAAN TENAGA ANGIN.....	5
II.2.1. PERKEMBANGAN ENERGI ANGIN DI DUNIA.....	7
II.2.2. KECEPATAN ANGIN DAN DISTRIBUSI ENERGI.....	8
II.2.3. HUBUNGAN ANTARA KECEPATAN DAN TENAGA PADA ANGIN.....	9

II.2.4. DAYA LISTRIK YANG DIHASILKAN OLEH PLTANGIN.....	10
II.2.5. DAERAH SAPUAN ROTOR.....	12
II.2.6. MASSA JENIS UDARA.....	13
II.2.7 POLA ANGIN GLOBAL.....	14
II.2.8. DISTRIBUSI KECEPATAN ANGIN.....	16
II.2.9. MODUS DAN KECEPATAN RATA-RATA ANGIN.....	17
II.2.10. PENGARUH KETINGGIAN.....	18
II.2.11. MEMPREDIKSI KECEPATAN ANGIN.....	19
II.2.12. SISTIM TENAGA LISTRIK TENAGA ANGIN.....	20
II.3. SEL SURYA.....	23
II.3.1. SEL FOTO VOLTAIC.....	23
II.3.2. TEORI SEL SURYA.....	24
II.3.3. KARAKTERISTIK SEL FOTOVOLTAIK.....	26
II.4. PENYIMPANAN ENERGI.....	28
II.4.1. PERKEMBANGAN PENYIMPANAN ENERGI.....	29
II.4.2. KONSTRUKSI INTERNAL SEL ELEKTROKIMIA.....	30
II.5. PERALATAN ELEKTRONIKA DAYA.....	31
II.5.1. AC TO DC RECTIFIER.....	32
II.5.2. INVERTER DC KE AC.....	33
II.6. HIBRID SISTEM.....	35
II.6.1. HIBRID SISTEM DENGAN DISEL.....	35

II.6.2. PEMBAGIAN BEBAN.....	36
BAB III SIMULASI SISTEM HIBRID DENGAN MENGGUNAKAN HOMER	
III.1 PENGERTIAN HIBRID SISTEM.....	39
III.2 PRINSIP DASAR SISTEM HYBRID.....	41
III.3 MANFAAT SISTEM HYBRID DI MASYARAKAT.....	42
III.4 ANALISA KEUNGGULAN PEMBANGKITAN HIBRID.....	44
III.5 EFEKTIFITAS BIAYA SISTEM HYBRID.....	47
III.6 JENIS-JENIS SISTEM HIBRID.....	49
III.6.1 SISTIM HYBRID KONFIGURASI SERI.....	50
III.6.2 SWITCHED CONFIGURATION.....	52
III.6.3 KONFIGURASI PARALEL.....	54
III.7 SISTEM HIBRID DC COUPLING.....	55
III.8 ANALISA SISTEM HIBRID KONFIGURASI PARALEL.....	56
III.9 PENGGUNAAN PERANGKAT LUNAK HOMER UNTUK SIMULASI SISTEM.....	58
III.10 ASUMSI DAN PEMODELAN INPUT.....	61
III.11 JENIS-JENIS VARIABEL INPUT DALAM HOMER.....	62
III.11.1 DATA SUMBER DAYA ALAM.....	62
III.11.2 HARGA BAHAN BAKAR.....	63
III.11.3 VARIABEL-VARIABEL EKONOMI.....	64
III.12 BATASAN-BATASAN SIMULASI.....	64

III.13 VARIABEL-VARIABEL PERALATAN.....	65
III.13.1 PANEL SEL SURYA.....	65
III.13.2 TURBIN ANGIN.....	66
III.13.3 BATERAI.....	68
III.13.4 KONVERTER.....	68
III.13.5 GENERATOR DIESEL.....	69
III.14 ANALISA HASIL SIMULASI HOMER.....	71
III.15 PENENTUAN AMBANG BATAS BEBAN.....	71
III.16 ANALISA HASIL EKONOMI PROGRAM HOMER.....	72
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
IV.1 CIRI GEOGRAFIS INDONESIA.....	75
IV.2 KEADAAN GEOGAFIS PULAU LAE-LAE.....	77
IV.3 KONDISI KELISTRIKAN PULAU LAE-LAE.....	78
IV.4 DATA KARATERISTIK ANGIN DAN INDEKS RADIASI MATAHARI.....	82
IV.5 KOMPONEN KOMPONEN PEMBANGKIT LISTRIK YANG DIGUNAKAN.....	86
IV.5.1 GENERATOR DIESEL.....	86
IV.5.2 SOLAR PANEL (PV).....	88
IV.5.3 TURBIN ANGIN.....	90
IV.5.4 BATREAI.....	93
IV.5.5 INVERTER.....	96
IV.6 SIMULASI SISTEM DENGAN MENGGUNAKAN HOMER.....	98

IV.7. SIMULASI SISTEM 1.....	98
IV.7.1 UNTUK BEBAN 1889 KWH/HARI DAN MINIMUM ENERGI TERBARUKAN SEBESAR 60%.....	101
IV.7.2 UNTUK BEBAN 1889 KWH/HARI DAN MINIMUM ENERGI TERBARUKAN SEBESAR 70%.....	103
IV.7.3 UNTUK BEBAN 1889 KWH/HARI DAN MINIMUM ENERGI TERBARUKAN SEBESAR 80%.....	106
IV.7.4 UNTUK BEBAN 1889 KWH/HARI DAN MINIMUM ENERGI TERBARUKAN SEBESAR 90%.....	109
IV.7.5 SIMULASI DENGAN BEBAN 2.007 MW/HARI.....	112
IV.7.6 SIMULASI DENGAN BEBAN 1,889 MW/HARI DENGAN HARGA DIESEL \$1.....	112
IV.8 ANALISA HASIL SIMULASI 1.....	113
IV.9 SIMULASI SISTEM 2.....	116
IV.9.1 UNTUK BEBAN 1889 KWH/HARI DAN MINIMUM ENERGI TERBARUKAN SEBESAR 60%.....	119
IV.9.2 UNTUK BEBAN 1889 KWH/HARI DAN MINIMUM ENERGI TERBARUKAN SEBESAR 70%.....	122
IV.9.3 UNTUK BEBAN 1889 KWH/HARI DAN MINIMUM ENERGI TERBARUKAN SEBESAR 80%.....	125
IV.9.4 UNTUK BEBAN 1889 KWH/HARI DAN MINIMUM ENERGI TERBARUKAN SEBESAR 90%.....	128
IV.9.5 SIMULASI UNTUK BEBAN 2.007 MW/HARI.....	131

IV.9.6 SIMULASI UNTUK BEBAN 1,889 MW/HARI DAN HARGA DIESEL \$1...	131
IV.9.7 HASIL SIMULASI DENGAN JUMLAH BEBAN 2,007 MW/HARI DAN HARGA DIESEL\$1 .....	132
IV.10 ANALISA HASIL SIMULASI 2 .....	132
IV.11 ANALISA PERBANDINGAN KEDUA SIMULASI.....	136
IV.11.1 PERBANDINGAN NILAI NET PRESENT COST.....	136
IV.11.2 PERBANDINGAN BIAYA OPERASI.....	137
IV.11.3 PERBANDINGAN DAYA OUTPUT PV.....	138
IV.11.4 PERBANDINGAN NILAI BIAYA PEMBANGKITAN.....	138
IV.12 ANALISA EMISI PADA SISTEM HIBRID.....	139
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1 SIMPULAN.....	142
V.2 SARAN.....	143
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

GAMBAR 2.1 GRAFIK PENURUNAN BIAYA PRODUKSI LISTRIK PER KWH.....	6
GAMBAR 2.2 GAMBAR JENIS-JENIS TURBIN ANGIN.....	9
GAMBAR 2.3 GRAFIK PENGARUH KETINGGIAN PERMUKAAN TANAH TERHADAP KECEPATAN ANGIN.....	19
GAMBAR 2.4 CONTOH SISTEM PV STANDART.....	23
GAMBAR 2.5 KONSTRUKSI DASAR SEL FOTOVOLTAIC.....	25
GAMBAR 2.6 KARAKTERISTIK MODUL FOTOVOLTAIK KETIKA ADA CAHAYA DAN TIDAK ADA CAHAYA.....	26
GAMBAR 2.7 CONTOH-CONTOH PEMASANGAN SOLAR PANEL.....	27
GAMBAR 2.8 PENAMPANG DASAR BATERAI.....	30
GAMBAR 2.9 DIAGRAM AC/DC CONTROL RECTRIFIER 3 FASA.....	32
GAMBAR 2.10 DIAGRAM DC/AC INVERTER 3 FASA.....	33
GAMBAR 2.11 CONTOH HIBRID SYSTEM ANGIN DAN DIESEL.....	35
GAMBAR 2.12 SKEMA BUS BEBAN PADA SISTEM HIBRID.....	37
GAMBAR 3.1 CONTOH KURVA BEBAN.....	41
GAMBAR 3.2 TREN PENINGKATAN HARGA MINYAK DUNIA.....	46
GAMBAR 3.3 PERBANDINGAN BIAYA TOTAL DARI PEMBANGKIT HIBRID DAN DIESEL PADA SITUS TANZANIA.....	48

GAMBAR 3.4 PERBANDINGAN BIAYA TOTAL DARI PEMBANGKIT HIBRID DAN DIESEL PADA SITUS DI INDIA.....	48
GAMBAR 3.5 GRAFIK PERBANDINGAN BIAYA PENGEMBANGAN JARINGAN ANTARA SISTIM HIBRID DAN LISTRIK KONVENSIONAL.....	49
GAMBAR 3.6 SKEMA SISTIM HYBRID KONFIGURASI SERI.....	50
GAMBAR 3.7 SKEMA SOSTEM HIBRID KONFIGURASI SWITCHED.....	53
GAMBAR 3.8 SISTEM HIBRID DC COUPLING.....	55
GAMBAR 3.9 SISTEM HIBRID AC COUPLING.....	56
GAMBAR 3.10 TAMPILAN ANTARAMUKA STANDATR HOMER.....	56
GAMBAR 3.11 TAMPILAN ANTARAMUKA INPUT KOMPONEN HOMER.....	61
GAMBAR 3.12 TAMPILAN ANTARAMUKA INPUT DATA BAHAN BAKAR HOMER.....	63
GAMBAR 3.13 TAMPILAN ANTARAMUKA INPUT PV DATA HOMER.....	66
GAMBAR 3.14 TAMPILAN ANTARAMUKA INPUT DATA TURBIN ANGIN HOMER.....	67
GAMBAR 3.15 TAMPILAN ANTARAMUKA INPUT DATA BATERAI HOMER.....	68
GAMBAR 3.16 TAMPILAN ANTARAMUKA INPUT KONVERTER DATA HOMER.....	69
GAMBAR 3.17 TAMPILAN ANTARAMUKA INPUT DATA GENERATOR HOMER.....	71
GAMBAR 3.18 TAMPILAN ANTARAMUKA SIMULASI EKONOMI HOMER.....	72

GAMBAR 4.1 PULAU LAE-LAE.....	77
GAMBAR 4.2 TAMPILAN INPUT BEBAN PULAU LAE-LAE.....	79
GAMBAR 4.3 KURVA BEBAN PULAU LAE-LAE.....	81
GAMBAR 4.4 TAMPILAN INPUT BEBAN PULAU LAE LAE.....	81
GAMBAR 4.5 GRAFIK INDEK MATAHARI.....	83
GAMBAR 4.6 TAMPILAN SOLAR DATA INPUT.....	83
GAMBAR 4.7 GRAFIK KECEPATAN ANGIN.....	84
GAMBAR 4.8 INPUT DATA ANGIN.....	85
GAMBAR 4.9 SKEMA SISTEM HIBRID YANG DISIMULASIKAN.....	86
GAMBAR 4.10 PEMBANGKIT DIESEL YANG ADA DI PULAU LAE-LAE.....	87
GAMBAR 4.11 GENERATOR INPUT PADA HOMER.....	87
GAMBAR 4.12 PANEL PV.....	89
GAMBAR 4.13 TAMPILAN MENU PV PADA SISTIM LAE-LAE.....	90
GAMBAR 4.14 VERTICAL AXIS WIND TURBINE 250 KW.....	91
GAMBAR 4.15 CONTOH PENGGUNAAN TURBIN ANGIN.....	91
GAMBAR 4.16 KURVA KARATERISTIK TURBIN ANGIN.....	92
GAMBAR 4.17 TAMPILAN MENU TURBIN ANGIN YANG DIPAKAI PADA SIMULASI.....	93
GAMBAR 4.18 BATRAI TROJAN L16P.....	94
GAMBAR 4.19 GRAFIK PERFORMANCE TROJAN L16P.....	94
GAMBAR 4.20 BATERAI DETAIL YANG DIGUNAKAN DALAM SIMULASI.....	95
GAMBAR 4.21 TAMPILAN MENU BATERAI YANG DIGUNAKAN	

DI SIMULASI PULAU LAE-LAE.....	96
GAMBAR 4.22 TAMPILAN INVERTER YANG DIGUNAKAN PADASIMULASI.....	97
GAMBAR 4.23 TAMPILAN MENU INVERTER PADA SIMULASI.....	97
GAMBAR 4.24 HASIL SIMULASI HOMER.....	98
GAMBAR 4.25 HASIL SIMULASI EKONOMIS HOMER.....	99
GAMBAR 4.26 KONFIGURASI PEMBANGKITAN PERBULAN.....	100
GAMBAR 4.27 HASIL SIMULASI HOMER.....	101
GAMBAR 4.28 HASIL EKONOMIS HOMER.....	102
GAMBAR 4.29 KONFIGURASI PEMBANGKITAN PERBULAN.....	103
GAMBAR 4.30 HASIL SIMULASI HOMER.....	103
GAMBAR 4.31 HASIL EKONOMIS HOMER.....	104
GAMBAR 4.32 KONFIGURASI PEMBANGKITAN PERBULAN.....	105
GAMBAR 4.33 HASIL SIMULASI HOMER.....	106
GAMBAR 4.34 HASIL EKONOMIS HOMER.....	107
GAMBAR 4.35 KONFIGURASI PEMBANGKITAN PERBULAN.....	108
GAMBAR 4.36 HASIL SIMULASI HOMER.....	109
GAMBAR 4.37 HASIL EKONOMIS HOMER.....	110
GAMBAR 4.38 KONFIGURASI PEMBANGKITAN PERBULAN.....	111
GAMBAR 4.39 GRAFIK KARATERISTIK BIAYA OPERASI.....	113
GAMBAR 4.40 GRAFIK HUBUNGAN KENAIKAN ENERGI TERBARUKAN	

TERHADAP PRODUKSI DAYA PV DAN TURBIN ANGIN.....	114
GAMBAR 4.41 HUBUNGAN KENAIKAN PERSENTASE ENERGI TERBARUKAN DENGAN BIAYA PRODUKSI DAN BIAYA BAHAN BAKAR.....	115
GAMBAR 4.42 HASIL SIMULASI HOMER.....	116
GAMBAR 4.43 TAMPILAN HASIL EKONOMIS HOMER.....	117
GAMBAR 4.44 KONFIGURASI PEMBANGKITAN PERBULAN.....	118
GAMBAR 4.45 HASIL SIMULASI HOMER.....	119
GAMBAR 4.46 TAMPILAN HASIL EKONOMIS HOMER.....	120
GAMBAR 4.47 KONFIGURASI PEMBANGKITAN PERBULAN.....	121
GAMBAR 4.48 HASIL SIMULASI HOMER.....	122
GAMBAR 4.49 TAMPILAN HASIL EKONOMIS HOMER.....	123
GAMBAR 4.50 KONFIGURASI PEMBANGKITAN PERBULAN.....	124
GAMBAR 4.51 HASIL SIMULASI HOMER.....	125
GAMBAR 4.52 TAMPILAN HASIL EKONOMIS HOMER.....	126
GAMBAR 4.53 KONFIGURASI PEMBANGKITAN PERBULAN.....	127
GAMBAR 4.54 HASIL SIMULASI HOMER.....	128
GAMBAR 4.55 TAMPILAN HASIL EKONOMIS HOMER.....	129
GAMBAR 4.56 KONFIGURASI PEMBANGKITAN PERBULAN.....	130
GAMBAR 4.57 GRAFIK KARATERISTIK BIAYA OPERASI.....	132
GAMBAR 4.58 GRAFIK KONFIGURASI OPTIMUM PEMBANGKIT.....	133
GAMBAR 4.59 GRAFIK HUBUNGAN KENAIKAN ENERGI TERBARUKAN	

TERHADAP PRODUKSI DAYA PV DAN TURBIN ANGIN.....	134
GAMBAR 4.60 HUBUBGAN BIAYA OPERASI DAN BIAYA BAHAN BAKAR DAN PERSENTASE ENERGI TERBARUKAN.....	135
GAMBAR 4.61 PERBANDINGAN NPC SIMULASI 1 DAN SIMULASI 2.....	136
GAMBAR 4.62 GRAFIK PERBANDINGAN BIAYA OPERASI.....	137
GAMBAR 4.63 PERBANDINGAN DAYA OUTPUT PV SIMULASI 1 DAN SIMULASI 2.....	138
GAMBAR 4.64 PERBANDINGAN BIAYA PEMBANGKITAN.....	139
GAMBAR 4.65 GRAFIK PERBANDINGAN NILAI EMISI SIMULASI 1 DAN SIMULASI 2.....	141

## DAFTAR TABEL

TABEL III.1 PERKEMBANGAN DAYA ENERGI LISTRIK DI NEGARA-NEGARA BESAR DUNIA.....	8
TABEL IV.1 BEBAN LISTRIK DI PULAU LAE LAE.....	79
TABEL IV.2 PERKIRAAN BEBAN PULAU LAE-LAE.....	79
TABEL IV.3 DATA INDEKS RADIASI MATAHARI DAN KECEPATAN ANGIN PER BULAN.....	82
TABEL IV.4 KARATERISTIK BEBAN TURBIN ANGIN.....	92
TABEL IV.5 HASIL SIMULASI TEROPTIMUM UNTUK BEBAN 2.007 MW/HARI.....	112
TABEL IV.6 HASIL SIMULASI OPTIMUM UNTUK HARGA DIESEL SEBESAR \$1.....	112
TABEL IV.7 HASIL SIMULASI TEROPTIMUM UNTUK BEBAN 2,007 MW/HARI.....	131
TABEL IV.8 HASIL SIMULASI UNTUK HARGA DIESEL SEBESAR \$1 DENGAN BEBAN 1,889 MW/HARI.....	132
TABEL HASIL SIMULASI UNTUK HARGA DIESEL SEBESAR \$1 DENGAN BEBAN 2,007 MW/HARI.....	132

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **I.1 Latar Belakang Masalah**

Energi mempunyai peranan penting dalam pencapaian tujuan sosial, ekonomi, dan lingkungan untuk pembangunan berkelanjutan, serta merupakan pendukung bagi kegiatan ekonomi nasional. Penggunaan energi di Indonesia meningkat pesat sejalan dengan pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk. Sedangkan, akses ke energi yang andal dan terjangkau merupakan pra-syarat utama untuk meningkatkan standar hidup masyarakat.

Untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat tersebut, dikembangkan berbagai energi alternatif, di antaranya energi terbarukan. Potensi energi terbarukan, seperti: biomassa, biogas, panas bumi, energi surya, energi air, energi angin dan energi samudera, sampai saat ini belum banyak dimanfaatkan, padahal potensi energi terbarukan di Indonesia sangatlah besar.

Energi surya merupakan salah satu energi yang sedang giat dikembangkan saat ini oleh Pemerintah Indonesia. Sebagai negara tropis, Indonesia mempunyai potensi energi surya yang cukup besar. Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia, radiasi surya di Indonesia dapat diklasifikasikan berturut-turut sebagai berikut: untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran di Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar  $4,5 \text{ kWh/ m}^2 / \text{hari}$  dengan variasi bulanan sekitar 10%; dan di Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar  $5,1 \text{ kWh/ m}^2 / \text{hari}$  dengan variasi

bulanan sekitar 9%. Dengan demikian, potensi angin rata-rata Indonesia sekitar 4,8 kWh/m<sup>2</sup> /hari dengan variasi bulanan sekitar 9%.

Untuk memanfaatkan potensi energi surya tersebut, ada 2 (dua) macam teknologi yang sudah diterapkan, yaitu teknologi energi surya termal dan energi surya fotovoltaik. Energi surya termal pada umumnya digunakan untuk memasak (kompor surya), mengeringkan hasil pertanian (perkebunan, perikanan, kehutanan, tanaman pangan) dan memanaskan air. Energi surya fotovoltaik digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik, pompa air, televisi, telekomunikasi, dan lemari pendingin di Puskesmas dengan kapasitas total  $\pm$  6 MW.

Pulau Lae-Lae adalah pulau terdekat dengan kota Makassar dengan jarak sekitar 2 Km dari bibir pantai Makassar dengan penduduk sekitar 400 KK pastinya memerlukan energi listrik yang tidak sedikit, akan tetapi karena merupakan sebuah pulau kecil maka tidak mendapatkan pasokan listrik dari PLN

Maka untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut maka sebagian besar penduduk menggunakan tenaga diesel untuk membangkitkan tenaga listrik, karena memakai tenaga diesel maka biaya yang diperlukan juga semakin besar maka penggunaan listrik tidak maksimal

Maka untuk mengatasi hal itu diperlukan sistem pembangkitan yang lebih baik dan lebih ekonomis serta menggunakan energy terbarukan

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana mensimulasikan suatu sistem pembangkitan hibrid yang lebih ekonomis yang bisa memasok kebutuhan daya di pulau tersebut
2. Bagaimana menghitung biaya produksi, biaya pembuatan dari sistem tersebut
3. Jenis dan konfigurasi pembangkit yang dipakai

## **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Mendapatkan konfigurasi dan jenis pembangkit yang cocok dipakai di pulau tersebut serta aspek biayanya
2. Menganalisis hasil simulasi tersebut berdasarkan dari aspek sensitifitas yang digunakan

## **1.4 Batasan Masalah**

1. Hanya merancang penggunaan beban harian rata-rata
2. Perancangan dibatasi pada poses pembangkitan daya listrik tidak termasuk sistem distribusi maupun instalasi
3. Variabel Sensifitas yang digunakan adalah jumlah beban, harga diesel, dan persentase energi terbarukan

## **1.5 Metode Penelitian**

Metode yang digunakan dalam pembahasan tugas akhir ini adalah:

### **1. Metode Observasi**

Suatu cara pengumpulan data dengan melakukan pengamatan langsung terhadap alat dan proses yang dijadikan objek permasalahan.

### **2. Metode Pengambilan Data**

1. Metode deskriptif yaitu pengambilan data secara langsung .

2. Metode diskusi yaitu mengadakan diskusi dengan pihak praktisi.

3. Metode Analisa Data

Yaitu perhitungan yang terkait dengan tujuan penelitian berdasarkan data yang diperoleh dilakukan perhitungan .

4. Metode Studi Literatur dan Studi Pustaka

Yaitu mengadakan studi dari buku, internet dan sumber bahan pustaka atau informasi lainnya yang terkait dengan materi yang penulis bahas dalam tulisan ini

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan tugas akhir ini terbagi dalam lima bab dengan harapan maksud dan tujuan dari penulisan ini dapat terangkum seluruhnya.

Pembagian bab tersebut adalah sebagai berikut :

Bab I Merupakan pendahuluan, yang berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, metode penulisan dan sistematika penulisan.

Bab II Landasan teori, mencakup teori-teori yang berkaitan dengan operasi ekonomis pembangkit tenaga listrik.

Bab III Berisikan teori pendukung dan metode analisis.

Bab IV Merupakan pemaparan data yang diperoleh serta pembahasan penerapan metode perhitungan .

Bab V Merupakan penutup yang terdiri dari kesimpulan dan saran.

## **BAB II**

### **TEORI DASAR**

#### **II.1 Sumber-Sumber Energi Terbarukan**

Dewasa ini penggunaan sumber-sumber energi terbarukan sangat giat ditingkatkan dalam rangka memperoleh energi yang lebih bersih, hal ini sejalan dengan kesadaran manusia yang lebih tinggi mengenai pentingnya kelestarian lingkungan oleh karena salah satu kelebihan energi terbarukan adalah lebih ramah lingkungan karena nyaris tidak memiliki dampak emisi baik secara langsung maupun tidak langsung terhadap lingkungan contoh energi terbarukan yang banyak dikembangkan antara lain energi angin, energi surya, panas bumi, biomassa dll.

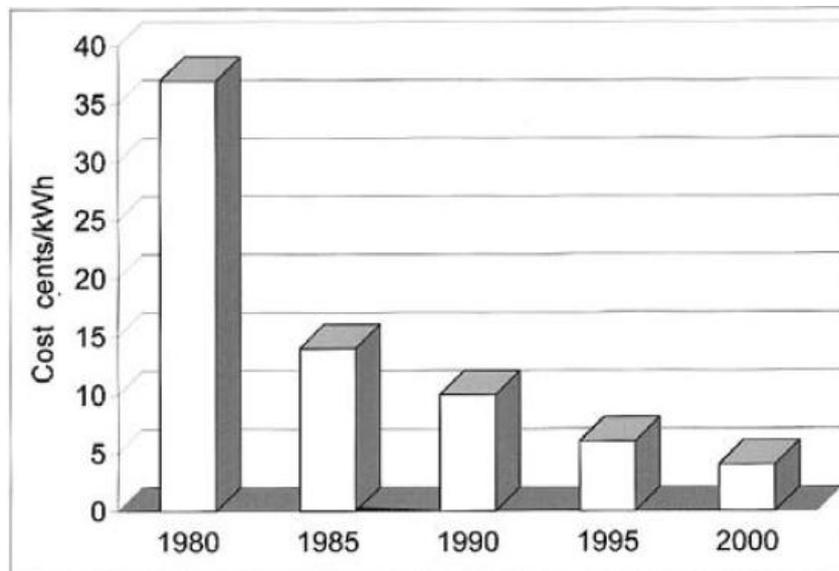
#### **II.2 Sejarah Penggunaan Tenaga Angin**

Penggunaan tenaga angin pertama kali digunakan untuk berlayar di sungai nil 5000 tahun yang lalu. Di eropa penggunaannya dimulai untuk menggiling gandum dan memompa air pada abad tahun 1700 . Kincir angin pertama yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik ada di daerah pedesaan Amerika pada tahun 1890 [1] dan dewasa ini penggunaan energi angin bersaing dengan jenis energi lainnya untuk mensuplay energi ramah lingkungan di berbagai belahan dunia.

Besar daya listrik yang dibangkitkan oleh satu unit pembangkit angin dapat mencapai 300 kW dan sedang dilakukan penelitian berbagai negara untuk membuat PLTAngin dengan daya sebesar 0,5 MW- 1 MW

Pengembangan desain turbin dan sistem pembangkitan telah mengakibatkan penurunan biaya listrik per KWH menggunakan tenaga angin yaitu dari 0,35 \$ per KWH pada tahun 1980 menjadi 0,05 \$ pada tahun 1997 pada harga tersebut energi angin menjadi salah satu energi murah yang ada.

[1]



**Gambar 2.1 Grafik penurunan biaya produksi listrik per KWh [1]**

Salah satu faktor yang membuat tenaga angin berkembang dengan pesat antara lain

1. Perkembangan serat karbon yang kuat yang dapat dibuat menjadi bilah baling-baling yang lebih murah
2. Penurunan harga-harga peralatan-peralatan tenaga listrik

3. Perkembangan efisiensi sistim tenaga listrik yang semakin lama semakin baik
4. Nilai ekonomi dari sistim tenaga dan peralatan listrik yang semakin besar

### **II.2.1. Perkembangan Energi Angin di Dunia**

Perkembangan pengembangan energi angin di dunia telah menjadi salah satu jenis energi yang paling menjanjikan dewasa ini. Bahkan banyak negara di dunia menjadikan penggunaan energi angin menjadi program pemerintahnya.

Bahkan badan energi internasional (IEA) yang didanai oleh 14 negara bersama-sama melakukan penelitian bersama dan pertukaran informasi dibidang energi angin. dimulai pada tahun 1995 telah lebih dari 25000 sistim tenaga angin telah dipasang di negara-negara anggota IEA sebesar 3500 MW energi listrik dan secara kumulatif menghasilkan energi listrik sebesar 6 juta KWH tiap tahunnya dan terus berkembang setiap tahunnya

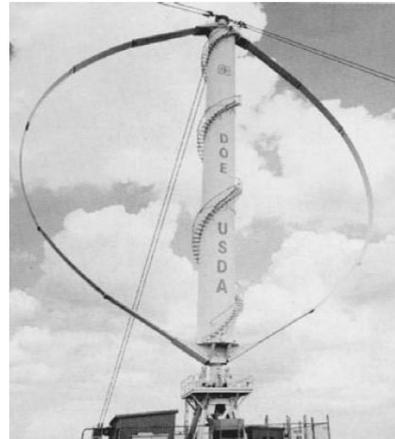
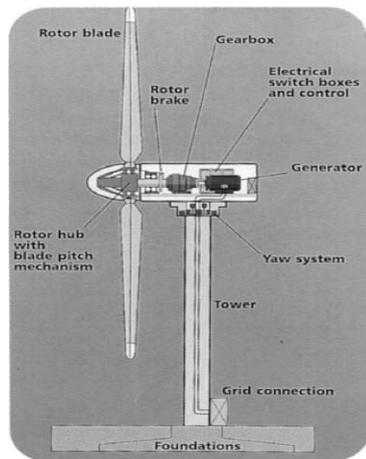
**Tabel 2.1 Tabel perkembangan daya energi listrik di negara-negara besar dunia [1]**

Country	1994	1995	1997	Growth	Annual Growth Rate
	MW	MW	MW	1994-1995 Percent	1995-97 Percent
Germany	643	1136	2079	76.7	35.2
United States	1785	1828	2000	2.4	4.7
Denmark	540	614	1141	13.7	36.3
India	182	565	1000	210	33.0
Netherlands	153	259	325	69	12.0
United Kingdom	147	193	308	31	26.3
Spain	72	145	455	100	77.1
China	30	36	—	20	—
TOTAL	3552	4776	7308	35.4	23.7

### II.2.2. Kecepatan angin dan distribusi energi.

Turbin angin berfungsi pada dasarnya mengubah energi kinetik dari angin melalui dua atau lebih bilahnya yang digandengkan dengan generator listrik. Turbin tersebut biasanya dipasang di sebuah dudukan menara dengan tujuan memaksimalkan energi yang didapatkan dan biasanya dipasang ditempat yang disebut dengan padang angin. Dimana ditempat tersebut paling memiliki aliran angin yang konstan sepanjang tahun.

Secara garis besar terdapat 2 jenis rancangan turbin yaitu turbin sudut horizontal dan turbin sudut vertikal akan tetapi yang lebih berkembang pesat adalah turbin sudut horizontal



Gambar 2.2 Jenis-Jenis Turbin Angin [1]

### II.2.3. Hubungan Antara Kecepatan Dan Tenaga Pada Angin

Energi kinetik pada massa tertentu ( $m$ ) yang bergerak pada kecepatan ( $v$ ) pada satuan SI adalah

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \text{ Joules} \quad (2.1)$$

Sedangkan pada angin hubungannya menjadi

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot (\text{massa udara yang mengalir perdetik}) \cdot v^2$$

Jika :  $P$  = energi mekanik udara yang mengalir

$$\rho = \text{masa jenis udara (kg/m}^3\text{)}$$

$$A = \text{luas penampang bilah kincir angin (m}^2\text{)}$$

$$V = \text{kecepatan angin (m/s)}$$

Dan bila jumlah massa udara yang bergerak adalah  $\rho VA$  maka daya yang dibangkitkan adalah

$$P = \frac{1}{2} (\rho VA) \cdot v^2 = \frac{1}{2} \rho A v^3 \text{ watt} \quad (2.2)$$

Dua lokasi yang potensial dapat dibandingkan dengan menggunakan nilai dari jumlah daya (watt) per meter persegi area yang tersapu oleh bilah kincir angin.

#### II.2.4 Daya Listrik Yang Dihasilkan Oleh PLTA Angin

Daya yang dikonversi oleh bilah rotor kincir pembangkit akan berbeda pada tiap-tiap tingkat kecepatan angin yang melewatinya atau secara rumus dapat ditulis sebagai berikut:

$$P_o = \frac{1}{2} \text{ jumlah aliran massa perdetik} \cdot \{V^2 - V_o^2\} \quad (2.2)$$

Dimana :

$P_o$  = Daya yang dibangkitkan oleh rotor (daya yang dibangkitkan oleh turbin)

$V$  = Kecepatan angin awal ketika memasuki rotor

$V_o$  = Kecepatan angin Akhir ketika keluar dari rotor

Karena perbedaan kecepatan angin ketika memasuki rotor pembangkit dan keluar dari pembangkit yang dapat diabaikan maka rumus jumlah aliran massa dapat diubah menjadi

$$\text{Jumlah aliran massa udara perdetik} = \rho \cdot A \cdot \frac{V + V_o}{2} \quad (2.3)$$

Sedangkan jumlah daya dari rotor yang diubah menjadi energi listrik di generator adalah

$$P_o = \frac{1}{2} \left[ \rho \cdot A \cdot \frac{(V + V_o)}{2} \right] \cdot (V^2 - V_o^2) \quad (2.4)$$

Bila disederhanakan akan menjadi

$$P_o = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \frac{\left(1 + \frac{V_o}{V}\right) \left[1 - \left(\frac{V_o}{V}\right)^2\right]}{2} \quad (2.5)$$

Jumlah daya yang diekstraksi oleh bilah kincir biasanya dinyatakan dengan menggunakan kecepatan awal dari angin atau secara rumus ditulis

$$P_o = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot C_p \quad (2.6)$$

Dimana  $C_p$  biasa disebut juga sebagai konstanta tenaga dari rotor atau rotor efisiensi dan sangat bergantung pada nilai kecepatan angin ketika memasuki bilah kincir dan ketika keluar dari bilah kincir.

Secara teori nilai maksimum dari  $C_p$  tersebut adalah 0,59 akan tetapi secara praktek nilainya sangat bergantung pada jenis generator dan jenis bilah kincirnya. Sebagai contoh nilai  $C_p$  maksimal yang dapat dicapai adalah dibawah 0,5 untuk kincir 2 bilah berkecepatan tinggi sedangkan untuk kincir yang memiliki jumlah bilah yang banyak serta kecepatan rendah maka nilai  $C_p$  yang biasanya didapat berkisar antara 0,2 sd 0,4. Sehingga di dapat kesimpulan daya maksimum yang dapat dibangkitkan oleh sebuah kincir angin adalah

$$P_{\max} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot 0.59 \quad (2.7)$$

Atau secara simpelnya dapat ditulis menjadi

$$P_{\max} = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot V^3 \text{ watts per m}^2 \quad (2.8)$$

### II.2.5 Daerah Sapuan Rotor

Dari persamaan daya output diatas maka jumlah output yang akan dihasilkan akan mempunyai hubungan yang linear dengan daerah sapuan dari rotor kincir angin. Dimana untuk kincir sudut horizontal luas sapuan rotor dapat dirumuskan sebagai berikut

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (2.9)$$

Dimana D = diameter dari rotor

Menurut penelitian jenis rotor yang paling efektif untuk kincir angin ialah jenis 2 bilah kincir [1]. Penggunaan lebih banyak bilah kincir dapat mengakibatkan massa bilah yang lebih besar dan pada akhirnya dapat mempengaruhi kecepatan putar.

## II.2.6. Massa Jenis Udara

Tenaga dari angin mempunyai hubungan yang linear dengan kerapatan udara ketika mengenai bilah kincir. Nilai dari massa jenis tersebut sangat bergantung dari tekanan udara, suhu udara dimana secara rumus dapat dituliskan sebagai berikut

$$\rho = \frac{p}{R \cdot T} \quad (2.10)$$

Dimana  $p$  = tekanan udara

$T$  = Suhu Udara

$R$  = Konstanta gas

Massa jenis udara di permukaan laut dimana tekanan udara sama dengan 1 atm dan suhu 60 F sama dengan 1.225 kg/m<sup>3</sup>. Berdasarkan rumus diatas maka dapat diketahui besar massa jenis udara berbeda-beda disetiap tempat dan dipengaruhi pula oleh ketinggian tepat tersebut hal ini disebabkan karena ketinggian akan mempengaruhi suhu maupun tekanan udara. Kombinasi dari hubungan tersebut akan berlaku sampai dengan ketinggian 6000 meter diatas permukaan laut secara rumus dapat ditunjukkan sebagai berikut

$$\rho = \rho_0 \cdot e^{-\left\{\frac{0.297 H_m}{3048}\right\}} \quad (2.11)$$

Dimana  $H_m$  adalah ketinggian

Persamaan diatas juga dapat disederhanakan menjadi

$$\rho = \rho_o - 1.194 \cdot 10^{-4} \cdot H_m \quad (2.12)$$

Massa jenis udara dapat berubah secara signifikan pada daerah yang memiliki ketinggian yang besar contohnya pada daerah yang ketinggiannya 2000 meter massa jenis udara sebesar  $0,986 \text{ kg/m}^3$  20 persen lebih rendah daripada massa jenis udara di permukaan laut.

Sedangankan perubahan suhu pada perubahan ketinggian dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini

$$T = 15.5 - \frac{19.83 H_m}{3048} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.13)$$

### II.2.7 Pola angin global

Pola angin global disebabkan oleh pemanasan yang tidak merata serta proses perputaran bumi. Prosesnya ialah ketika Udara hangat yang naik di sekitar ekuator akan meninggalkan ruang hampa dibawahnya yang akan diisi oleh udara yang lebih dingin proses tersebutlah yang mengakibatkan terjadinya dua pola aliran pokok angin di dunia yaitu Angin antara khatulistiwa dan sekitar  $30^\circ$  lintang utara dan lintang selatan bergerak dari timur ke barat. Ini disebut angin perdagangan karena digunakan oleh kapal yang berlayar untuk perdagangan.

Terdapat pula angin kecil di dekat khatulistiwa yang bergerak keatas dan tidak bergerak ke barat.

Di banyak negara di mana sistem cuaca datang dari berasal dari belahan barat, kecepatan angin di barat pada umumnya lebih tinggi daripada di timur. Dua komponen dari angin yaitu kecepatan dan arah digunakan secara umum dalam menggambarkan dan memprakirakan cuaca.

Kecepatan dapat diukur dengan alat yang disebut anemometer yang terdiri beberapa jenis. Yang paling umum memiliki tiga atau empat cangkir melekat pada poros yang berputar. Angin memutar cangkir dan poros. Kecepatan sudut dari perputaran poros di konversi menjadi kecepatan linear angin. Di Amerika, kecepatan angin menggunakan satuan mil per jam atau di mil laut per jam (knots). Sedang di negara lain menggunakan km/jam maupun m/s.

Arah angin diukur dengan suatu alat yang disebut bendera angin . dimana arah angin dapat diketahui dengan melihat kemana arah bendera tersebut berputar. Arah angin sering ditunjukkan dalam hal skala  $360^{\circ}$  melingkar. Pada skala tersebut,  $0^{\circ}$  menunjukkan utara,  $90^{\circ}$  menunjukkan timur,  $180^{\circ}$  menunjukkan selatan, dan  $270^{\circ}$  menunjukkan arah barat

Sebuah sensor optik yang dikembangkan di Institut Teknologi Georgia akan segera mengganti anemometer konvensional dan meningkatkan akurasi pengukuran. anemometer mekanik hanya dapat

mendapatkan bacaan data di satu lokasi di mana ia ditempatkan. Sedang untuk mengukur kecepatan angin ditempat yang luas dapat menggunakan Sebuah array kompleks anemometer tradisional untuk memonitor kecepatan angin di wilayah yang besar seperti di sebuah ladang angin. Dengan sensor optik baru maka anemometer mampu mengukur kecepatan rata-rata dan arah untuk jauh dan lebih akurat daripada anemometer mekanis.

### **II.2.8 Distribusi Kecepatan Angin**

Kecepatan angin adalah data yang paling penting yang dibutuhkan untuk menilai potensi calon tempat yang akan kita gunakan sebagai tempat pembangkit listrik tenaga angin. Angin tidak pernah stabil di suatu tempat manapun. Hal ini dipengaruhi oleh sistem cuaca, medan tanah lokal, dan ketinggian di atas permukaan tanah dan kecepatan angin bervariasi pada setiap menit, jam, hari, musim, dan tahun. Oleh karena itu, kecepatan rata-rata tahunan harus di dapatkan dari rata-rata data diatas 10 tahun atau lebih. menggunakan rata-rata jangka panjang meningkatkan kepercayaan dalam menilai potensi energi yang akan di dapat dari sebuah lokasi tertentu.

Namun, pengukuran jangka panjang yang mahal, dan proyek yang kadang-kadang tidak bisa menunggu selama itu sehingga membuat proses pengambilan data jangka panjang tersebut jarang bisa diwujudkan. Dalam situasi seperti itu data yang didapatkan bisa menggunakan data jangka

pendek katakanlah satu tahun data tersebut dibandingkan dengan data lokasi pembangkit terdekat yang memiliki data jangka panjang untuk memprediksi kecepatan angin jangka panjang tahunan di tempat yang sedang dipertimbangkan. Metode ini biasa disebut teknik “*measure, correlate and predict (mcp)*”

Karena angin didorong oleh matahari dan musim, pola angin umumnya terulang selama periode satu tahun. tempat angin biasanya digambarkan oleh kecepatan data rata-rata selama bulan kalender. Kadang-kadang, data bulanan tersebut dikumpulkan selama satu tahun untuk penyederhanaan dalam pelaporan “data angin” keseluruhan dari berbagai lokasi. Variasi kecepatan angin selama periode dapat digambarkan dengan fungsi distribusi probabilitas.

### II.2.9 Modus dan Kecepatan Rata-Rata Angin

Modus kecepatan didefinisikan sebagai kecepatan angin bertiup hampir sepanjang waktu. Atau dapat disebut juga kecepatan yang paling banyak terjadi di daerah tersebut. Sedangkan yang dimaksud kecepatan rata-rata dalam menghitung data angin ialah rata-rata kecepatan selama periode tertentu yang didefinisikan sebagai luas total di bawah kurva ketinggian dan kecepatan angin yang terintegrasi dari  $v = 0$  sampai  $\infty$  dibagi dengan jumlah jam pada periode (8760 jika jangka waktu satu tahun). Kecepatan rata-rata tahunan sehingga kecepatan rata-rata yang terukur dapat dirumuskan sebagai berikut

(2.13)

$$V_{mean} = \frac{1}{8760} \int_0^{\infty} h \cdot v \cdot dv$$

### II.2.10. Pengaruh ketinggian

Pergeseran angin di permukaan tanah menyebabkan kecepatan angin meningkat sesuai dengan ketinggian suatu tempat sesuai dengan rumus:

$$V_2 = V_1 \cdot \left( \frac{h_2}{h_1} \right)^\alpha \quad (2.14)$$

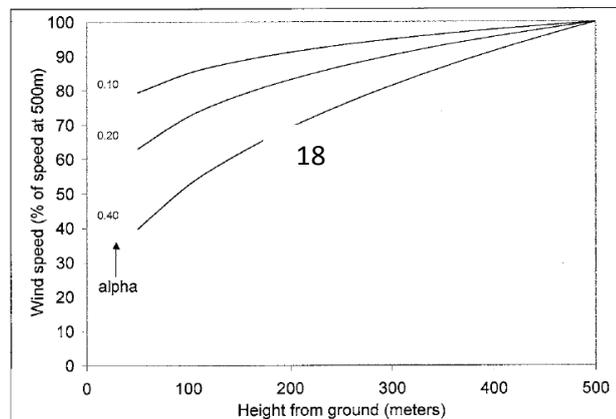
Dimana :  $V_1$  adalah kecepatan angin yang terukur di ketinggian  $h_1$

$V_2$  adalah kecepatan angin yang ingin di ketahui pada ketinggian  $h_2$

$\alpha$  adalah koefisien gesek permukaan dari daratan

Dimana nilai Koefisien gesek rendah untuk medan mulus dan tinggi untuk yang kasar. Akan tetapi pengaruh ketinggian tidak terjadi secara linear menurut suatu penelitian di meksiko pengaruhnya baru hanya sampai ketinggian 450 meter diatas permukaan laut setelah itu kecepatan angin menurun.

Secara grafik pengaruh ketinggian terhadap kecepatan angin dapat Dilihat pada tabel berikut ini.



**Gambar 2.3 Grafik pengaruh ketinggian permukaan tanah terhadap kecepatan angin [1]**

### II.2.11. Memprediksi kecepatan angin

Energi angin yang tersedia tergantung pada kecepatan angin, yang merupakan variabel yang acak. Dimana Untuk operator pembangkit dapat mengakibatkan kesulitan dalam sistem penjadwalan dan pengiriman energi sehingga jadwal ketersediaan tenaga angin tidak diketahui sebelumnya terutama energi angin tersebut berada pada suatu sistim interkoneksi bersama dengan pembangkit-pembangkit lainnya.

Namun, jika kecepatan angin dapat diperkirakan sampai beberapa jam sebelumnya maka dapat menghasilkan jadwal efisien untuk generator angin tersebut.

Untuk mengatasi hal tersebut *Alexiadis et Al2* telah mengusulkan suatu teknik baru untuk peramalan kecepatan angin dan output daya

hingga beberapa jam di muka. Teknik ini didasarkan pada penggabungan data di pembangkit terdekat (jika ada) dan jaringan sistim angin buatan.

Teknik yang diusulkan dapat secara signifikan meningkatkan akurasi peramalan dibandingkan dengan peramalan sebelumnya. Metode yang diusulkan baru dikalibrasi di lokasi yang berbeda selama periode 1 tahun.

#### **II.2.12. Sistim Tenaga Listrik Tenaga Angin**

Komponen-komponen sistim tenaga angin

1. menara.
2. turbin angin dengan dua atau tiga pisau.
3. mekanisme pengatur arah baling (seperti baling-baling ekor.)
4. gigi mekanik.
5. generator listrik.
6. sensor kecepatan dan kontrol.

Sedangkan pada sistim yang lebih modern terdapat

1. peralatan elektronik daya.
2. kontrol elektronik, biasanya dilengkapi komputer.
3. baterai untuk meningkatkan keandalan beban dalam sistim yang terisolasi
4. saluran transmisi menghubungkan jaringan ke jala-jala.

Karena momen besar inersia, maka muncul masalah dalam pengoperasian antara lain masalah starting awal, kontrol kecepatan selama menghasilkan daya operasi, dan menghentikan turbin bila diperlukan.

*The eddy current* atau jenis rem lainnya digunakan untuk menghentikan turbin bila diperlukan untuk contohnya pada keadaan darurat atau untuk pemeliharaan rutin.

Untuk pembangkit tenaga listrik angin yang terdiri dari lebih dari banyak unit sebaiknya menggunakan unit kontrol sendiri untuk operasional dan keamanan operasi.

### **1. Menara**

Menara adalah struktur yang menopang segala komponen pembangkit listrik tenaga angin seperti generator, bilah baling-baling, alat-alat kontrol dan lain-lain

Tinggi menara pada awalnya berkisar pada 20 sampai 50 meter. Tinggi menara pada kapasitas daya menengah dan besar sebaiknya sedikit lebih tinggi dari diameter bilah sedangkan pada pembangkit berdaya kecil biasanya tingginya sekitar beberapa kali dari panjang diameter bilah rotor ketinggian dari menara dimaksudkan untuk mendapatkan angin yang cukup kuat untuk memutar bilah baling-baling.

Konstruksi dasar dari menara dapat berupa tabung dan berbentuk jeruji (kisi-kisi)

Isu utama dalam desain menara adalah dinamika struktural. dimana getaran menara dan siklus pergerakan menara yang dihasilkan karena berfluktuasinya kecepatan angin yang mesti dihindari oleh para pendesain. Hal ini memerlukan perhitungan yang seksama terhadap semua frekuensi resonansi menara, frekuensi fluktuasi angin.

## **2. Bilah turbin**

Bilah turbin dapat terbuat dari kayu yang mempunyai kepadatan tinggi atau seratkaca maupun *epoxy* komposit. Turbin angin modern memiliki dua atau tiga bilah.

Tegangan mekanik yang tetap karena adanya gaya sentrifugal dan faktor kelelahan dan getaran terus menerus pada bilah baling-baling menjadikan bagian baling adalah bagian rentan dalam sistem. Maka dari itu desain baling-baling yang baik diperlukan untuk menghindari kegagalan atau kerusakan dini pisau. Maka dari itu sangat penting untuk selalu menjaga kecepatan bilah agar selalu berada pada batas aman.

Hal ini bukan hanya untuk mengankan bilah tapi juga mengamankan generator dari panas berlebih dan kelebihan daya.

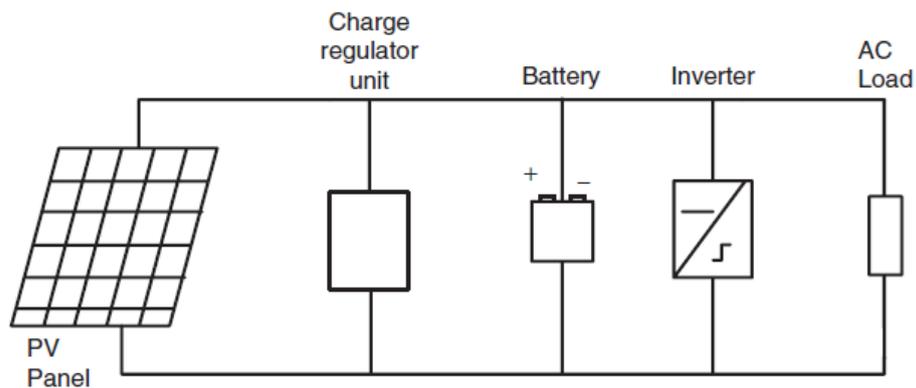
## **3. Pengatur Arah**

Pada umumnya pengontrol arah pada baling-baling kecil ialah sebuah sayap kecil yang terletak di belakang bilah baling-baling utama. Fungsi utamanya ialah mengarahkan baling-baling sesuai dengan arah datangnya angin. Akan tetapi pada unit pembangkit yang besar metode tersebut tidak dapat digunakan. Dan biasanya digunakan peralatan mekanik (motor) untuk melakukannya atas perintah operator kontrol

## II.3. Sel surya

### II.3.1. Sel foto voltaik

Secara umum dapat di katakan bahwa sel foto voltaik adalah suatu alat yang dapat mengubah secara langsung energi matahari menjadi energi listrik. Mekanisme kerja sel foto voltaik di dasarkan atas suatu fenomena yang di kenal sebagai efek foto voltaik yang di definisikan sebagai terbangkitnya suatu potensial listrik apabila terjadi ionisasi oleh radiasi di dekat suatu build in potensial barrier bahan semikonduktor



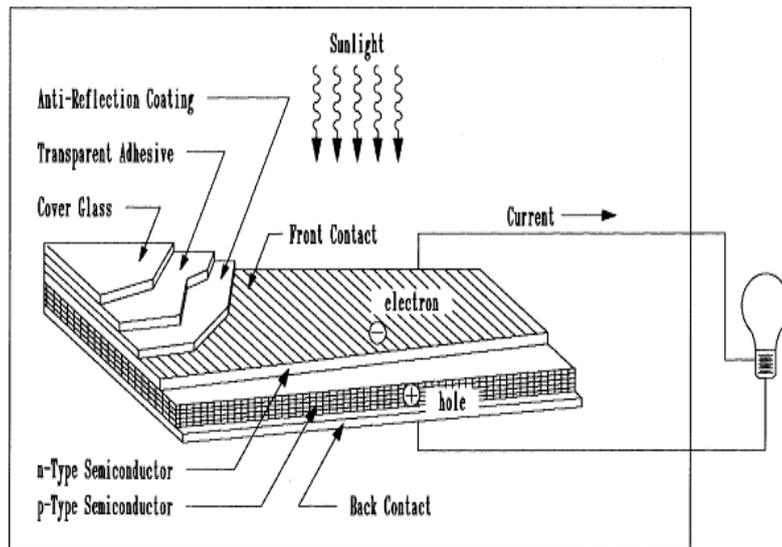
**Gambar 2.4 Contoh Sistem PV Standart [1]**

Pemanfaatan sel foto voltaik atau solar cell akan selalu memberikan energi listrik selama masih terdapat cahaya matahari. Dikatakan demikian karena energi matahari mempunyai beberapa faktor pendukung seperti ketersediaannya yang mudah di dapat apalagi di Negara Indonesia yang terletak di garis khatulistiwa yang kaya akan siraman cahaya matahari, faktor yang lain seperti bebas pencemaran atau

polusi udara dan air yang di akibatkan oleh pembakaran bahan hidrokarbon, walaupun prospek foto voltaik ini cukup cerah tetapi perlu di perhatikan bahwa bahwa untuk lingkungan yang taraf hujannya tinggi daya kerjanya akan menurun.

### **II.3.2 Teori Sel Surya**

Sel surya adalah kristal atau bubuk silikon yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik berupa listrik arus searah. Energi yang sampai dipermukaan bumi ini adalah dalam bentuk paket-paket gelombang elektromagnetik yang disebut photon. Tumbuhan photon pada bahan akan menghasilkan proses penyerapan oleh bahan dan menimbulkan kenaikan temperatur. Sebuah sel foto voltaik atau sel surya dibentuk oleh semi konduktor silikon atau bahan lainnya dimana setiap keping silikon dibuat dengan cara pembentukan sambungan bahan tipe p dan bahan tipe n yang sangat tipis dan kelihatannya tidak tembus cahaya tetapi sesungguhnya cahaya matahari mampu menembus sampai pada sampai lapisan batas antara bahan tipe n dan tipe p. Bila di sinari maka batas lapisan ini akan dapat di tembus dan terbentuklah lubang elektron. Medan listrik yang terdapat pada batas lapisan akan menghalangi lubang dan electron untuk berekombinasi kembali,dengan rangkaian tertutup maka aksi foto voltaik pada sel surya akan membuat arus mengalir. Konstruksi dasar sel fotovoltaiik pada gambar di bawah ini.

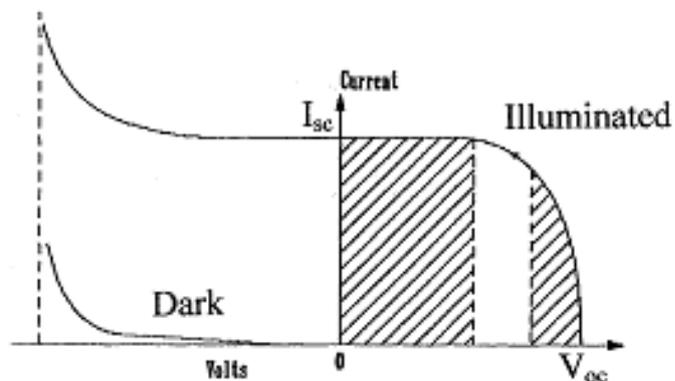


**Gambar 2.5 Konstruksi dasar sel foto voltaic [1]**

Pada permukaan bagian depan di berikan lapisan anti refleksi atau *anti reflective coating* untuk mengurangi hilangnya sinar yang telah di terima oleh solar sel. Pada modul sel surya terbagi menjad dua bagian di mana setiap sel surya mampu menghasilkan tegangan 0,5 – 0,7 volt yang terhubung secara seri di berikan by pass diode untuk melindungi dari penyinaran yang tidak merata dan juga blocking diode untuk mencegah arus listrik mengalir dari baterai kembali ke modul sel surya. Diode dengan tipe silikon mempunyai kerugian tegangan 0,7 volt sedangkan tipe germanium mempunyai kerugian 0,3 volt sehingga dioda yang di gunakan oleh pabrik adalah dioda germanium.

### II.3.3 Karakteristik sel fotovoltaik

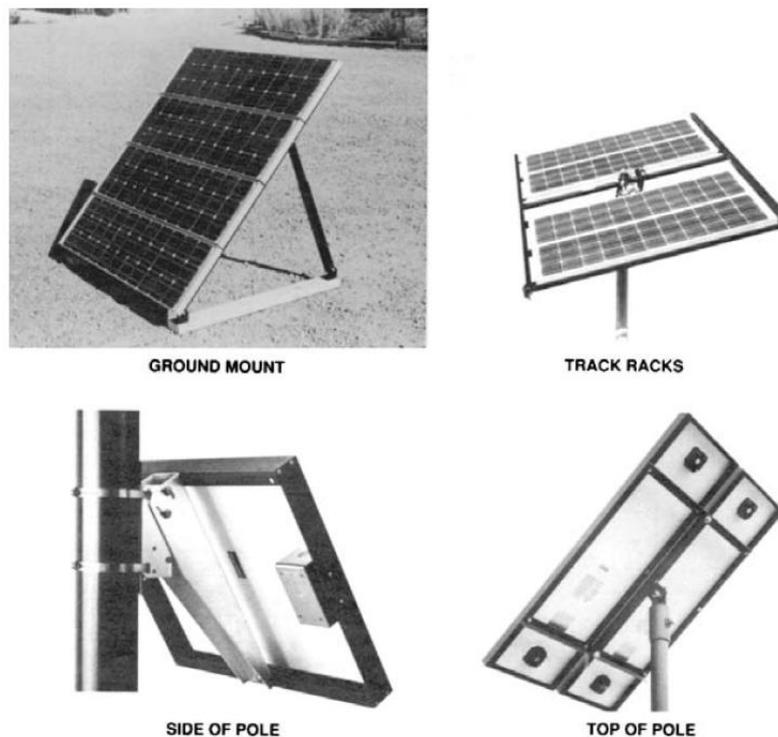
Ada beberapa karakteristik sel foto voltaik yang perlu di ketahui, karena hal ini penting nantinya dalam proses perencanaan dan pembuatan alat catu daya listrik tegangan surya. Karakteristik yang dimaksud antara lain.



**Gambar 2.6 Karakteristik modul fotovoltaik ketika ada cahaya dan tidak ada cahaya [1]**

Karakteristik listrik pada sel fotovoltaik umumnya di wakili oleh kurva tegangan dan arus ((i-v). gambar di atas menunjukkan karakteristik i-v dalam dua kondisi yaitu ketika matahari cerah dan ketika matahari tidak bersinar. Pada kuadran pertama, bagian kiri atas kurva tegangan nol yang disebut arus pendek rangkaian, ini adalah saat kita akan mengukur tegangan terminal keluaran yang terhubung singkat (tegangan nol). Bagian bawah kanan kurva saat arus adalah nol ini di sebut tegangan open sitkuit, ini adalah tegangan yang di ukur ketika terminal output terbuka. Pada daerah teduh, bagian kiri kurva sel bekerja seperti sumber

arus konstan, menghasilkan tegangan agar sesuai dengan resistansi bebannya. Di daerah teduh, bagian kanan kurva, arus turun dengan cepat dan dengan kenaikan tegangan yang kecil. Di daerah ini, sel bekerja seperti sumber tegangan konstan dengan resistansi internal. Daerah di antara dua daerah teduh, kurva mempunyai titik lutut.



**Gambar 2.7 Contoh-Contoh Pemasangan Solar Panel [1]**

## II.4 Penyimpanan Energi

Energi Listrik lebih banyak digunakan pada kehidupan sehari-hari karena merupakan bentuk yang sangat fleksibel karena yang dapat dikonversi secara efisien menjadi bentuk lain. Sebagai contoh, dapat dikonversi ke dalam bentuk energi mekanis dengan efisiensi mendekati 100 persen atau menjadi panas dengan efisiensi 100 persen.

Energi panas, di sisi lain, tidak dapat dikonversi menjadi listrik dengan efisiensi tinggi, karena merupakan bentuk energi yang berasal dari dalam atom. Untuk alasan ini, secara keseluruhan konversi termal untuk listrik, maka efisiensi pembangkit listrik tenaga panas fosil hanya berkisar di bawah 40 persen.

Kelemahan listrik adalah bahwa ia tidak dapat dengan mudah disimpan pada skala yang besar. Hampir semua energi listrik yang digunakan saat ini adalah energi listrik yang dihasilkan pada saat itu juga oleh pembangkit listrik.

Ini tidak menimbulkan kesulitan dalam pembangkit listrik konvensional, di mana konsumsi bahan bakar yang bervariasi dan disesuaikan dengan perubahan beban.

Sedang pada fotovoltaik dan angin merupakan sumber tenaga yang bersifat tidak tetap sehingga tidak dapat memenuhi permintaan beban setiap saat, 24 jam sehari, 365 hari dalam setahun.

Oleh karena itu mekanisme Penyimpanan energi merupakan sesuatu yang mutlak diperlukan pada sistem tenaga listrik terbarukan,

khususnya pada sistem yang berdiri sendiri. Hal ini dapat secara signifikan meningkatkan ketersediaan pasokan daya yang merupakan sebuah kunci persyaratan yang penting untuk sistem tenaga listrik.

#### **II.4.1. Perkembangan Penyimpanan Energi**

Untuk saat sekarang dan masa depan teknologi penyimpanan yang dapat dianggap sesuai untuk sistem tenaga listrik photovoltaik dan angin yang tidak terhubung dengan jala-jala antara lain

- elektrokimia baterai.
- superkonduktor lilitan.

Baterai menyimpan energi dalam bentuk elektrokimia, dan adalah yang paling banyak digunakan perangkat untuk penyimpanan energi dalam berbagai aplikasi. Dan memiliki efisiensi konversi satu arah dari 85 sampai 90 persen.

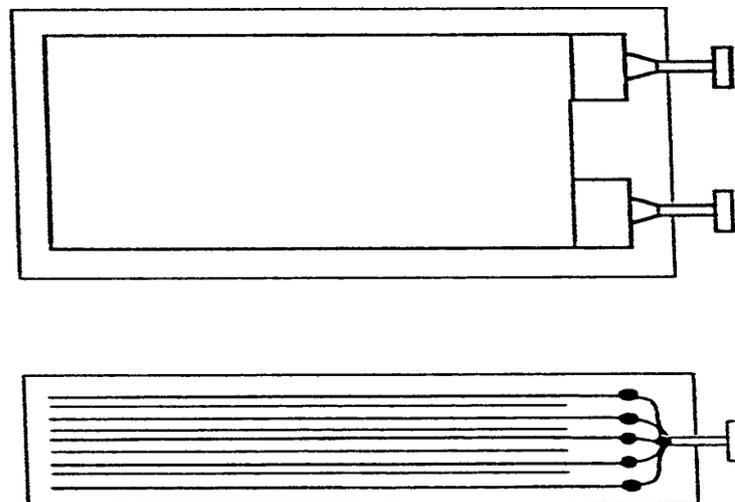
Terdapat 2 jenis baterai yang sering digunakan

1. baterai primer ialah baterai yang mengubah energi kimia ke dalam energi listrik. Reaksi elektrokimia pada baterai primer adalah nonreversible dengan kata lain baterai setelah dipakai dibuang.
2. Jenis baterai yang kedua disebut baterai sekunder, yang juga dikenal sebagai baterai isi ulang. Reaksi elektrokimia pada baterai sekunder adalah reversibel. Setelah dipakai maka dapat diisi ulang dengan menyuntikkan arus searah dari sumber eksternal. Jenis baterai mengkonversi kimia energi menjadi energi listrik dalam keadaan melepas daya. Dalam keadaan mengisi tenaga proses yang terjadi

adalah mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Dalam kedua keadaan tersebut sebagian kecil energi dikonversi menjadi panas, yang hilang kelingkuangan sekitarnya. dengan efisiensi konversi adalah antara 70 dan 80 persen.

#### II.4.2. Konstruksi internal sel elektrokimia

Struktur khas sel elektrokimia dapat ditunjukkan dalam Gambar 2.8 dibawah ini. Dimana digambarkan baterai memiliki pelat elektroda positif dan negatif dengan isolasi pemisah dan elektrolit kimia di antara keduanya dan elektrodanya tersambung ke dua terminal eksternal dipasang di casing.



Gambar 2.8 Penampang dasar baterai [1]

Baterai terbuat dari sel-sel elektrokimia yang terdiri banyak unit biasanya terhubung dalam kombinasi seri-paralel untuk mendapatkan operasi yang

diinginkan tegangan dan arus. Semakin tinggi tegangan baterai, semakin tinggi jumlah sel yang diperlukan seri. Peringkat baterai dinyatakan dalam bentuk tegangan rata-rata selama pemakaian dan kapasitas Ah yang dapat memberikan sebelum turun tegangan di bawah batas maksimum yang ditentukan.

Setidaknya ada enam baterai sel isi ulang utama yang tersedia saat ini. Antara lain:

1. lead-acid (Pb-acid).
2. nickel-cadmium (NiCd).
3. nickel-metal hydride (NiMH).
4. lithium-ion (Li-ion).
5. lithium-polymer (Li-poly).
6. zinc-air.

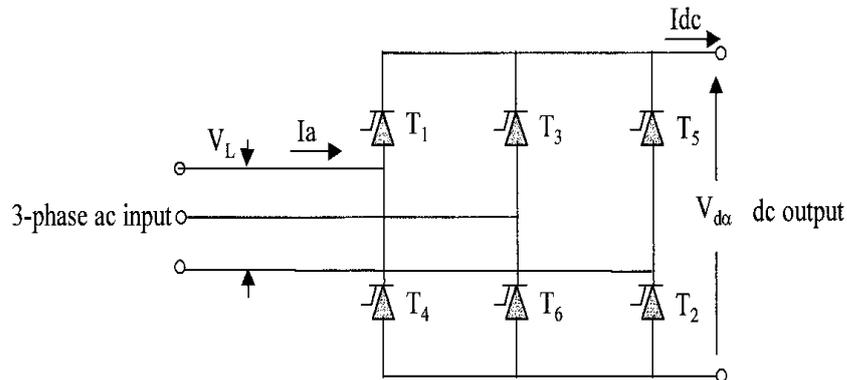
## **II.5. Peralatan elektronika daya**

Peralatan-peralatan yang umum dipakai dalam pembangkit-pembangkit hibrid antara lain

1. konverter AC ke DC.
2. konverter DC ke AC.
3. pengontrol tegangan.
4. pengontrol frekuensi.
5. konverter DC ke DC.

## II.5.1 AC to DC Rectifier

Rangkaian penyearah control 3 fasa dapat dilihat pada gambar Gambar dibawah ini.



**Gambar 2.9 diagram AC/DC control rectifier 3 fasa [2]**

Komponen yang umumnya digunakan dalam penyearah adalah thyristor. Dengan tegangan DC output rata-rata sirkuit ini diberikan dengan mengikuti persamaan:

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_L \cos \alpha \quad (2.15)$$

Dimana  $V_L$  = tegangan arus Arus bolak-balik yang masuk sebelum ke rangkaian penyearah.

$\alpha$  = sudut penyalaan trigger

Sudut picu di ukur dari *zero crossing* pada paruh positif dari gelombang tegangan AC. Persamaan diatas menunjukkan bahwa tegangan

keluaran DC yang dikontrol dengan memvariasi sudut picu  $\alpha$ , yang pada gilirannya mengontrol proses konduksi dari saklar.

Dalam operasi steady state, keseimbangan daya harus dipertahankan pada kedua sisi AC dan DC. Artinya, daya pada sisi AC harus sama dengan jumlah daya beban DC dan kerugian di sirkuit penyearah. Dimana daya pada sisi AC dapat dicari menggunakan rumus

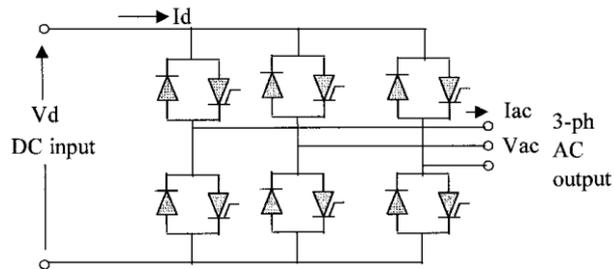
$$P_{AC} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \phi \quad (2.16)$$

dimana  $\cos \phi$  adalah faktor daya pada sisi AC. Dengan konverter daya yang dirancang dengan baik maka akan didapatkan faktor daya pada sisi AC kira-kira sama dengan yang beban.

## II.5.2 Inverter DC ke AC

Rangkaian elektronika daya digunakan untuk mengubah DC ke AC dikenal sebagai inverter. Walaupun istilah "converter" ini sering digunakan untuk baik rectifier atau inverter. Input DC untuk inverter dapat dari salah satu sumber-sumber berikut:

1. DC output dari sistem daya angin berkecepatan variabel.
2. DC output dari modul fotovoltaik daya.
3. DC output dari baterai yang digunakan dalam sistem daya angin atau sel surya.



**Gambar 2.10 Diagram DC/AC inverter 3 fasa [2]**

Gambar diatas menunjukkan diagram DC ke inverter tiga-fasa AC sirkuit. Sumber arus DC diaktifkan berturut-turut dalam sehingga menjadi arus sinusoidal 60 Hz untuk menyuplai beban untuk daya tiga fase.

Untuk Frekuensi dasar (60 atau 50 Hz) tegangan fase ke netral adalah sebagai berikut:

$$V_{ph} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cos\left(\frac{\pi}{6}\right) \cdot V_{DC} \quad (2.17)$$

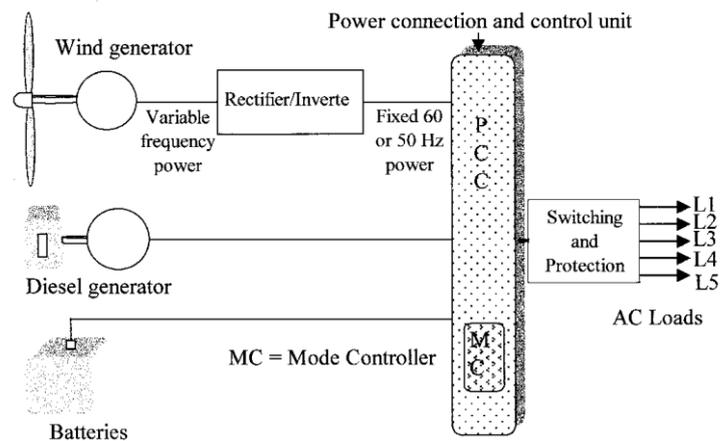
Tidak seperti BJT, MOSFET, dan IGBT pada thyristor sekali diaktifkan(konduksi) maka perlu dimatikan (Komutasi) untuk menghentikan konduksi.

Jika thyristor digunakan sebagai perangkat switching maka kita harus membuat suatu rangkaian komutasi tambahan untuk melakukan fungsi ini. Rangkaian komutasi adalah bagian penting dari rangkaian inverter. Sedangkan jenis-jenis komutasi dapat dibagi 2 yaitu komutasi paksa dan komutasi alami.

## II.6 Hibrid Sistem

### II.6.1 Hibrid sistem dengan diesel

Kepastian pemenuhan beban di setiap saat akan sangat terbantu dengan sistem hibrid yang menggunakan lebih dari satu sumber listrik. Kebanyakan sistem hibrid menggunakan generator diesel dengan pv atau angin, karena diesel memberikan tenaga yang lebih dapat diprediksi dan dapat disesuaikan dengan permintaan. Dalam beberapa sistem hibrid, baterai juga banyak digunakan selain generator diesel. Baterai dapat memenuhi fluktuasi kebutuhan beban setiap hari, dan generator diesel menangani fluktuasi jangka panjang. Misalnya generator diesel dapat digunakan dalam kondisi cuaca yang buruk seperti mendung yang terus menerus ataupun keadaan yang tidak berangin dalam jangka waktu harian ataupun mingguan.



Gambar 2.11 Skema Contoh hibrid system angin dan diesel [1]

Gambar diatas adalah layout skematik dari suatu sistim hibrid yang terdiri dari unit angin,diesel dan baterai. *The power connection and control unit* (CCU) atau biasa disaebut kontrol unit ialah pusat untuk membuat sambungan terorganisir dari hampir suemua komponen sistem. Dalam sebuah kontrol unit biasanya terdapat komponen-komponen berikut:

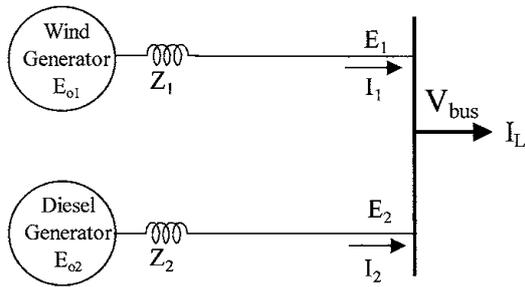
1. Charge baterai dan pengatur daya baterai
2. Transfer switch dan pemutus arus.
3. Meter aliran daya
4. Modus controller

## **II.6.2 Pembagian beban**

Sejak angin, PV, baterai, dan solar (atau sel bahan bakar) dalam berbagai kombinasi, beroperasi secara paralel, pembagian beban antara unit-unit tersebut adalah salah satu aspek kunci dari desain sistem hibrid.

Sebagai contoh, dalam angin dan diesel sistem hibrid sifat listrik dari dua sistem harus sesuai sehingga pada proses pembagian beban dapat sebanding dengan kapasitas normal masing-masing unit.

Untuk menentukan pembagian beban, dua sistem yang pertama dikurangi menjadi masing-masing model sirkuit yang setara thevenin, di mana masing-masing sistem diwakili oleh tegangan internal dan impedansi seri.



Gambar 2.12 Skema Bus Sistem Hibrid

Dimana karakteristik terminal dari kedua generator tersebut dapat dilihat pada persamaan dibawah ini

$$\begin{aligned} E_1 &= E_{o1} - I_1 \cdot Z_1 \\ E_2 &= E_{o2} - I_2 \cdot Z_2 \end{aligned} \quad (2.18)$$

Dimana angka 1 dan 2 menggambarkan penamaan unit pembangkit masing-masing.

$E_0$  = tegangan yang dibangkitkan generator

$Z_0$  = impedansi sendiri seri unit pembangkit

$E$  = tegangan terminal tiap-tiap unit pembangkit

Jika dua generator yang terhubung bersama-sama dalam 1 bus , mereka tegangan terminal  $E_1$  dan  $E_2$  harus sama dengan tegangan  $V_{bus}$ . Selain itu, jumlah arus beban  $I_1$  dan  $I_2$  harus sama dengan beban total  $I_L$  sesuai dengan persamaan

$$\begin{aligned} E_1 &= E_2 = V_{bus} \\ I_1 + I_2 &= I_L \end{aligned} \quad (2.19)$$

Kondisi ini diterapkan bersama dengan karakteristik internal mesin  $E_o$  dan  $Z$ , sehingga akan menentukan pembagian beban  $I_1$  dan  $I_2$ . Pembebanan pada generator masing ditentukan secara aljabar dengan memecahkan dua persamaan simultan untuk dua variabel yang tidak diketahui yaitu  $I_1$  dan  $I_2$ .

Strategi load sharing dapat bervariasi tergantung pada prioritas beban dan biaya listrik dari sumber alternatif. Dalam sistem angin-diesel, misalnya, listrik diesel umumnya lebih mahal daripada angin (~ 25 versus 5 sen per kWh). Oleh karena itu, semua beban prioritas-1 (penting) yang dipenuhi terlebih dahulu oleh angin sampai batas maksimum dan kemudian oleh diesel. Jika daya angin yang tersedia lebih dari kebutuhan beban prioritas-1, pemakaian daya tersebut dapat disalurkan ke beban jenis prioritas-2 dan diesel tidak berjalan. pada saat daya angin turun maka beban prioritas 2 berhenti disupply oleh angin untuk memastikan daya untuk beban yang lebih penting dapat dipenuhi jika tenaga angin turun lebih lanjut sehingga tidak dapat memasok beban prioritas 1, maka mau tidak mau diesel digunakan.