



UNIVERSITAS INDONESIA

ANALISA HASIL SIMULASI HOMER UNTUK PERANCANGAN
SISTEM ENERGI TERBARUKAN PADA BTS
(*BASE TRANSCEIVER STATION*) PECATU BALI

SKRIPSI

ANGGA RIZKY PRITYATOMO
0706199054

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2009



UNIVERSITAS INDONESIA

ANALISA HASIL SIMULASI HOMER UNTUK PERANCANGAN
SISTEM ENERGI TERBARUKAN PADA BTS
(*BASE TRANSCEIVER STATION*) PECATU BALI

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

ANGGA RIZKY. P
0706199054

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2009

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Angga Rizky Prityatomo

NPM : 0706199054

Tanda Tangan :

Tanggal : 17 Juni 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Angga Rizky Prityatomo
NPM : 0706199054
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisa Simulasi Homer Untuk Sistem Energi
Terbarukan Pada BTS (*Base Transeiver Station*) di
Pecatu Bali

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.-Ing Eko Adhi Setiawan ()
Penguji : Prof. Dr. Rudy Setiabudy ()
Penguji : Aji Nur Widyanto, ST. MT ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 26 Juni 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan tepat waktu. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Adapun judul Tugas Akhir ini adalah Analisa Hasil Simulasi Homer Untuk Perancangan Sistem Energi Terbarukan Pada BTS (*Base Transceiver Station*) Di Pecatu Bali.

Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Eko Adhi Setiawan, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Muhammad Asvial, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Rudy Setiabudy dan Bapak Aji Nur. W, selaku dosen penguji.
4. Bapak Gunarta selaku Staf Operasi Teknis Divisi III Indosat yang telah meluangkan waktunya untuk membantu dalam memperoleh data beban BTS.
5. Teman-teman Teknik Elektro S1 Ekstensi dan sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Orang tua dan keluarga yang telah membantu berupa dukungan dan doa.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, 17 Juni 2009

Penulis

ABSTRACT

Name : Angga Rizky Prityatomo
Study Program : Electrical Engineering
Title : Analysis Homer Simulation for BTS (Base Transceiver Station) Renewable Energy Planning System in Pecatu Bali

Base Transceiver Station (BTS) is a set of equipment telecommunication celluler network that organized as tower with transmitter and receiver antennas. The function of BTS is power amplification, so it can connect the telecommunication operator networking with the customers. BTS have a wide coverage area, but that depends of the bigness of power ampilifier. The power of signal, needs electrical power to supply electrical power loads BTS. BTS which spreadth in purilieus and isolated from PLN can harness renewable energy and generator to back up power. The use of a renewable energy system can support the available electricity energy system and provide the continuity of supply demands for whole year (season). This paper discussed about the planning of configuration hybrid electrical power for BTS in Pecatu Bali, whereas in that area have global solar radiation 4.82kWh/m²/d, and wind speed 4.37m/s. Planning and optimization analysis of hybrid system can used HOMER NREL software. The results of Homer simulation shows that annual production consists of Photovoltaic (12,330 kwh/yr), wind turbine (9,423 kwh/yr), and generator (6,032 kwh/yr), with the ac primary load consumption 14,308 kwh/yr, and dc primary load 11,480kWh/yr. Besides the results shows unmet load (electrical load that the power system is unable to serve) in system 0.07% or 17.5kWh, this numeral shows that power system from hybrid energy is reliable within supply BTS power load.

Keyword : Hybrid energy, BTS (Base Transceiver System), Telecommunication, Photovoltaic, Wind Turbine, Generator.

ABSTRAK

Nama : **Angga Rizky Prityatomo**
Program studi : **Teknik Elektro**
Judul : **Analisa Simulasi Homer Untuk Perencanaan Sistem Energi Terbarukan Pada BTS (Base Transceiver Station) di Pecatu Bali**

Base Transceiver Station (BTS) adalah suatu perangkat dalam jaringan telekomunikasi seluler yang berbentuk sebuah tower dengan antena pemancar dan penerima yang berfungsi sebagai penguat sinyal daya, sehingga dapat menghubungkan jaringan operator telekomunikasi seluler dengan pelanggannya. BTS memiliki daerah cakupan yang luasannya tergantung dari kuat lemahnya pancaran daya dari sinyal yang dikirimkan ke pelanggan, untuk itu dibutuhkan pasokan daya listrik untuk mensuplai beban operasional listrik. BTS yang tersebar di daerah terpencil dan terisolasi dari jaringan listrik PLN dapat memanfaatkan potensi energi terbarukan (*renewable energy*) setempat dan genset sebagai cadangan daya. Tulisan ini membahas tentang perancangan konfigurasi pembangkit listrik hibrida pada BTS di Pecatu Bali, dimana daerah tersebut kaya akan sinar matahari dengan rata-rata per tahun $4.82\text{kWh/m}^2/\text{d}$, dan rata-rata kecepatan angin sebesar 4.37m/s . Perancangan dan analisa optimasi sistem hibrida ini digunakan perangkat lunak HOMER NREL dan hasil dari simulasi menunjukkan bahwa produksi rata-rata per tahun terdiri dari sel surya (12,330 kwh/yr), turbin angin (9,423 kwh/yr), dan generator (6,032 kwh/yr), dengan konsumsi beban ac sebesar 14,308 kwh/yr, dan beban dc sebesar 11,480kWh/yr. Selain itu hasil simulasi menunjukkan *Unmet load* (beban listrik yang tidak dapat dilayani oleh system) pada sistem sebesar 0.07% atau 17.5kWh, angka ini menunjukkan bahwa keterjaminan daya listrik dari energi hibrida dalam mensuplai beban BTS sangat tinggi

Kata kunci : *Hybrid energy*, BTS (*Base Transceiver System*), Telekomunikasi, *Photovoltaic*, Turbin angin, Generator

DAFTAR ISI

Lembar Judul.....	ii
Lembar Orisinalitas	iii
Lembar Pengesahan	iv
Kata Pengantar	v
Abstrak	vi
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Pembatasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Homer	5
2.1.1 Apakah Homer itu.....	5
2.1.2 Bagaimana Homer Bekerja.....	6
2.1.2.1 Simulasi	6
2.1.2.2 Optimisasi.....	8
2.1.2.3 Analisa Sensitifitas	10
2.1.3 Pemodelan Fisik Homer	11
2.1.3.1 Beban.....	12
2.1.3.2 Sumber Daya Alam	15
2.1.3.2.1 Sumber Matahari	15
2.1.3.2.2 Sumber Daya Angin	16
2.1.3.2.3 Sumber Daya Air.....	17
2.1.3.2.4 Sumber Daya Biomasa	18
2.1.3.2.5 Bahan Bakar	19

2.1.3.3 Komponen	20
2.1.3.4 Pengaturan Sistem Energi.....	31
2.1.3.4.1 Pengaturan Tenaga Cadangan sistem	31
2.1.3.4.2 Sistem Kontrol Komponen Tidak Terbaharui	31
2.1.3.4.3 Strategi Pengisian Baterai.....	33
2.1.3.4.4 Sektor Ekonomi	34
2.2 Turbin Angin Sebagai Tenaga Alternatif Pembangkit Listrik.....	34
2.2.1 Alat-alat Pengukur Kecepatan Angin	34
2.2.2 Mekanisme Turbin Angin.....	35
2.2.3 Jenis Turbin Angin	36
2.3 Energi Surya Sebagai Tenaga Alternatif Pembangkit Listrik.....	37
2.3.1 Teknologi Energi Surya Photovoltaic.....	37
2.3.2 Teknologi Energi Surya Thermal	38
BAB III PERANCANGAN SISTEM	39
3.1 Perancangan Sistem Tenaga Listrik BTS	39
3.2 Flowchart	41
3.3 Data Beban Listrik BTS	42
3.4 Faktor Sumber Daya Alam	43
3.4.1 Sumber Daya Energi Matahari	43
3.4.2 Sumber Daya Energi Angin.....	44
3.5 Komponen-komponen Sistem Tenaga Hibrida	45
3.5.1 Sel Surya.....	46
3.5.2 Turbin Angin	46
3.5.3 Generator	48
3.5.4 Konverter	48
3.5.5 Baterai Bank	49
3.5.6 Harga Bahan Bakar	50
3.6 Faktor-faktor Lainnya	50
3.6.1 Faktor Ekonomi	50
3.6.2 Faktor Kontrol Sistem	51
3.6.3 Faktor Emisi	52
3.6.4 Faktor Constrain	52

BAB IV ANALISA SISTEM.....	54
4.1 Konfigurasi Sistem Energi Terbarukan	54
4.1.1 Hasil Optimisasi	56
4.2 Analisa Sensitifitas	61
4.2.1 Grafik Sensitifitas Kecepatan Angin Terhadap Radiasi Matahari.....	62
4.2.2 Grafik Sensitifitas Kecepatan Angin Terhadap Diesel.....	66
4.2.3 Grafik Sensitifitas Diesel Terhadap Radiasi Matahari	68
4.3 Faktor Emisi Bahan Bakar.....	71
BAB V KESIMPULAN.....	72
Daftar Acuan	74
Daftar Pustaka	75
Lampiran	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Diagram rangkaian dari sistem	7
Gambar 2.2 : Hasil konfigurasi sistem.....	9
Gambar 2.3 : Grafik analisa sensitifitas.....	11
Gambar 2.4 : Data beban utama pada Homer	12
Gambar 2.5 : Analogi tangki untuk <i>deferrable load</i>	13
Gambar 2.6 : Beban tunda pada Homer.....	14
Gambar 2.7 : Beban panas pada Homer	15
Gambar 2.8 : Parameter masukan radiasi matahari	16
Gambar 2.9 : Parameter masukan kecepatan angin	17
Gambar 2.10 : Parameter masukan aliran air	18
Gambar 2.11 : Parameter masukan biomas	19
Gambar 2.12 : Parameter masukan bahan bakar	20
Gambar 2.13 : Parameter masukan sel surya	22
Gambar 2.14 : Kurva kecepatan angin	23
Gambar 2.15 : Parameter masukan turbin angin	24
Gambar 2.16 : Parameter masukan turbin air.....	25
Gambar 2.17 : Parameter masukan generator untuk biaya.....	26
Gambar 2.18 : Parameter masukan generator untuk bahan bakar.....	26
Gambar 2.19 : Parameter masukan generator untuk jadwal pengoperasian.....	27
Gambar 2.20 : Parameter masukan generator untuk emisi.....	27
Gambar 2.21 : Tenaga cadangan pada Homer	31
Gambar 2.22 : Sistem hidro-diesel-baterai	32
Gambar 2.23 : Perbandingan biaya antara diesel dan baterai.....	33
Gambar 2.24 : Alat pengukur angin	35
Gambar 2.25 : Arsitektur turbin angin.....	36
Gambar 3.1 : Arsitektur sistem tenaga hibrida	39
Gambar 3.2 : Diagram skematik sistem tenaga alternatif BTS.....	40
Gambar 3.3 : Data beban per jam	42
Gambar 3.4 : Rata-rata beban listrik dc per bulan selama setahun.....	42
Gambar 3.5 : Rata-rata beban listrik ac per bulan selama setahun	42

Gambar 3.6 : Data rata-rata radiasi matahari selama setahun	44
Gambar 3.7 Data rata-rata kecepatan angin selama setahun	45
Gambar 3.8 Sistem tenaga surya-turbin angin-diesel	45
Gambar 3.9 : Parameter masukan sel surya	46
Gambar 3.10: Kurva kecepatan rata-rata angin	47
Gambar 3.11: Parameter masukan turbin angin.....	47
Gambar 3.12: Parameter masukan pada generator	48
Gambar 3.13: Parameter masukan converter	49
Gambar 3.14 : Parameter masukan baterai bank	49
Gambar 3.15 : Spesifikasi data baterai bank Trojan L16P	50
Gambar 3.16 : Parameter masukan diesel.....	50
Gambar 3.17 : Faktor ekonomi pada Homer	51
Gambar 3.18 : Parameter masukan kontrol sistem pada Homer.....	52
Gambar 3.19 : Parameter masukan faktor emisi.....	52
Gambar 3.20 : Parameter masukan faktor constraint.....	53
Gambar 4.1 : Hasil optimisasi untuk kecepatan angin 4.37m/s, radiasi matahari 4.82kwh/m ² /d, harga diesel \$0.45/L	54
Gambar 4.2 : Total biaya NPC sistem	55
Gambar 4.3 : Hasil produksi listrik masing-masing komponen	55
Gambar 4.4 : Hasil simulasi untuk panel sel surya.....	56
Gambar 4.5 : Hasil simulasi untuk turbin angin	56
Gambar 4.6 : Hasil simulasi untuk generator	57
Gambar 4.7 : Grafik renewable fraction terhadap excess electricity dan NPC	58
Gambar 4.8 : Grafik hasil simulasi pada hari Minggu, 2 maret 2008.....	59
Gambar 4.9 : Grafik hasil simulasi pada hari Senin, 3 maret 2008	60
Gambar 4.10 : Grafik OST kecepatan angin dan radiasi untuk harga diesel \$0.45/L	63
Gambar 4.11 : Konfigurasi system dengan kecepatan angin 4.37m/s, radiasi matahari 4.82kWh/m ² /d dan harga diesel \$0.45/L	63
Gambar 4.12 : Grafik OST kecepatan angin dan radiasi matahari untuk harga diesel \$0.6/L.....	64

Gambar 4.13 : Konfigurasi system dengan kecepatan angin 4.37m/s, radiasi matahari 4.82kWh/m ² /d harga diesel \$0.6/L.....	64
Gambar 4.14 : Grafik OST kecepatan angin dan radiasi matahari untuk harga diesel \$0.8/L.....	65
Gambar 4.15 : Konfigurasi sistem dengan kecepatan angin 4.37m/s, radiasi matahari 4.82kWh/m ² /d, harga diesel \$0.8/L.....	65
Gambar 4.16 : Grafik OST kecepatan angin dan harga diesel untuk radiasi matahari 3kWh/m ² /d.....	66
Gambar 4.17 : Konfigurasi system dengan kecepatan angin 4.37m/s, harga diesel \$0.45/L, dan radiasi matahari 3kWh/m ² /d.....	67
Gambar 4.18 : Grafik OST kecepatan angin dan harga diesel untuk radiasi matahari 6kWh/m ² /d.....	67
Gambar 4.19 : Konfigurasi system dengan kecepatan angin 4.37m/s, harga diesel \$0.45/L, dan radiasi matahari 6kWh/m ² /d.....	68
Gambar 4.20 : Grafik OST radiasi matahari dan harga diesel untuk kecepatan angin 3m/s.....	69
Gambar 4.21 : Konfigurasi system dengan kecepatan angin 3m/s, harga diesel \$0.45/L, dan radiasi matahari 4.82kWh/m ² /d.....	68
Gambar 4.22 : Grafik OST radiasi matahari dan harga diesel untuk kecepatan angin 6m/s.....	70
Gambar 4.23 : Konfigurasi system dengan kecepatan angin 6m/s, harga diesel \$0.45/L, dan radiasi matahari 4.82kWh/m ² /d.....	70
Gambar 4.24 : Emisi bahan bakar generator.....	71
Gambar 4.25 : Konfigurasi system turbin angin dan sel surya.....	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Parameter keluaran sel surya	22
Tabel 2.2 : Parameter keluaran turbin angin.....	24
Tabel 2.3 : Parameter keluaran generator	28
Tabel 3.1 : Rata-rata radiasi matahari per tahun.....	43
Tabel 3.2 : Rata-rata kecepatan angin per tahun.....	44
Tabel 3.3 : Biaya komponen	45
Tabel 4.1 : Perbandingan pengaruh renewable fraction terhadap parameter keluaran.....	58
Tabel 4.2: Perbandingan kondisi-kondisi sensitifitas dengan besarnya kecepatan angin dan radiasi matahari besarnya tetap	62
Tabel 4.3: Perbandingan kondisi-kondisi sensitifitas dengan besarnya kecepatan angin dan harga diesel besarnya tetap.....	66
Tabel 4.4: Perbandingan kondisi-kondisi sensitifitas dengan besarnya radiasi matahari dan harga diesel besarnya tetap	68

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya harga bahan bakar minyak mengakibatkan tingkat inflasi di Tanah Air meningkat, beban produksi dan operasional dikalangan industri meningkat tajam. Hal itu juga dirasakan oleh sektor telekomunikasi, dimana beban operasional operator jaringan turut merambat naik. Contohnya untuk membangkitkan aliran listrik *Base Transceiver Station* (BTS) di daerah-daerah terpencil, operator tidak bisa mengandalkan akses listrik dari PLN, satu-satunya cara adalah membuat energi alternatif dengan memanfaatkan energi hibrida dan genset.

Desain energi alternatif berbeda-beda, disesuaikan dengan kondisi alam setempat. Salah satunya adalah desain energi terbarukan BTS di desa Pecatu, Bali, dimana pasokan listrik utama tidak mengandalkan energi listrik PLN. Pecatu terletak di daerah Selatan Pulau Bali, koordinat $8^{\circ} 49' 50.46''$ South $115^{\circ} 07' 37.34''$ East. Berdasarkan data badan antariksa Amerika Serikat (NASA), daerah tersebut kaya akan sinar matahari dengan rata-rata radiasi per tahun $4,82 \text{ Kwh/m}^2/\text{d}$, dan berdasarkan data dari situs www.windfinder.com, daerah tersebut memiliki kecepatan angin rata-rata per tahun $4,37 \text{ m/s}$, kecepatan angin cukup kencang karena dipengaruhi angin dari Laut Bali. Sedangkan berdasarkan data dari *Network Monitoring System* salah satu operator, BTS tersebut memerlukan daya listrik dc per hari sebesar 31 kWh/d dan daya ac sebesar 39 kWh/d .

Dengan memanfaatkan sumber daya alam yang ada, maka konsep energi terbarukan yang digunakan yakni mengkombinasikan energi matahari dan energi angin, dan menggunakan genset untuk memenuhi permintaan energi ketika sistem mengalami gangguan, sehingga jaringan akan tetap stabil. Keuntungan yang diperoleh dari pengoperasian BTS energi terbarukan diantaranya adalah meningkatkan daya listrik, cadangan listrik lebih tahan lama, hemat pemeliharaannya, dan tidak menghasilkan limbah berbahaya. Daya listrik yang

diperoleh dari angin dan matahari itu disimpan dalam baterai. Pada kondisi normal, baterai akan memenuhi kebutuhan listrik. Dalam mendesain sebuah BTS energi alternatif, dapat dibantu dengan perangkat lunak yang bernama Homer. Homer dapat membantu merencanakan, menentukan dan menilai pilihan komponen-komponen yang dibutuhkan untuk mendapatkan sistem tenaga listrik yang optimal.

Homer adalah perangkat lunak yang berfungsi untuk membantu mendesain sebuah sistem energi seperti BTS. Homer bekerja berdasarkan 3 hal, yaitu simulasi, optimisasi, dan analisa sensitifitas. Dari hasil optimisasi dan analisa sensitifitas, dapat diketahui kombinasi power sistem yang paling efektif, efisien, dan optimal.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang timbul dari pembuatan simulasi ini adalah:

- Memilih, mempertimbangkan dan menentukan spesifikasi komponen-komponen yang akan digunakan didalam sistem.
- Mengumpulkan data-data potensi sumber daya alam yang tersedia di suatu daerah.
- Menentukan besarnya biaya setiap komponen yang digunakan.
- Memahami parameter-parameter masukan dan keluaran yang terdapat di dalam Homer.
- Bagaimana merancang konfigurasi sistem tenaga listrik dengan memaksimalkan sumber daya alam yang tersedia sehingga didapatkan hasil yang paling optimal.
- Bagaimana menentukan analisa sensitifitas sistem untuk mengetahui hasil konfigurasi apabila parameter masukan yang diberikan berbeda-beda nilainya.

1.3 Tujuan

Skripsi ini merupakan suatu simulasi dengan perangkat lunak Homer yang dilakukan untuk perencanaan pembangunan sebuah sistem tenaga BTS (*Base Transceiver Station*). Tujuan dari skripsi ini adalah :

- Mendapatkan rancangan sistem tenaga listrik yang optimal untuk BTS (*Base Transceiver Station*), dengan memanfaatkan potensi sumber daya alam yang tersedia semaksimal mungkin tetapi tetap menggunakan generator sebagai tenaga cadangan.
- Mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi hasil optimal dari sistem tenaga hibrida.
- Mengetahui hasil analisa sensitifitas apabila parameter-parameter masukan sumber daya nilainya berubah-ubah.

1.4 Pembatasan Masalah

Didalam skripsi ini, sistem tenaga listrik yang digunakan untuk menyuplai beban BTS (*Base Transceiver Station*) dirancang dengan memperhatikan faktor-faktor sumber daya alam yang tersedia di daerah Pecatu Bali. Daerah tersebut memiliki potensi energi matahari dan energi angin yang dapat menjamin kebutuhan listrik setiap tahun. Hasil dari simulasi Homer akan mendapatkan konfigurasi sistem, komponen-komponen hibrida yang digunakan, dan besarnya total biaya yang dikeluarkan selama beberapa tahun ke depan.

1.5 Metodologi Penelitian

Dalam pembuatan untuk seminar sekaligus skripsi ini meliputi langkah-langkah sebagai berikut:

- Studi Literatur

Membaca dan mempelajari bahan-bahan tentang perangkat lunak Homer dan aplikasinya. (www.nrel.gov/homer).

➤ Pengumpulan data

Mencari data-data penunjang lainnya seperti data beban listrik BTS, data data sumber daya alam, harga komponen, biaya suku bunga bank, penalti emisi bahan bakar, yang dapat mendukung skripsi ini.

➤ Perencanaan dan simulasi sistem

Melakukan perencanaan, perancangan tentang sistem tenaga terbarukan untuk BTS.

1.6 Sistematika Penulisan

Skripsi ini terbagi dalam lima bab, yang masing-masing memiliki pokok bahasan tertentu sebagai bagian dari tujuan pembahasan skripsi.

Bab satu merupakan pendahuluan yang berisi latar belakang, tujuan, pembatasan masalah dan sistematika penulisan skripsi. Bab dua membahas mengenai landasan teori perangkat lunak untuk simulasi, komponen-komponen yang digunakan didalam sistem, dan potensi sumber daya alam yang tersedia. Bab tiga merupakan pembahasan tentang penjelasan proses dan perancangan sistem tenaga hibrida. Bab empat berisi pembahasan tentang simulasi, optimisasi, analisa sensitifitas dari konfigurasi sistem. Bab lima merupakan kesimpulan dari keseluruhan pembahasan dalam skripsi ini.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 HOMER (*Hybrid Optimization Model for Energy Renewable*)

2.1.1 Apakah Homer itu?

Sistem tenaga mikro adalah sebuah sistem yang menghasilkan tenaga listrik, atau panas untuk melayani suatu beban. Beberapa sistem menggunakan teknologi penyimpanan energi yang berbeda dan kombinasi pembangkit tenaga listrik yang terhubung dari jaringan transmisi listrik, maupun terpisah dari jaringan. Untuk mengatasi masalah dalam perancangan sistem tenaga mikro, dapat menggunakan perangkat lunak Homer.

Homer singkatan dari *Hybrid Optimization Model for Energy Renewable* adalah sebuah perangkat lunak yang dikembangkan oleh *U.S National Renewable Energy Laboratory* (NREL) bekerjasama dengan Mistaya Engineering, yang dilindungi hak ciptanya oleh *Midwest Research Institute* (MRI) dan digunakan oleh Departemen Energi Amerika Serikat (DOE) [1]. Homer memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan perangkat lunak yang serupa, seperti Hybrid2, RetScreen, PV*SOL, dll [1].

Keunggulan Homer :

1. Dapat mengetahui hasil yang optimal dari konfigurasi sistem (mensimulasikan beberapa konfigurasi sistem berdasarkan Net Present Cost).
2. Dapat menunjukkan analisa nilai sensitifitas.
3. Dapat memodelkan sistem jaringan transmisi listrik.
4. Komponen-komponen hibrid yang akan digunakan lengkap.
5. Dapat memodelkan sumber daya alam yang tersedia.
6. Parameter-parameter *input* (masukan) sangat terperinci, seperti sumber daya alam, emisi, harga bahan bakar, faktor ekonomi, dll.

Homer dapat dikatakan sebagai model optimisasi tenaga mikro, yang berfungsi untuk mempermudah dalam merancang, mensimulasikan dan menganalisa berbagai macam aplikasi sistem tenaga listrik, baik yang terhubung

dengan jaringan transmisi listrik maupun tidak. Homer mengijinkan pengguna untuk membandingkan beberapa rancangan sistem yang berbeda berdasarkan faktor sumber daya alam, ekonomi/biaya, dan komponen peralatan yang digunakan.

Hal-hal yang harus dipertimbangkan ketika ingin merancang sebuah sistem tenaga listrik adalah besarnya biaya, konfigurasi dari sistem, komponen apa saja yang harus digunakan, berapa jumlah dan ukuran kapasitas komponen yang akan digunakan, dan sumber daya alam yang tersedia. Homer dapat menyelesaikan masalah parameter-parameter masukan yang tidak menentu dan berubah-ubah, seperti ukuran beban yang digunakan, harga bahan bakar dimasa yang akan datang, besarnya sumber daya alam yang dapat diperbaharui seperti kecepatan angin, intensitas sinar matahari, kecepatan air sungai, dll.

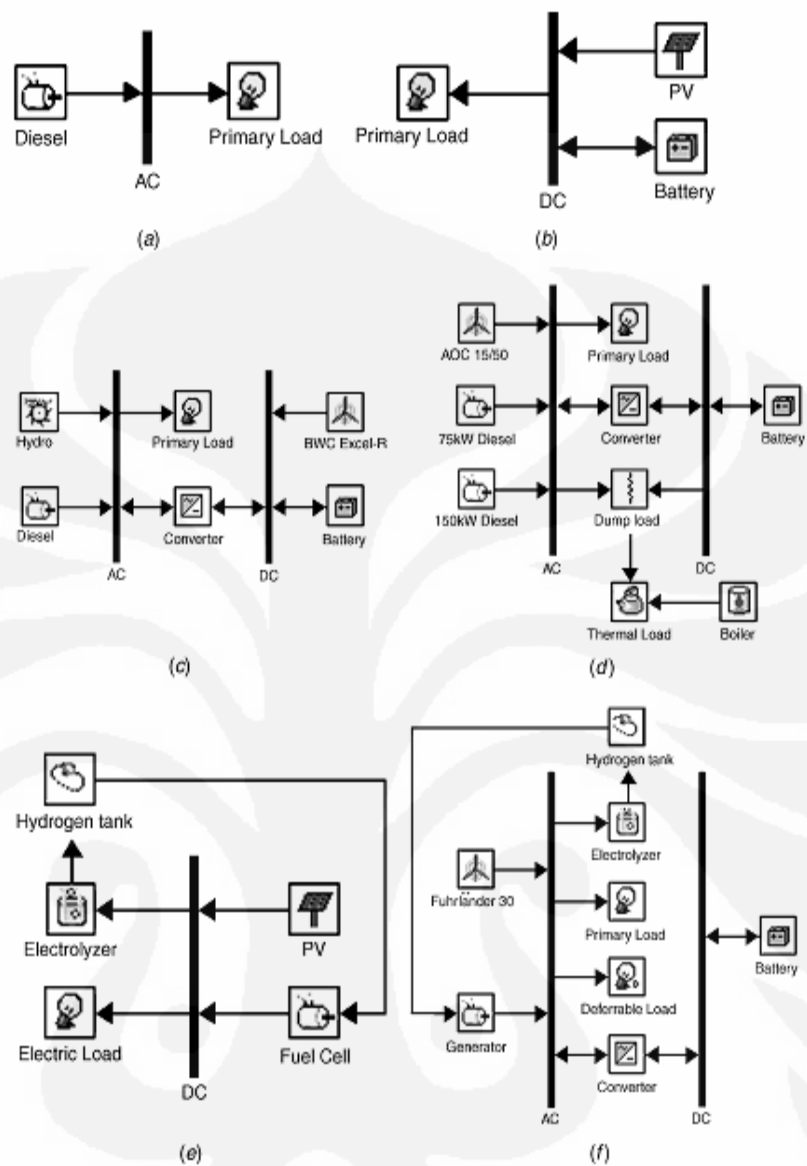
2.1.2 Bagaimana Homer Bekerja?

Homer bekerja berdasarkan 3 hal, yaitu simulasi, optimisasi, dan analisa sensitifitas. Ketiga hal tersebut bekerja secara berurutan, dan memiliki fungsi masing-masing, sehingga didapatkan hasil yang optimal[2].

2.1.2.1 Simulasi (*Simulation*)

Proses simulasi menentukan bagaimana konfigurasi dari sistem, kombinasi dari besarnya kapasitas komponen-komponen sistem, dan strategi operasi yang menentukan bagaimana komponen-komponen tersebut dapat bekerja bersama dalam periode waktu tertentu.

Homer dapat mensimulasikan berbagai macam konfigurasi sistem tenaga mikro, yang berisikan beberapa kombinasi dari Photovoltaic, turbin angin, turbin air, generator, hidrogen, baterai, converter, dll. Sistem tersebut dapat terhubung ke jaringan transmisi ataupun terpisah, digunakan untuk melayani beban ac ataupun dc dan beban *thermal*. Gambar 2.1 menunjukkan beberapa diagram skematik contoh dari tenaga hibrida.



Gambar 2.1 Diagram rangkaian dari sistem menggunakan Homer

Keterangan gambar 2.1 :

- (a) Sistem diesel melayani sebuah beban listrik ac
- (b) Sistem PV-baterai untuk beban listrik dc
- (c) Sistem hibrida angin-*hydro*-diesel, baterai sebagai tenaga cadangan dan menggunakan ac-dc konverter
- (d) Sistem angin-diesel untuk beban listrik dan panas

- (e) Sistem PV-hidrogen, menggunakan *electrolizer* yang mengubah energi PV yang terbuang kedalam *hidrogen tank*, energi didalam *hidrogen tank* disimpan untuk digunakan apabila PV mengalami penurunan energi.
- (f) Sistem tenaga angin, menggunakan baterai dan hidrogen untuk *backup* energi.

Proses simulasi memiliki dua tujuan, pertama yaitu menentukan apakah sistem tersebut mungkin/layak untuk dibuat. Homer mempertimbangkan apakah sistem tersebut mungkin jika sistem tersebut cukup untuk melayani beban listrik ataupun panas (*thermal*) sesuai dengan rancangan yang *modeler* tentukan. Kedua, Homer menghitung keseluruhan biaya dari sistem, termasuk jumlah modal, biaya pengganti, biaya bahan bakar, total biaya instalasi dan pengoperasian selama beberapa tahun kedepan, sesuai jangka waktu proyek.

Homer memodelkan konfigurasi sistem secara khusus dengan melakukan beberapa rangkaian simulasi berdasarkan waktu setiap jam selama setahun. Homer juga menghitung ketersediaan sumber daya alam yang dapat diperbaharui, kemudian membandingkannya dengan beban listrik, apakah sumber daya tersebut mencukupi kebutuhan listrik sehari-hari.











































2.1.2.2 Optimisasi (*Optimization*)

Proses optimisasi dilakukan setelah proses simulasi dilakukan. Proses simulasi memodelkan dan merancang konfigurasi sistem secara khusus, maka proses optimasi dilakukan untuk menentukan kemungkinan teroptimal dalam konfigurasi sistem. Pada daftar hasil optimisasi, Homer mengurutkan nilai NPC yang terendah hingga tertinggi. Sistem dikatakan optimal, apabila salah satu konfigurasi sistem menunjukkan NPC terendah untuk jangka waktu yang telah ditentukan. Homer mensimulasikan konfigurasi sistem yang berbeda-beda, apabila konfigurasi sistem tidak layak, maka Homer tidak akan menampilkan hasil optimasi sistem tersebut. Didalam proses optimisasi, juga terdapat sistem konfigurasi komponen-komponen apa saja yang akan digunakan, jumlah dan kapasitas dari komponen, dan strategi pengisian baterai yang harus digunakan.

Tujuan dari proses optimisasi adalah menentukan nilai optimal dari konfigurasi sistem dimana variabel nilai masukkan dapat diubah-ubah sesuai keinginan pengguna. Variabel nilai yang dapat diubah oleh pengguna adalah :

1. Kapasitas daya Photovoltaic
2. Jumlah turbin angin yang digunakan
3. Kapasitas daya dari turbin air, Homer hanya memperbolehkan menggunakan 1 sistem turbin air
4. Kapasitas daya dari generator
5. Jumlah baterai yang digunakan
6. Kapasitas daya konverter AC-DC
7. Kapasitas daya dari elektrolizer
8. Kapasitas daya dari tangki hidrogen
9. Strategi pengisian Baterai (cara tentang pengisian baterai)

Gambar 2.2 dibawah adalah contoh hasil optimisasi konfigurasi sistem, dimana hasil yang paling optimal ditunjukkan pada baris pertama, dimana total NPC terendah sebesar \$849,905. Sedangkan konfigurasi sistem terdiri dari 1 Turbin angin, 135kW generator, 64 baterai, dan 30kW konverter.

   	FL30	Gen (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	COE (\$/kWh)	Diesel (L)	Gen (hrs)
   	1	135	64	30	\$ 216,500	\$ 849,905	0.273	75,107	4,528
   	2	135	64	30	\$ 346,500	\$ 854,660	0.274	54,434	3,350
   	1	135	48	30	\$ 200,500	\$ 855,733	0.275	78,061	4,910
   	2	135	48	30	\$ 330,500	\$ 856,335	0.275	57,654	3,685
   	2	135	32	30	\$ 314,500	\$ 873,322	0.280	62,394	4,139
   	2	135	96	60	\$ 401,000	\$ 878,370	0.282	48,139	2,603
   	2	135	64	60	\$ 369,000	\$ 880,421	0.282	52,999	3,195
  		135	64	30	\$ 86,500	\$ 885,175	0.284	101,290	5,528
   	1	135	96	30	\$ 248,500	\$ 887,379	0.285	74,193	4,346
  		135	48	30	\$ 70,500	\$ 888,528	0.285	104,009	6,067

Gambar 2.2 Hasil konfigurasi sistem

2.1.2.3 Analisa Sensitifitas (*sensitify analysis*)

Tahap selanjutnya adalah tahap analisa sensitifitas. Analisa sensitifitas ini akan menunjukkan bagaimana hasil konfigurasi sistem yang optimal apabila nilai parameter masukkan (*input*) berbeda-beda. Pengguna dapat menunjukkan analisa sensitifitas dengan memasukkan beberapa nilai variabel sensitifitas.

Pada tahap ini, pengguna Homer dapat memasukkan rentang nilai untuk nilai variabel tunggal ataupun nilai variabel ganda yang dinamakan variabel sensitifitas. Contohnya termasuk harga tenaga listrik pada jaringan transmisi, harga bahan bakar, suku bunga per tahun, dll.

Setiap kombinasi dari nilai variabel sensitifitas menentukan kasus sensitifitas yang berbeda. Contohnya, jika pengguna menentukan 6 nilai untuk harga jaringan listrik, dan 4 nilai untuk suku bunga bank, maka akan terjadi 24 kasus sensitifitas. Homer melakukan proses optimisasi tersendiri untuk kasus sensitifitas dan menunjukkan hasil dalam bentuk tabel dan grafik.

➤ Analisa sensitifitas dalam keadaan tidak menentu

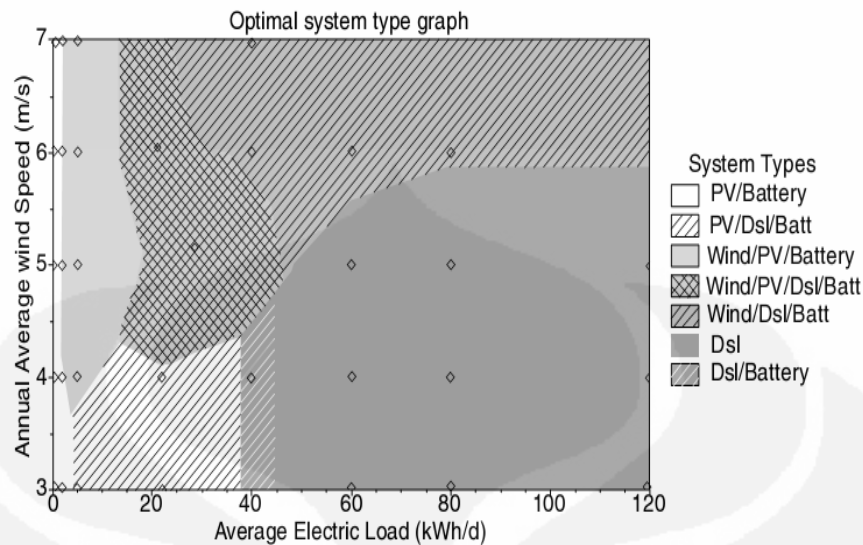
Analisa sensitifitas dilakukan untuk menghadapi keadaan yang berubah-ubah dan tidak menentu. Analisa ini dapat membantu perencana dalam membuat rancangan yang optimal dan memahami dampak dari keadaan yang tidak menentu.

Contohnya, perancang mengasumsikan harga diesel sebesar \$0.5/L, kecepatan angin per tahun sebesar 4m/s, dan umur dari proyek 25 tahun. Keadaan ini dikatakan tidak menentu karena harga diesel tidak stabil, dari tahun ke tahun selalu berubah tergantung kebijakan pemerintah. Sedangkan kecepatan angin setiap tahun selalu berubah.

Analisa ini berfungsi untuk menentukan efek dari variasi masukan, kemungkinan konfigurasi sistem, dan seberapa optimal sistem apabila keadaan masukan berubah-ubah.

➤ Analisa Sensitifitas berdasarkan kumpulan data per jam

Homer memiliki kemampuan untuk melakukan analisa sensitifitas berdasarkan data setiap jam, seperti beban listrik, sumber daya angin, air, atau biomasa. Data-data yang dimasukkan ditentukan oleh perancang, besarnya nilai dapat diatur apakah diatas/dibawah nilai utama, sesuai dengan rentang skala yang diinginkan. Contohnya, perancang menentukan data beban dengan rata-rata per tahun 120 kWh/hari, kemudian menentukan nilai variabel analisa sensitifitas untuk beban sebesar 100, 150, 200 kWh/hari.



Gambar 2.3 Grafik analisa sensitifitas

Grafik gambar 2.3 menunjukkan hasil dari analisa sensitifitas antara kecepatan angin terhadap beban listrik. Perancang menentukan 8 nilai untuk ukuran kapasitas beban listrik, dan 5 nilai untuk kecepatan angin. Hasil analisa sensitifitas terdiri dari 40 kemungkinan konfigurasi sistem. Tanda *diamond* pada grafik menunjukkan indikasi sensitifitas, dan warna mengindikasikan tipe konfigurasi sistem yang optimal. Contohnya, pada saat beban 22kWh/hr dan rata-rata kecepatan angin sebesar 4m/s, maka hasil yang paling optimal adalah PV-diesel-baterai. Dan apabila rata-rata beban listrik sebesar 60kWh/hr dan kecepatan angin 4m/s, maka hasil konfigurasi yang optimal adalah diesel-baterai.

2.1.3 Pemodelan Fisik Homer

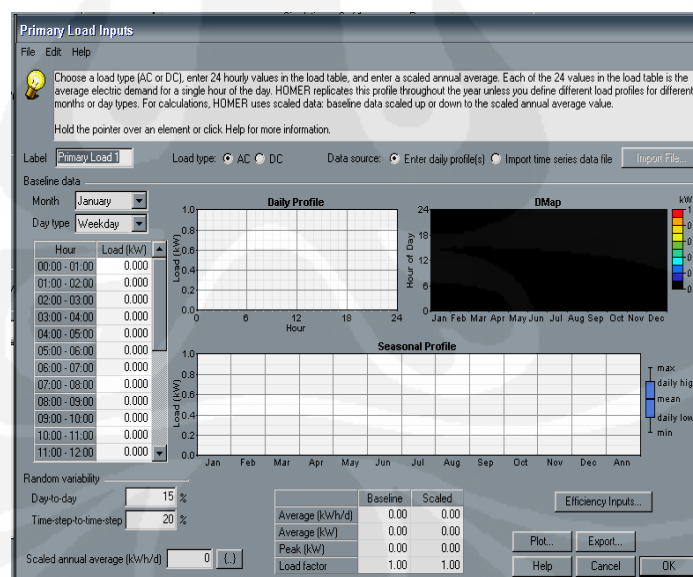
Suatu rancangan sistem tenaga listrik dengan Homer harus berisikan kurang lebih satu sumber tenaga listrik (turbin angin, generator, jaringan transmisi, sel surya), dan kurang lebih harus memiliki tujuan untuk apa energi tersebut digunakan (beban listrik, beban thermal). Didalam Homer juga terdapat perlengkapan untuk konversi seperti ac-dc konverter, elektrolizer, dan peralatan untuk penyimpanan energi seperti baterai bank atau tangki hidrogen.

2.1.3.1 Beban

Pada Homer permintaan beban terdiri dari beban listrik, dan beban panas. Sistem tenaga listrik dibuat untuk melayani beban, jadi proses perancangan dengan Homer dapat dimulai dari menentukan beban yang harus dilayani berdasarkan data yang nyata. Beban utama adalah permintaan energi listrik yang harus dilayani berdasarkan keterangan data per jam setiap tahun. Beban tunda (*deferrable load*) adalah permintaan energi listrik yang dapat dilayani setiap waktu dalam jangka waktu tertentu. *Thermal load* adalah permintaan beban energi panas.

1. Beban Utama (*Primary Load*)

Beban utama adalah permintaan energi listrik yang disuplai oleh suatu sistem tenaga listrik pada waktu yang telah ditentukan. Permintaan listrik dapat terdiri dari lampu, radio, TV, peralatan rumah tangga, komputer, peralatan industri, dll. Ketika konsumen menyalakan lampu, sistem tenaga listrik harus menyediakan energi listrik ke lampu secepatnya, tidak boleh menunda hingga beberapa waktu kemudian.



Gambar 2.4 Data beban utama pada Homer

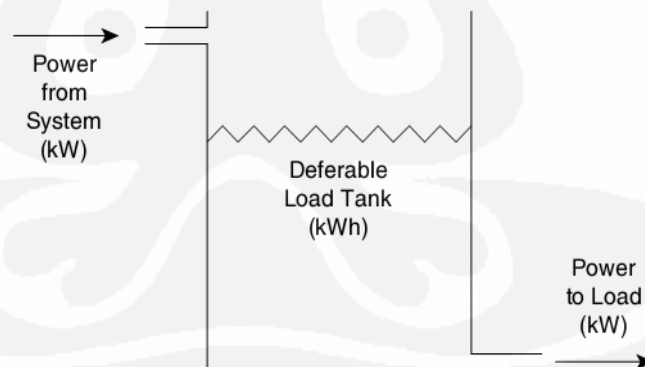
Perencana yang menggunakan Homer harus menentukan jumlah beban listrik dalam kilowatt untuk beberapa jam setiap tahunnya. Data beban dapat dimasukkan dengan cara mengimpor file yang sudah ada,

atau dengan cara memasukkan data beban per jam kedalam *average daily load profile*. Ketika mengumpulkan data beban, Homer membuat nilai-nilai data beban per jam berdasarkan profil beban harian yang ditentukan oleh perencana. Perencana dapat memasukkan profil data beban 24 jam selama setahun, atau dapat memasukkan data beban dengan bulan yang berbeda dan profil yang berbeda untuk *weekends* dan *weekdays*. Data beban yang dimasukkan dapat berbeda-beda, sehingga Homer akan menampilkan grafik beban secara keseluruhan. Homer juga dapat memodelkan dua beban yang berbeda yaitu dapat berupa beban ac atau dc.

Diantara tiga buah beban yang ada pada Homer, beban utama memerlukan tenaga cadangan yang besarnya ditentukan oleh perencana. Tenaga cadangan adalah kapasitas tenaga listrik energi yang ditentukan perencana untuk mengatasi beban listrik apabila bertambah secara tiba-tiba atau menurunnya kapasitas tenaga hibrida.

2. Beban Tunda (*Deferrable load*)

Beban tunda adalah permintaan energi listrik yang dapat ditentukan berdasarkan interval waktu. Pompa air, pembuat es, alat pengisian baterai adalah contoh dari *deferrable load*.



Gambar 2.5 Analogi tangki untuk *deferrable load*

Gambar diatas menunjukkan skematik bagaimana Homer memodelkan *deferrable load*. Sistem mengambil energi kedalam tangki dengan kapasitas terbatas, dan energi keluar dari tangki untuk melayani *deferrable load*. Untuk beberapa bulan, perencana menentukan rata-rata *deferrable load*, yang mana level energi pada tangki akan habis.

Perencana juga menentukan kapasitas penyimpanan dalam kilowatt hours (ukuran tangki), dan level maksimum dan minimum yang mana sistem dapat mengambil energi ke dalam tangki. Model energi dalam tangki tersebut adalah contoh perumpamaan *deferrable load*.

Deferrable Load Inputs
File Edit Help

Deferrable load is electric demand that must be served within some time period, but the exact timing is not important. Water pumping, battery charging, and ice making can be modeled as deferrable loads.

Enter 12 monthly values of average deferrable load, the storage capacity, and peak load. For calculations, HOMER uses scaled data: baseline data scaled up or down to the scaled annual average value.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Label: Load type: AC DC

Baseline data

Month	Average Load (kWh/d)
January	0.000
February	0.000
March	0.000
April	0.000
May	0.000
June	0.000
July	0.000
August	0.000
September	0.000
October	0.000
November	0.000
December	0.000
Annual average:	0.00

Monthly Deferrable Load

Load (kWh/d)

Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec

Scaled data for simulation

Scaled annual average (kWh/d) (.)

Other inputs

Storage capacity (kWh) (.)

Peak load (kW) (.)

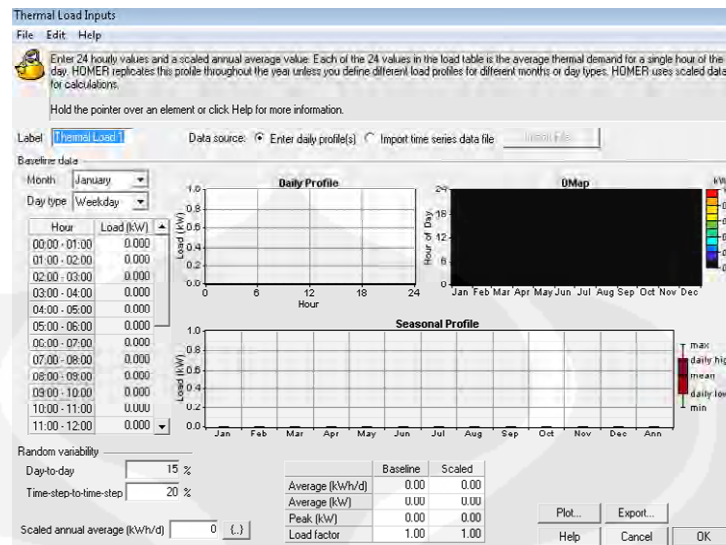
Minimum load ratio (%) (.)

Help Cancel OK

Gambar 2.6 Beban tunda pada Homer

3. Beban Panas (*Thermal Load*)

Homer memodelkan beban panas seperti halnya beban listrik pada umumnya, kecuali konsep menggunakan tenaga cadangan tidak diterapkan pada beban panas ini. Perencana menentukan jumlah beban panas untuk beberapa jam per tahun. Data beban ini dapat dimasukkan dengan mengumpulkan data per jam, atau dengan mengimpor data dari *file* yang sudah ada.



Gambar 2.7 Beban panas pada Homer

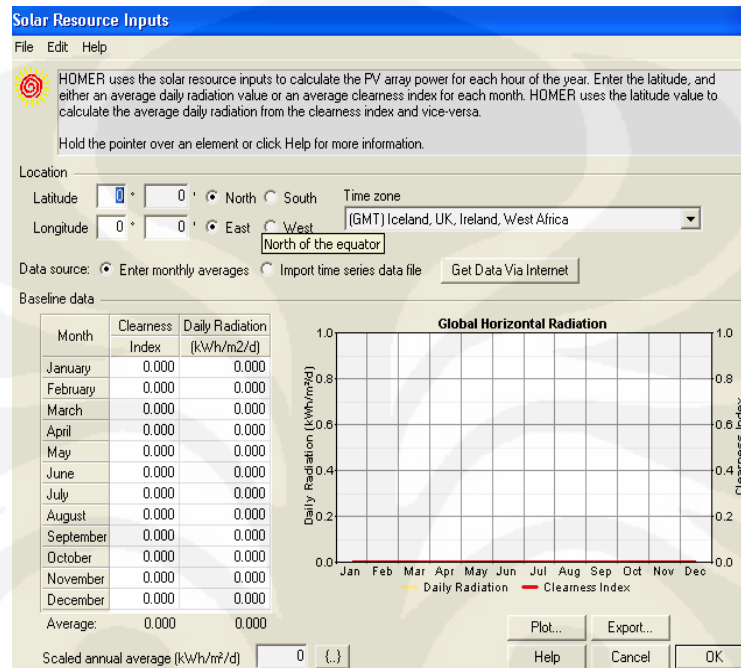
2.1.3.2 Sumber daya alam (SDA)

Sumber daya alam adalah faktor pendukung yang berasal dari luar sistem yang digunakan sistem untuk menghasilkan energi listrik atau panas. Didalam Homer terdapat 4 macam jenis SDA, yaitu matahari, angin, hidro, biomasa. SDA dapat diperbarui sangat bergantung pada lokasi. Sumber matahari besarnya tergantung pada garis lintang & bujur, dan iklim, sumber angin tergantung pola sirkulasi atmosfer dan pengaruh geografi. Sumber hidro tergantung dari pola curah hujan dan topografi, dan sumber biomasa tergantung produktifitas biologi. Kondisi alam dari sumber daya yang tersedia mempengaruhi proses dan masalah ekonomi dari sistem energi listrik diperbaharui, karena sumber daya menentukan jumlah dan besarnya dari produksi tenaga diperbaharui.

2.1.3.2.1 Sumber Daya Energi Matahari (*Solar Resource*)

Sumber energi yang harus ditentukan ketika perencana menggunakan sel surya / PV. Perencana harus memasukkan data sumber daya matahari dari lokasi yang telah ditentukan sebelumnya. Sumber daya solar mengindikasikan jumlah rata-rata dari radiasi matahari (pancaran radiasi sinar matahari yang mengarah secara langsung) yang mengarah langsung pada permukaan bumi selama setahun. Data radiasi ini terdiri dari data rata-rata radiasi matahari per jam pada permukaan horisontal (kW/m^2), rata-rata bulanan radiasi matahari pada permukaan horisontal ($\text{kWh/m}^2/\text{day}$), dan *index clearness* bulanan. *Clearness index* adalah

perbandingan radiasi matahari yang mengarah pada permukaan bumi terhadap radiasi matahari yang mengarah pada lapisan atmosfer teratas. Besarnya antara 0-1, *clearness index* pengukuran tingkat kecerahan dari atmosfer.



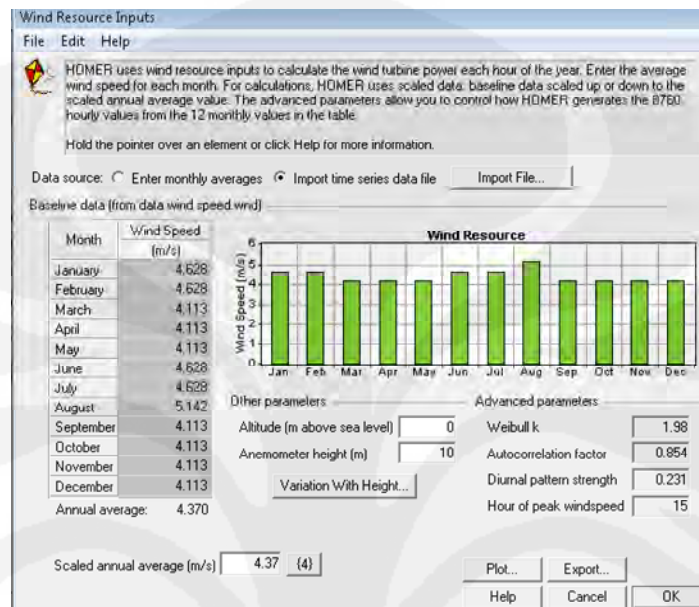
Gambar 2.8 Parameter masukan dari radiasi matahari

Pada gambar diatas dilihat bahwa data dapat ditentukan berdasarkan lokasi (*latitude & longitude*) dan *time zone*, atau *Get Data Via Internet*, dengan cara terhubung dengan internet dan mengambil data radiasi matahari langsung dari situs NASA.

2.1.3.2.2 Sumber Daya Energi Angin (*wind resource*)

Untuk memodelkan sistem dengan satu atau lebih turbin angin, pada Homer, perencana harus memasukkan data sumber daya angin yang menunjukkan kecepatan angin selama 12 bulan atau satu tahun di suatu daerah tertentu, dan 4 parameter masukkan tambahan : *Weibull shape factor*, *autocorrelation factor*, *diurnal pattern strength*, dan *hour of peak wind speed*. *Weibull shape factor* adalah pengukuran distribusi dari kecepatan angin selama setahun. *Autocorrelation faktor* adalah pengukuran bagaimana besarnya kecepatan angin dalam waktu 1 jam cenderung bergantung pada kecepatan angin pada waktu per jam sebelumnya. *Diurnal pattern strength* dan *hour of peak wind speed*

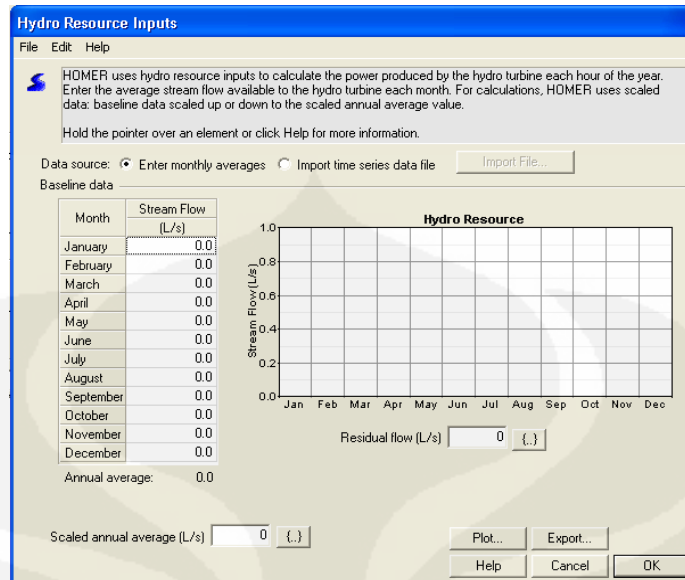
mengindikasikan *magnitude* dan *phasa* secara berturut-turut, dari pola rata-rata harian kecepatan angin. Homer menyediakan nilai normal pada parameter-parameter ini. Perencana dapat menentukan ketinggian anemometer, yaitu ketinggian anemometer diatas tanah sehingga data kecepatan angin dapat diukur.



Gambar 2.9 Parameter masukan dari kecepatan angin

2.1.3.2.3 Sumber Daya Energi Air (*Hydro Resource*)

Untuk memodelkan sistem yang terdapat turbin air, perencana Homer harus menyediakan data aliran sungai yang mengindikasikan jumlah air yang tersedia untuk menggerakkan turbin selama setahun. Perencana dapat menyediakan pengukuran data aliran sungai per jam jika tersedia. Sebaliknya, Homer dapat menggunakan data rata-rata aliran air per bulan. Perencana juga menentukan aliran sisa, yang mana adalah jumlah minimum aliran sungai yang harus dilewatkan ke turbin air. Homer mengurangi aliran sisa dari data aliran sungai untuk menentukan apakah aliran sungai tersedia untuk turbin atau tidak.



Gambar 2.10 Parameter masukan dari aliran air

2.1.3.2.4 Sumber Daya Energi Biomasa (*Biomass Resource*)

Sumber daya biomasa terdiri dari bermacam-macam bentuk (kayu yang tidak terpakai, sisa-sisa hasil pertanian, hewan, tanaman/tumbuhan, dll) yang dapat menghasilkan energi listrik atau panas. Homer memodelkan sistem tenaga biomasa yang dirubah menjadi energi listrik. Sumber daya biomasa ini memiliki dua keunikan dibandingkan dengan sumber daya lainnya yang dimodelkan oleh Homer. Pertama, ketersediaan dari sumber daya alam tergantung dari usaha manusia dalam memanen, untuk transportasi, dan cara penyimpanan. Kedua, sumber biomasa di ubah ke dalam bahan bakar gas atau bahan bakar cair, untuk dikonsumsi sebagai bahan bakar generator. Model dalam sumber daya biomasa pada Homer memiliki kesamaan dengan model bahan bakar lainnya. Dapat dilihat pada gambar 2.11

Gambar 2.11 Parameter masukan dari biomasa

Pengguna Homer dapat memodelkan sumber daya biomasa dalam dua cara. Cara sederhana adalah dengan menentukan bahan bakar dengan kekayaan alam yang sesuai dan menentukan konsumsi bahan bakar generator untuk menunjukkan hasil listrik versus jumlah hasil biomasa. Alternatif kedua adalah menggunakan masukan sumber daya biomasa, yang memungkinkan perencana untuk menentukan ketersediaan biomasa selama setahun.

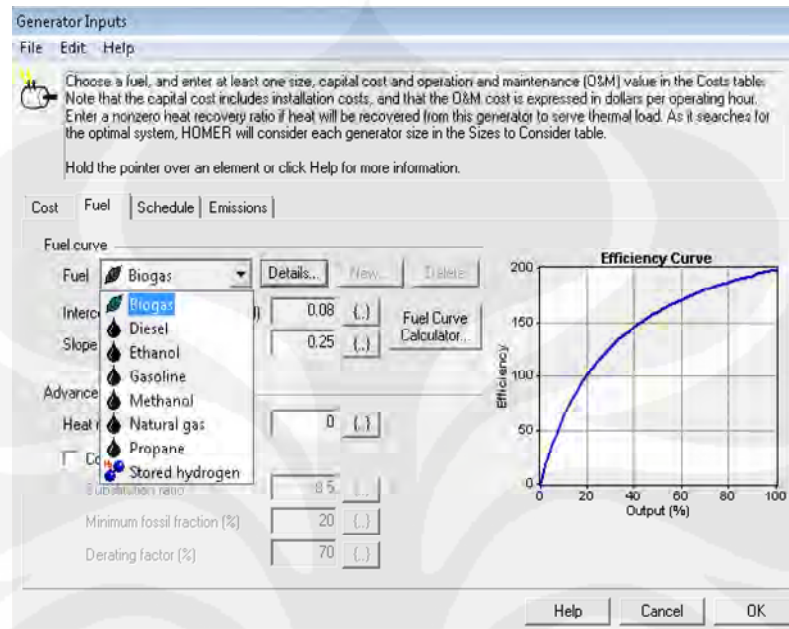
Seperti halnya data-data sumber daya yang ada, pengguna Homer mengindikasikan ketersediaan biomasa dengan mengimpor data per jam atau rata-rata bulanan. Jika perencana menentukan berdasarkan rata-rata per bulan, Homer mengasumsikan ketersediaan biomassa dalam 12 bulan selama setahun.

Perencana harus memasukkan empat parameter masukan untuk menentukan sumber biomasa, yaitu harga (\$/ton), kandungan karbon (%), perbandingan proses perubahan gas (kg/kg), dan kandungan energi dari bahan bakar biomasa (MJ/kg). Kandungan karbon harus mencerminkan jumlah dari karbon yang dilepaskan ke dalam atmosfer.

2.1.3.2.5 Bahan Bakar (*fuel*)

Homer menyediakan berbagai macam bahan bakar untuk digunakan, dan perencana dapat menambahkan bila perlu. Bahan bakar terdiri dari biogas, diesel,

ethanol, gasoline, methanol, natural gas, propane, stored hydrogen. Sedangkan properti fisik dari bahan bakar terdiri dari *density*, *lower heating value*, *carbond content*, *sulfur content*.



Gambar 2.12 Parameter masukan bahan bakar

2.1.3.3 Komponen Utama Sistem

Homer memodelkan 10 tipe komponen. Tiga diantaranya menghasilkan listrik dari sumber daya alam : Sel surya (PV), turbin angin, dan turbin air. Sel surya mengubah radiasi matahari menjadi tegangan listrik dc. Turbin angin mengubah energi angin menjadi tegangan listrik dc. Turbin air mengubah energi air menjadi tegangan listrik ac atau dc.

Tiga komponen lainnya seperti generator, jaringan transmisi, boiler (uap) adalah energi yang dapat diatur atau di kontrol sesuai dengan yang dibutuhkan. Generator mengkonsumsi bahan bakar untuk menghasilkan tegangan ac atau dc. Jaringan transmisi mengirim tegangan ac ke sistem dan menerima kelebihan energi listrik dari sistem. Boiler mengkonsumsi bahan bakar untuk menghasilkan energi panas.

Dua tipe komponen lainnya, konverter dan elektrolizer, mengubah energi listrik menjadi bentuk lain. Konverter mengubah listrik dari ac menjadi dc atau sebaliknya. Elektrolizer mengubah kelebihan energi listrik ac atau dc menjadi hidrogen melalui proses elektrolisis air. Sistem dapat menyimpan hidrogen, dan

menggunakannya sebagai bahan bakar untuk satu atau lebih generator. Dua tipe komponen penyimpanan lainnya, baterai dan tangki penyimpanan hidrogen. Baterai menyimpan energi listrik DC. Tangki penyimpanan hidrogen menyimpan dari elektrolizer ke bahan bakar atau generator.

1. Sel Surya (PV Array)

Homer memodelkan PV array sebagai peralatan yang memproduksi energi DC. Homer mengkalkulasikan tegangan keluaran dari Sel surya menggunakan persamaan :

$$P_{PV} = f_{PV} Y_{PV} \frac{I_T}{I_S} \quad \text{persamaan (2.1)}$$

Dimana =

f_{pv} : P_v derating faktor

Y_{pv} : daya yang diijinkan dari PV array (kW)

I_T : radiasi matahari secara global pada permukaan PV array (kW/m²)

I_s : 1kW/m², standar jumlah radiasi yang digunakan untuk nilai dari kapasitas PV array.

Unit satuan Watt-peak adalah satuan daya (Watt) yang dapat dibangkitkan oleh modul fotovoltaik dalam keadaan standar uji (*Standard Test Condition- STC*), atau jumlah energi yang diproduksi dibawah kondisi standar dari pemancaran 1kW/m² dan temperatur panel sebesar 25° C. Dalam Homer ukuran dari PV array selalu ditentukan pada bagian kapasitas daya yang diijinkan.

Derating factor adalah faktor skala untuk menghitung dari efek debu pada panel, rugu-rugi pada kawat, suhu, atau semua faktor-faktor yang menyebabkan keluaran dari Sel surya berkurang dari kondisi yang diharapkan. Homer tidak menghitung besarnya keluaran Sel surya menurun dengan bertambahnya suhu pada panel, tetapi perencana dapat mengurangi *derating factor* untuk memperbaiki keadaan itu, ketika membuat sistem untuk iklim yang panas.

Gambar 2.13 Parameter masukan untuk panel surya

Untuk menggambarkan biaya dari PV array, perencana dapat menentukan biaya modal yang dimiliki (\$), biaya pengganti komponen (\$), biaya operasi & pemeliharaan (\$/year). Biaya pengganti adalah biaya untuk mengganti Sela surya apabila mengalami kerusakan hingga batas waktu garansi.

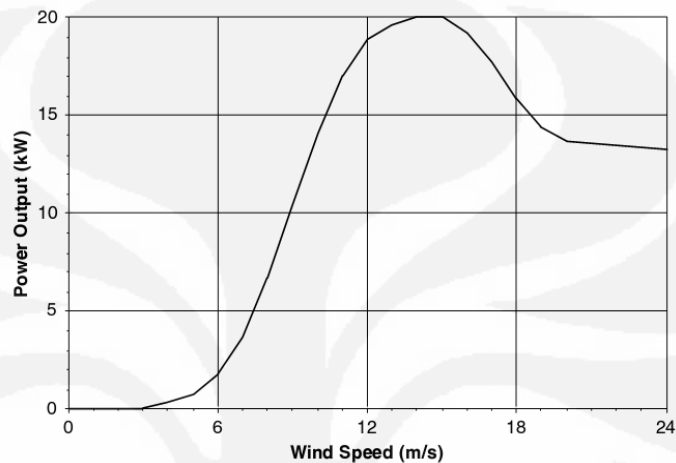
Parameter Keluaran Sel Surya :

Tabel 2.1 Parameter keluaran sel surya

Parameter	Keterangan
<i>Average output</i>	Jumlah energi rata-rata dari Sel surya selama setahun. (kWh/d)
<i>Minimum output</i>	Jumlah minimum dari keluaran energi Sel surya selama setahun. (kW)
<i>Maksimum output</i>	Jumlah maksimum dari keluaran energi Sel surya selama setahun. (kW)
<i>Solar penetration</i>	Jumlah rata-rata keluaran energi dari Sel surya dibagi dengan beban rata-rata. (%)
<i>Capacity factor</i>	<i>Mean output</i> dibagi <i>rated capacity</i> . (%)
<i>Hours of operation</i>	Jumlah waktu dari Sel surya selama menghasilkan energi. (hr/yr)

2. Turbin angin

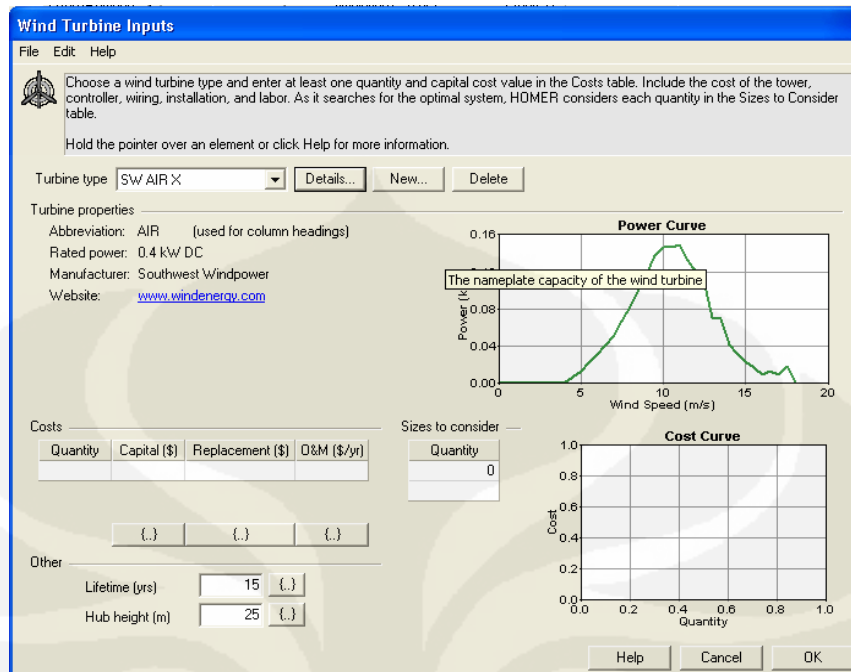
Homer memodelkan turbin angin sebagai peralatan yang merubah energi kinetik berupa angin menjadi tegangan ac atau dc, keluaran tegangan dapat digambarkan dengan kurva, yaitu grafik keluaran energi terhadap kecepatan angin.



Gambar 2.14 Kurva kecepatan angin

Homer mengasumsikan bahwa kurva tenaga menggunakan standar kerapatan udara sebesar 1.225kg/m^3 , yang mana sesuai dengan standar suhu dan tekanan udara.

Homer menghitung keluaran energi dari turbin angin dalam 4 langkah. Pertama, Homer menentukan rata-rata kecepatan angin per jam pada ketinggian anemometer yang sesuai dengan data sumber daya angin. Kedua, Homer menghitung kecepatan angin pada pusat rotor turbin dengan ketinggian tertentu menggunakan hukum logaritma dan hukum energi. Ketiga, Homer menggambarkan kurva energi untuk menghitung keluaran dari kecepatan angin berdasarkan standar kerapatan udara. Keempat, Homer mengkalikan nilai keluaran energi dengan rasio kerapatan udara, yang mana rasio dari nilai kerapatan udara sebenarnya terhadap standar kerapatan udara.



Gambar 2.15 Parameter masukan turbin angin

Parameter Keluaran Sel Surya :

Tabel 2.2 Parameter keluaran turbin angin

Parameter	Keterangan
<i>Average output</i>	Jumlah energi rata-rata dari Turbin angin selama setahun. (kWh/d)
<i>Minimum output</i>	Jumlah minimum dari keluaran energi Turbin angin selama setahun. (kW)
<i>Maksimum output</i>	Jumlah maksimum dari keluaran energi Turbin angin selama setahun. (kW)
<i>Solar penetration</i>	Jumlah rata-rata keluaran energi dari Turbin angin dibagi dengan beban rata-rata. (%)
<i>Capacity factor</i>	<i>Mean output</i> dibagi <i>rated capacity</i> . (%)
<i>Hours of operation</i>	Jumlah waktu dari Turbin angin selama menghasilkan energi. (hr/yr)

3. Turbin Air (*Hydro Turbine*)

Homer memodelkan turbin air sebagai peralatan yang dapat mengubah energi air menjadi energi listrik ac atau dc pada efisiensi yang tetap, dengan tidak memiliki kemampuan menyimpan air atau mengatur keluaran energi. Aliran air yang deras sangat cocok untuk turbin air, sehingga menghasilkan energi yang besar.

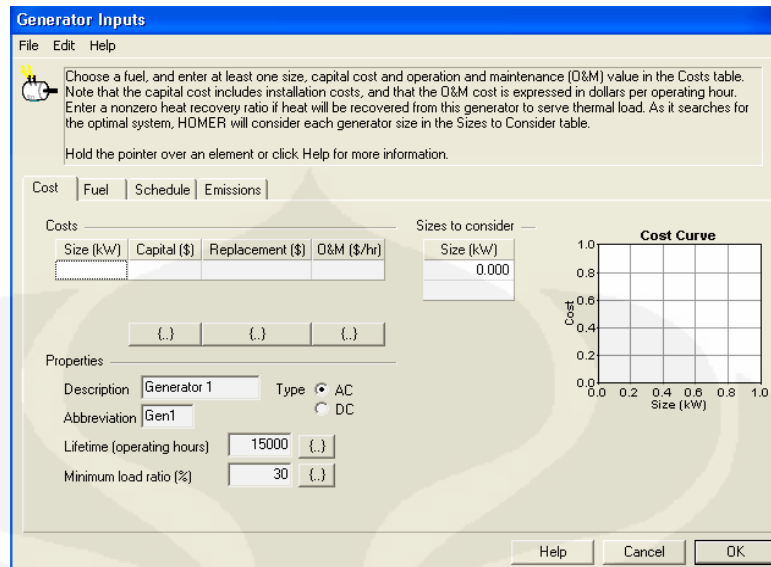
Gambar 2.16 Parameter masukan dari turbin air

Gambar 2.16 menunjukkan gambar masukan parameter turbin pada Homer. Data turbin air terdiri dari *Available head* (m) yaitu jarak vertikal antara pipa terhadap turbin. *Design flow rate* (L/s) yaitu rata-rata aliran air per detik. *Minimum flow ratio* (%) yaitu rata-rata minimum dari aliran air turbin. *Maximum flow ratio* (%) yaitu rata-rata maksimum dari aliran air yang masuk ke turbin. *Efficiency* (%) yaitu efisiensi rata-rata dari sistem hidro ketika mengubah energi air menjadi listrik.

Kemudian Homer juga menyediakan faktor-faktor ekonomi yang harus ditentukan, yaitu terdiri dari *capital cost* (\$), *Replacement cost* (\$), *O&M cost* (\$/yr), *Lifetime* (year).

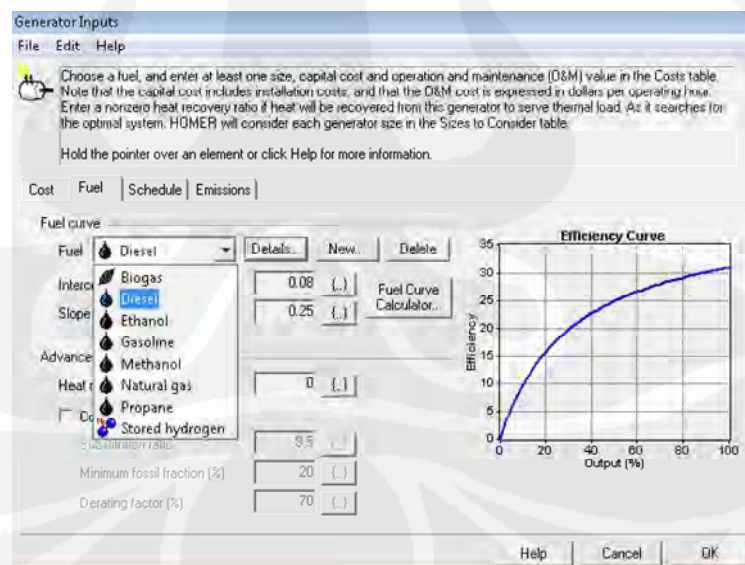
4. Generator

Generator membutuhkan bahan bakar untuk menghasilkan listrik, dan mungkin energi panas. Homer memodelkan bermacam-macam generator terdiri dari mikroturbin, *fuel cell*, *stirling engines*, *thermophotovoltaic generators*, *thermoelectric generators*. Homer dapat memodelkan sistem tenaga listrik sebanyak tiga generator, dengan keluaran berupa ac/dc, dan bahan bakar yang berbeda.



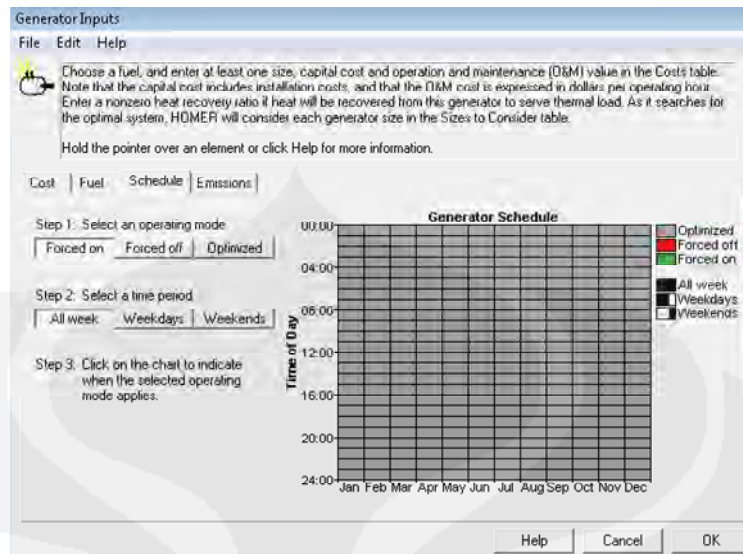
Gambar 2.17 Parameter masukan generator untuk biaya

Gambar diatas menunjukkan biaya dari generator, terdiri dari modal, biaya pengganti, biaya pengoperasian & pemeliharaan. Kemudian properti dari generator terdiri dari tipe keluaran energi, *lifetime (operating hour)*, *minimum load ratio*.



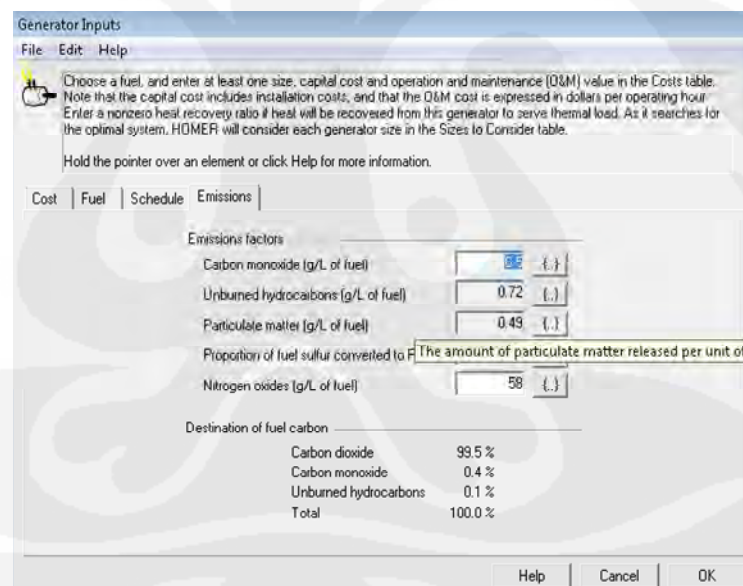
Gambar 2.18 Parameter masukan generator untuk bahan bakar

Gambar diatas menunjukkan Homer memodelkan bahan bakar yang dapat digunakan oleh generator, yaitu terdiri dari *biogas*, *diesel*, *ethanol*, *gasoline*, *methanol*, *natural gas*, *propane*, *stored hydrogen*.



Gambar 2.19 Parameter masukan generator untuk jadwal pengoperasian

Gambar diatas menunjukkan bahwa Homer dapat memodelkan jadwal pengoperasian generator, dapat diatur apakah bekerja per minggu, per hari, atau per akhir minggu saja.



Gambar 2.20 Parameter masukan generator untuk emisi

Gambar 2.19 diatas menunjukkan emisi dari bahan bakar yang digunakan. Faktor emisi yang terdapat pada Homer terdiri dari *carbon monoxide (g/L)*, *unburned hydrocarbons (g/L)*, *Particulate matter (g/L)*, *proportion of sulfur converted to PM (%)*, *Nitrogen oxides (g/L)*.

Parameter Keluaran Generator :

Tabel 2.3 parameter keluaran generator

Parameter	Keterangan
<i>Hours of operation (hr/yr)</i>	Jumlah waktu beroperasi generator selama setahun.
<i>Number of starts(start/yr)</i>	Banyaknya jumlah generator untuk melakukan <i>starts</i> selama setahun.
<i>Operational life(yr)</i>	Umur dari generator yang akan berakhir, sebelum waktu penggantian.
<i>Mean electrical output</i>	Jumlah rata-rata energi keluaran dari generator.
<i>Minimum electrical output</i>	Energi keluaran dari generator yang terendah selama setahun.
<i>Maximum electrical output</i>	Energi keluaran dari generator yang terbesar selama setahun.
<i>Average thermal output</i>	Jumlah rata-rata energi thermal dari generator selama beroperasi.
<i>Minimum thermal output</i>	Jumlah minimum thermal energi generator selama setahun.
<i>Maximum thermal output</i>	Jumlah maksimum thermal energi generator selama setahun.
<i>Annual fuel consumption</i>	Jumlah total dari bahan bakar yang digunakan generator selama setahun.
<i>Specific fuel consumption</i>	Jumlah rata-rata bahan bakar yang digunakan per kWh dari energi yang dihasilkan generator.

5. Elektrolizer

Sebuah elektrolizer membutuhkan listrik untuk menghasilkan hidrogen melalui proses elektrolisis air. Pada Homer, perencana menentukan besarnya ukuran daya pada elektrolizer. Perencana juga dapat menandai apakah elektrolizer membutuhkan tegangan ac atau dc. Homer menetapkan efisiensi elektrolizer sebagai kandungan energi (berdasarkan nilai pemanasan tertinggi) dari hasil hidrogen, dibagi dengan jumlah dari konsumsi energi listrik. Properti fisik dari elektrolizer adalah rasio energi minimum yang dapat dioperasikan, disimbolkan dalam persen (%). Sedangkan properti ekonomi terdiri dari *capital cost*, *replacement cost*, *O&M cost*.

6. Tangki Hidrogen

Pada Homer, tangki hidrogen menyimpan hidrogen yang dihasilkan elektrolizer yang akan digunakan nanti pada generator berbahan bakar hidrogen. Perencana menentukan besarnya tangki hidrogen, dengan menentukan variabel kandungan massa. Homer mengasumsikan bahwa proses penambahan hidrogen pada tangki tidak membutuhkan listrik.

Perencana dapat menentukan jumlah hidrogen pada tangki yaitu dalam persentasi ukuran tangki atau jumlah absolut dalam kilogram, dan juga adanya kemungkinan batas level tangki harus sama, atau melampaui level tangki. Properti ekonomi tangki hidrogen adalah Capital cost (\$), replacement cost (\$), O&M (\$/yr), lifetime (year).

7. Baterai

Baterai bank adalah satu atau sekumpulan beberapa buah baterai. Homer memodelkan baterai sebagai peralatan yang memiliki kemampuan untuk menyimpan sejumlah energi listrik dc, dengan batas pengisian dan pengosongan dalam waktu tertentu.

Didalam Homer, properti fisik dari baterai adalah tegangan nominal, kurva kapasitas, kurva umur baterai, keadaan minimum pengisian, efisiensi baterai. Kurva kapasitas menunjukkan kapasitas pengosongan dari baterai dalam *ampere-hours* terhadap arus pengisian dalam *amperes*. Fabrikasi menentukan beberapa poin dari kurva, yaitu dengan mengukur pengisian baterai (*amper-hour*) pada saat arus tetap dari pengisian baterai penuh. Kapasitas menurun dengan bertambahnya arus pengosongan. Kurva umur baterai menunjukkan pengisian dan pengosongan baterai dapat bertahan terhadap intensitas pemakaian. Jumlah dari angka kegagalan baterai akan menunjukkan penurunan dengan bertambahnya *cycle depth*.

8. Jaringan transmisi

Homer memodelkan jaringan transmisi sebagai komponen dimana sistem membeli energi listrik ac dan bagaimana sistem dapat menjual listrik ac. Biaya pembelian energi listrik dari jaringan dapat berisikan muatan energi berdasarkan jumlah pembelian energi pada periode waktu dan permintaan muatan berdasarkan permintaan puncak dalam jangka waktu tertentu. Homer

menggunakan jangka waktu *grid power price* (\$/kwh) adalah harga pembelian energi listrik dari jaringan, dan *demand rate* adalah harga dimana listrik yang diperlukan pada saat permintaan beban puncak. *Sellback rate* adalah harga yang harus dibayar untuk energi yang dijual pada jaringan.

Perencana yang menggunakan Homer dapat menetapkan dan menjadwalkan hingga 16 nilai yang berbeda, beberapa diantaranya mempunyai nilai yang berbeda dari harga jaringan, nilai permintaan, nilai jual. Penjadwalan dari besarnya nilai energi dapat bervariasi menurut bulan, hari, akhir pekan.

9. Boiler

Homer memodelkan boiler sebagai komponen ideal untuk menyediakan jumlah permintaan energi panas yang tidak terbatas. Ketika generator melayani beban, Homer mempertimbangkan nilai dari energi panas yang terbuang yang dapat di manfaatkan generator untuk melayani beban panas, tetapi generator tidak dirancang khusus untuk melayani beban panas. Homer menyakinkan bahwa boiler dirancang untuk melayani beban panas, Homer tidak mengizinkan batas konsumsi untuk bahan bakar boiler, dan tidak mengizinkan boiler untuk mengkonsumsi biomasa atau hidrogen.

10. Konverter

Konverter adalah peralatan yang mengubah energi listrik dari dc ke ac, disebut *invercion*, dan dari ac ke dc disebut *rectification*. Homer memodelkan dua tipe konverter, yaitu *solid state* dan *rotary*. Ukuran konverter atau kapasitas daya konverter adalah jumlah maksimal tegangan ac, sehingga peralatan dapat menghasilkan listrik dengan membalik listrik ac menjadi dc. Perencana menentukan kapasitas *rectifier*, jumlah energi dc, dimana peralatan dapat menghasilkan energi dengan cara membalik tegangan ac, sesuai dengan persentase dari kapasitas *inverter*. Homer mengasumsikan bahwa kapasitas *inverter* dan *rectifier* bukan kapasitas yang bergelombang, dimana hanya dapat bekerja pada waktu tertentu, tetapi konverter adalah kapasitas yang bekerja terus menerus sehingga peralatan ac/dc dapat bekerja selama dibutuhkan.

2.1.3.4 Pengaturan Sistem Energi

Pengaturan ini diperlukan untuk membuat keseluruhan komponen dapat bekerja secara bersama dan mendukung satu sama lain, sehingga didapatkan hasil sistem yang optimal. Pengaturan ini terdiri dari pengaturan tenaga cadangan sistem, kontrol dari komponen sistem, strategi pengaturan pengisian baterai.

2.1.3.4.1 Pengaturan Sistem Tenaga Cadangan

Tenaga cadangan dibutuhkan untuk mengatasi masalah fluktuasi dan tidak stabilnya beban listrik pada sistem. Contohnya suatu sistem diesel memiliki kapasitas 80kW untuk menyuplai beban listrik sebesar 55kW. Jadi terdapat sisa daya sebesar 25kW untuk tenaga cadangan. Artinya sistem akan tetap mendapat suplai listrik meskipun beban tiba-tiba naik sebesar 25kW. Perencana dapat menentukan besarnya tenaga cadangan sistem sebesar yang diinginkan.

Operating reserve	
As percent of load	
Hourly load (%)	10
Annual peak load (%)	0
As percent of renewable output	
Solar power output (%)	25
Wind power output (%)	50

Gambar 2.21 Tenaga cadangan pada Homer

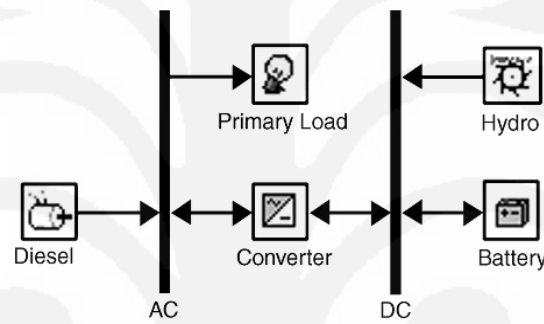
Pada gambar diatas, Homer mengkalkulasikan tenaga cadangan berdasarkan besarnya beban per jam, tenaga cadangan beban puncak, kemudian penambahan tenaga cadangan untuk tenaga hibrida, apabila keluaran sel surya dan turbin angin menurun sebesar persentasi yang ditentukan. Perencana menentukan nilai cadangan ini dengan mempertimbangkan besarnya beban dan keluaran tenaga hibrida mengalami fluktuasi pada jangka waktu tertentu. Setelah memasukkan nilai persentasi tenaga cadangan, maka akan didapatkan hasil kombinasi tenaga cadangan yang dibutuhkan pada sistem.

2.1.3.4.2 Sistem kontrol dari komponen tidak terbarukan (*dispatchable*)

Dalam beberapa jam per tahun, Homer menentukan apakah energi dari sumber daya terbaru mampu untuk melayani beban listrik, maupun beban panas.

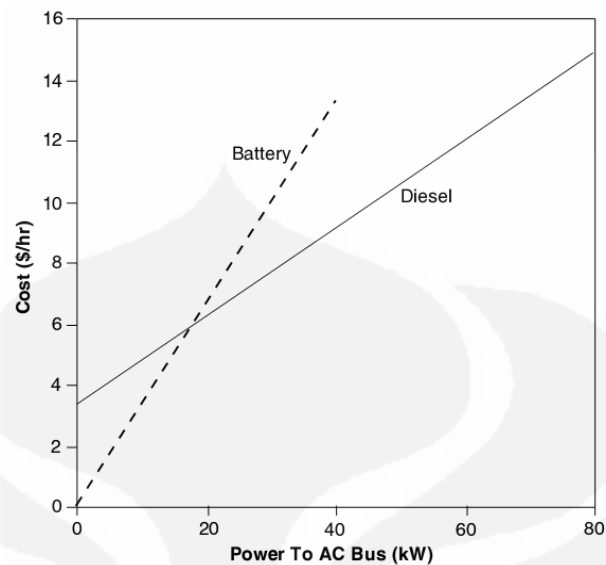
Jika tidak, homer dapat menentukan bagaimana kombinasi dari sumber tidak terbaru (generator, baterai, jaringan, boiler) melayani beban dan tenaga cadangan yang diperlukan. Sumber tidak terbaru lebih sulit untuk diperagakan/dibuat, karena perlu dikontrol untuk disesuaikan dengan suplai daya dan permintaan, dan untuk mengimbangi bagaimana kombinasi sistem antara sumber daya diperbarui lainnya.

Homer menggambarkan ekonomi dari beberapa energi tidak terbaru berdasarkan dua nilai, yaitu biaya tetap (\$/hr), dan biaya marginal energi (\$/kwh). Nilai ini menggambarkan semua biaya yang berhubungan dengan produksi energi dengan sumber energi per jam.



Gambar 2.22 sistem hidro-diesel-baterai

Gambar diatas menggambarkan rancangan sistem hidro-diesel-baterai, sistem ini berisikan 2 tenaga tidak terbaru, baterai dan diesel. Ketika beban jaringan negatif (energi keluaran dari turbin air cukup untuk melayani beban), maka energi dari hidro akan mengisi baterai. Tetapi ketika beban jaringan adalah positif, sistem harus mengoperasikan diesel atau baterai untuk melayani beban. Pada ketiga energi alternatif tersebut, Homer mempertimbangkan kemampuan masing-masing sumber energi tersebut untuk melayani beban ac, tenaga cadangan, dan biaya yang dibutuhkan.



Gambar 2.23 Perbandingan biaya antara diesel dan baterai

Gambar diatas menunjukkan perbandingan kemungkinan biaya antara diesel dan baterai, dimana kapasitas diesel mencapai hingga 80kW dan kapasitas baterai hingga 40kW. Pada kasus grafik diatas menunjukkan biaya marginal pada baterai melebihi biaya marginal diesel, atau biaya generator lebih murah apabila beban lebih dari 20 kW. Jika beban kurang dari 20kW, Homer akan melayani beban dengan mengisi baterai. Jika beban lebih besar dari 20kW, Homer akan melayani beban dengan generator, meskipun baterai mampu untuk melayani beban.

2.1.3.4.3 Strategi Pengisian Baterai

Strategi pengisian baterai ini adalah sekumpulan peraturan untuk menentukan cara kerja dari generator dan baterai bank. Homer memodelkan dua cara pengisian baterai, yaitu *cycle charging* dan *load following*. Hasil optimal tergantung dari beberapa faktor, termasuk ukuran kapasitas daya pada generator dan baterai, harga bahan bakar, biaya O&M generator, jumlah tenaga hibrida pada sistem. Homer akan mensimulasikan sistem dengan salah satu cara dari strategi diatas.

Load following adalah cara dimana generator hanya menghasilkan energi sesuai dengan permintaan beban yang dibutuhkan, jadi baterai akan diisi dengan

energi yang berasal dari tenaga hibrida. *Load following* akan optimal apabila digunakan pada sistem yang memiliki tenaga hibrida.

Cycle charging adalah cara pengisian baterai dimana generator bekerja dengan kapasitas maksimal, sehingga energi lebih yang dihasilkan disalurkan untuk mengisi baterai bank. Strategi pengisian ini akan optimal pada sistem yang sedikit atau tidak memiliki tenaga hibrida.

2.1.3.4.4 Sektor Ekonomi

Masalah ekonomi memegang peranan penting dalam merancang sebuah sistem tenaga listrik, dimana sektor ekonomi menentukan hasil sistem yang optimal. Sumber tenaga baik yang dapat diperbarui maupun tidak dapat diperbarui memiliki karakteristik harga yang berbeda. Sumber tenaga diperbarui cenderung memiliki harga yang tinggi, tetapi biaya pengoperasian dan perawatan rendah. Sebaliknya, sumber tenaga tidak dapat diperbarui memiliki harga yang murah, tetapi biaya pengoperasian dan perawatan tinggi.

Homer menggunakan *Net Present Cost* (NPC) untuk menggambarkan biaya keseluruhan sistem selama jangka waktu tertentu. Total biaya NPC mencakup semua biaya dan hasil yang terjadi selama proyek berlangsung. Besarnya NPC termasuk biaya komponen, biaya pengganti komponen, pemeliharaan bahan bakar, biaya penalti emisi, suku bunga per tahun, dll.

Cost of Energy (COE) adalah biaya rata-rata listrik yang dikeluarkan per kWh, ketika sistem menghasilkan energi listrik. Besarnya COE dihitung dari *total annualized cost* dibagi dengan besarnya *consumption energy* (kWh/yr).

2.2 Turbin Angin sebagai Tenaga Alternatif Pembangkit Listrik

2.2.1 Alat-alat Pengukur Kecepatan Angin

Kecepatan angin diukur dengan alat yang disebut anemometer [3]. Anemometer jenis mangkok adalah yang paling banyak digunakan. Anemometer mangkok mempunyai sumbu vertikal dan tiga buah mangkok yang berfungsi menangkap angin. Jumlah putaran per menit dari poros anemometer dihitung secara elektronik. Biasanya, anemometer dilengkapi dengan sudut angin untuk

mendeteksi arah angin. Jenis anemometer lain adalah anemometer ultrasonik atau jenis laser yang mendeteksi perbedaan fase dari suara atau cahaya koheren yang dipantulkan dari molekul-molekul udara.

Alat-alat pengukur angin tersebut adalah :

1. Anemometer, yaitu alat yang mengukur kecepatan angin.
2. Wind vane, yaitu alat untuk mengetahui arah angin.
3. Windssock, yaitu alat untuk mengetahui arah angin dan memperkirakan besar kecepatan angin. Biasanya ditemukan di bandara – bandara.

Selain dengan menggunakan alat-alat pengukur angin, arah dan kecepatan angin juga dapat diukur/diperkirakan dengan menggunakan tabel Skala Beaufort.

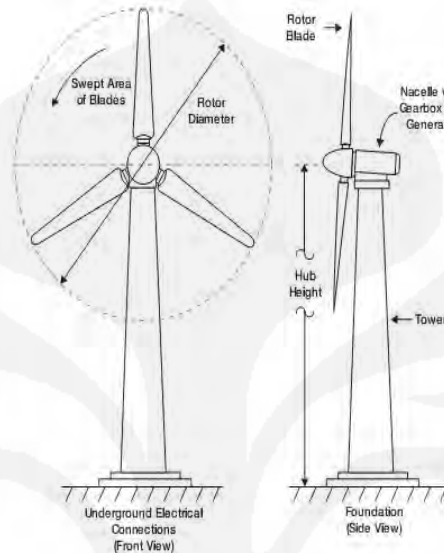


Gambar 2.24 Alat pengukur angin

2.2.2 Mekanisme Turbin Angin

Sebuah pembangkit listrik tenaga angin dapat dibuat dengan menggabungkan beberapa turbin angin sehingga menghasilkan listrik ke unit penyalur listrik. Listrik dialirkan melalui kabel transmisi dan didistribusikan ke rumah-rumah, kantor, sekolah, dan sebagainya. Turbin angin dapat memiliki tiga buah bilah turbin. Jenis lain yang umum adalah jenis turbin dua bilah [4]. Turbin angin bekerja sebagai kebalikan dari kipas angin. Bukannya menggunakan listrik untuk membuat angin, tetapi turbin angin menggunakan angin untuk membuat listrik. Angin akan memutar sudut turbin, kemudian memutar sebuah

poros yang dihubungkan dengan generator, lalu menghasilkan listrik. Turbin untuk pemakaian umum berukuran 50-750 kilowatt. Sebuah turbin kecil, kapasitas 5kW, dapat digunakan untuk perumahan, piringan parabola, pompa air, dll.



Gambar 2.25 Arsitektur turbin angin

2.2.3 Jenis Turbin Angin

Dalam perkembangannya, turbin angin dibagi menjadi jenis turbin angin propeler dan turbin angin Darrieus. Kedua jenis turbin inilah yang kini memperoleh perhatian besar untuk dikembangkan. Pemanfaatan yang umum sekarang sudah digunakan adalah untuk memompa air dan pembangkit tenaga listrik. Turbin angin propeler adalah jenis turbin angin dengan poros horizontal seperti baling-baling pesawat terbang pada umumnya. Turbin angin ini harus diarahkan sesuai dengan arah angin yang paling tinggi kecepatannya.

Turbin angin Darrieus merupakan suatu sistem konversi energi angin yang digolongkan dalam jenis turbin angin berporos tegak. Turbin angin ini pertama kali ditemukan oleh GJM Darrieus tahun 1920 [4]. Keuntungan dari turbin angin jenis Darrieus adalah tidak memerlukan mekanisme orientasi pada arah angin (tidak perlu mendeteksi arah angin yang paling tinggi kecepatannya) seperti pada turbin angin propeler.

Di Indonesia telah mulai dikembangkan proyek percontohan baik oleh lembaga penelitian maupun oleh pusat studi beberapa perguruan tinggi. Proyek ini

perlu memperoleh perhatian dari pihak yang terkait untuk dikembangkan karena membutuhkan riset yang cukup intensif mengenai kecepatan angin, lokasi penempatan turbin angin, serta cara untuk mengatur pembebanan turbin yang tidak merata. Misalnya pada malam hari angin cukup kencang, sedangkan pada pagi dan siang hari kecepatan angin turun sehingga harus ada mekanisme penyimpanan energi serta mekanisme untuk menstabilkan fluktuasi tegangan listrik yang dihasilkan.

2.3 Energi Surya sebagai Tenaga Alternatif Pembangkit Listrik

Untuk memanfaatkan potensi energi surya tersebut, ada 2 (dua) macam teknologi yang sudah diterapkan [5], yaitu :

- Teknologi energi surya fotovoltaik, energi surya fotovoltaik digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik, pompa air, televisi, telekomunikasi.
- Teknologi energi surya termal, energi surya termal pada umumnya digunakan untuk memasak (kompor surya), mengeringkan hasil pertanian (perkebunan, perikanan, kehutanan, tanaman pangan) dan memanaskan air.

2.3.1 Teknologi Energi Sel Surya Fotovoltaik

Salah satu cara penyediaan energi listrik alternatif yang siap untuk diterapkan secara masal pada saat ini adalah menggunakan suatu sistem teknologi yang diperkenalkan sebagai Sistem Energi Surya Fotovoltaik (SESF) atau secara umum dikenal sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fotovoltaik (PLTS Fotovoltaik). Sebutan SESF merupakan istilah yang telah dibakukan oleh pemerintah yang digunakan untuk mengidentifikasi suatu sistem pembangkit energi yang memanfaatkan energi matahari dan menggunakan teknologi fotovoltaik. Dibandingkan energi listrik konvensional pada umumnya, SESF terkesan rumit, mahal dan sulit dioperasikan. Namun dari pengalaman lebih dari 15 tahun operasional di beberapa kawasan di Indonesia, SESF merupakan suatu sistem yang mudah didalam pengoperasiannya, handal, serta memerlukan biaya pemeliharaan dan operasi yang rendah menjadikan SESF mampu bersaing dengan teknologi konvensional pada sebagian besar kondisi wilayah Indonesia yang terdiri atas pulau-pulau kecil yang tidak terjangkau oleh jaringan PLN dan tergolong sebagai kawasan terpencil.

Selain itu SESF merupakan suatu teknologi yang bersih dan tidak mencemari lingkungan. Beberapa kondisi yang sesuai untuk penggunaan SESF antara lain pada pemukiman desa terpencil, lokasi transmigrasi, perkebunan, nelayan dan lain sebagainya, baik untuk penerangan rumah maupun untuk fasilitas umum. Akan tetapi sesuai dengan perkembangan jaman, pada saat ini di negara-negara maju penerapan SESF telah banyak digunakan untuk suplai energi listrik di gedung-gedung dan perumahan pada kota besar.

Pada umumnya modul fotovoltaik dipasarkan dengan kapasitas 100 Watt-peak (Wp) dan kelipatannya. Unit satuan Watt-peak adalah satuan daya (Watt) yang dapat dibangkitkan oleh modul fotovoltaik dalam keadaan standar uji (Standard Test Condition-STC). Efisiensi pembangkitan energi listrik yang dihasilkan modul fotovoltaik pada skala komersial saat ini adalah sekitar 14-15 %.

Kondisi geografis Indonesia yang terdiri atas pulau-pulau yang kecil dan banyak yang terpencil menyebabkan sulit untuk dijangkau oleh jaringan listrik yang bersifat terpusat. Untuk memenuhi kebutuhan energi di daerah-daerah semacam ini, salah satu jenis energi yang potensial untuk dikembangkan adalah energi surya. Dengan demikian, energi surya dapat dimanfaatkan untuk penyediaan listrik dalam rangka mempercepat rasio elektrifikasi desa.

2.3.2 Teknologi Energi Surya Thermal

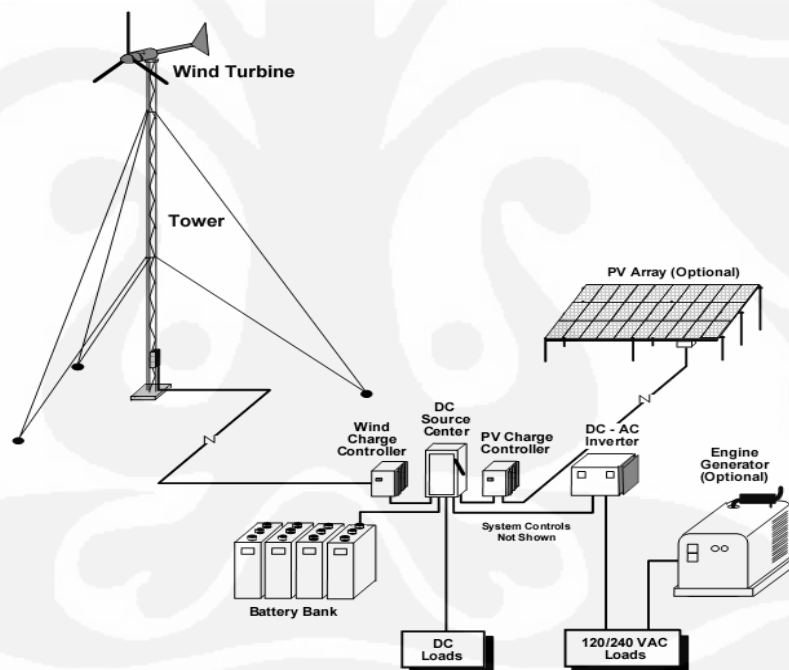
Selama ini, pemanfaatan energi surya termal di Indonesia masih dilakukan secara tradisional. Para petani dan nelayan di Indonesia memanfaatkan energi surya untuk mengeringkan hasil pertanian dan perikanan secara langsung. Berbagai teknologi pemanfaatan energi surya termal untuk aplikasi skala rendah (temperatur kerja lebih kecil atau hingga 60° C) dan skala menengah (temperatur kerja antara 60 hingga 120° C) telah dikuasai dari rancang-bangun, konstruksi hingga manufakturnya secara nasional. Secara umum, teknologi surya termal yang kini dapat dimanfaatkan termasuk dalam teknologi sederhana hingga canggih. Beberapa teknologi untuk aplikasi skala rendah dapat dibuat oleh bengkel biasa, dan untuk aplikasi skala menengah dapat dilakukan oleh industri manufaktur nasional.

BAB III

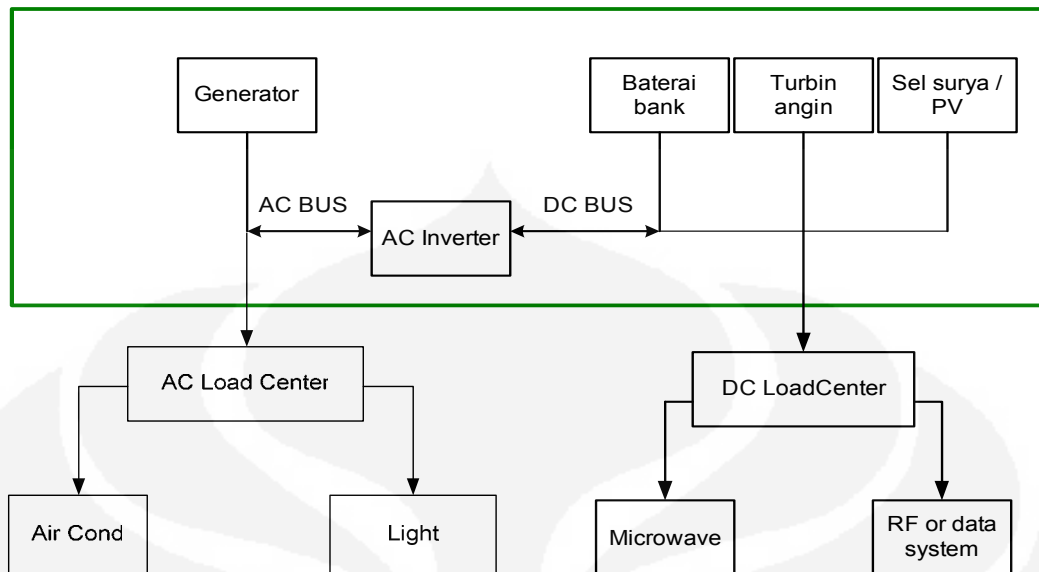
PERENCANAAN SISTEM ENERGI LISTRIK

3.1 Perencanaan Sistem Energi Listrik BTS

Sistem tenaga hibrida pada umumnya terdiri dari sumber energi utama yang bekerja secara paralel dengan unit energi tambahan lainnya. Perangkat lunak Homer digunakan untuk mengetahui hasil konfigurasi sistem yang paling optimal pada BTS (*Base Transceiver Station*) di desa Pecatu, Bali. Konfigurasi sistem tersebut mempertimbangkan beban listrik dan kombinasi Panel Sel Surya-Turbin Angin-Diesel, Gambar 3.1 dan 3.2 menunjukkan arsitektur dan skematik dari perencanaan sistem energi.



Gambar 3.1 Arsitektur sistem tenaga hibrida

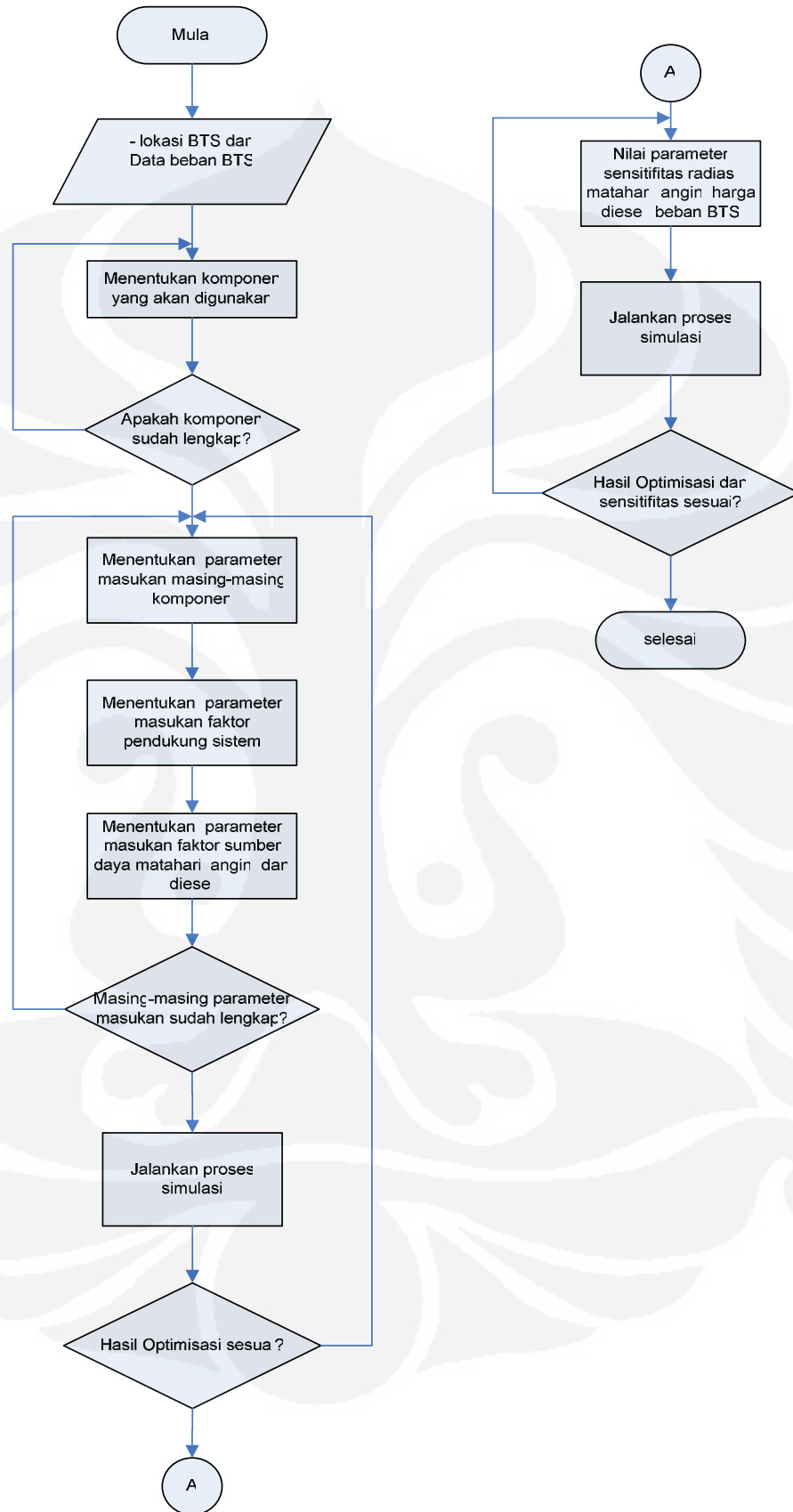


Gambar 3.2 Diagram skematik sistem tenaga listrik BTS

Langkah-langkah perancangan sistem energi hibrida pada BTS dengan perangkat lunak Homer :

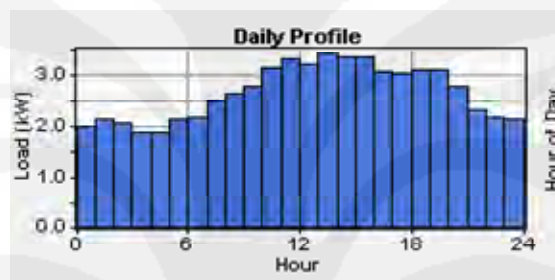
1. Menentukan lokasi BTS.
2. Memasukkan data beban listrik BTS per jam selama setahun.
3. Menentukan komponen-komponen yang digunakan, yaitu generator, PV, turbin angin, baterai bank, konverter.
4. Memasukkan data sumber daya energi yang tersedia, seperti angin, matahari dan bahan bakar.
5. Menentukan biaya tiap-tiap komponen dan parameter masukan komponen.
6. Menentukan nilai parameter masukan dari faktor pendukung lainnya, seperti faktor ekonomi, faktor kontrol sistem, faktor emisi, dan faktor pembatas (*constraint*) pada sistem.
7. Melakukan kalkulasi sistem.
8. Mendapatkan hasil optimisasi
9. Memasukkan nilai sensitifitas sumber daya matahari, angin, harga diesel, dan beban BTS.
10. Melakukan kalkulasi sistem.
11. Mendapatkan hasil optimisasi dan analisa sensitifitas, berdasarkan konfigurasi sistem.

3.2 Flowchart

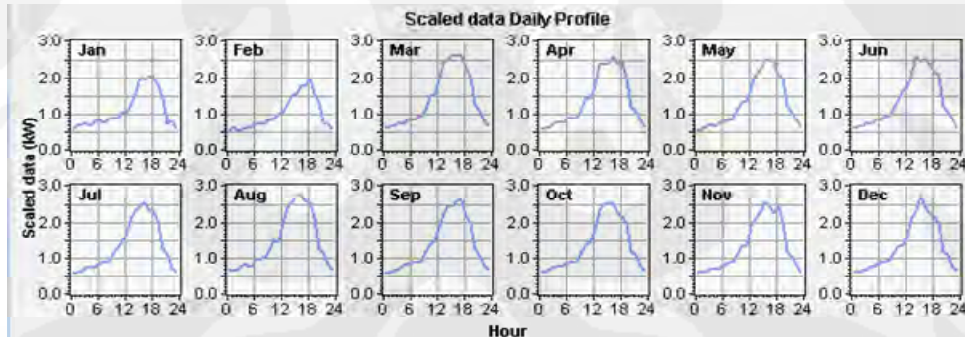


3.3 Data Beban Listrik BTS

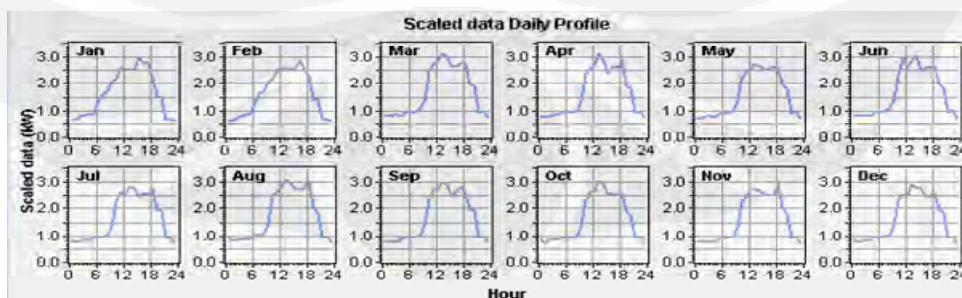
Data beban listrik didapatkan dari pengoperasian yang dipantau melalui *Network Monitoring System* salah satu operator di Indonesia [6]. Data yang didapatkan dan digunakan hanya data beban selama tiga hari, yaitu pada hari Sabtu, Minggu, dan Senin (01-03 Maret 2008). Ketiga hari tersebut mewakili beban listrik pada hari kerja dan akhir pekan. Beban pada BTS terdiri dari ac dan dc, beban ac terdiri dari *air conditioning* (AC), lampu, dll. Beban dc terdiri dari RF system, data microwave, alarm, dll.



Gambar 3.3 Data beban per jam



Gambar 3.4 Rata-rata beban listrik dc BTS per bulan selama setahun



Gambar 3.5 Rata-rata beban listrik ac BTS per bulan selama setahun

Gambar 3.3 diatas menjelaskan profil beban listrik BTS per jam selama satu hari. Beban puncak terlihat pada waktu siang hari. Sebuah BTS perlu daya listrik sekitar 31kWh/d untuk beban dc, dan 39kWh/d untuk beban. Pada grafik Gambar 3.4, terlihat bahwa beban puncak terjadi pada siang hari dan sore hari yaitu antara pukul 12.00 - 17.00 WIB, sedangkan beban terendah terjadi antara malam hari antara pukul 00.00 - 04.00WIB. Gambar 3.5 adalah gambar grafik untuk beban ac. Seperti halnya beban dc, pada beban ac terlihat beban puncak terjadi pada jam-jam tertentu, terjadi pada siang hari yaitu antara pukul 11.00-18.00. Sedangkan beban terendah untuk setiap bulan terjadi pada malam hari.

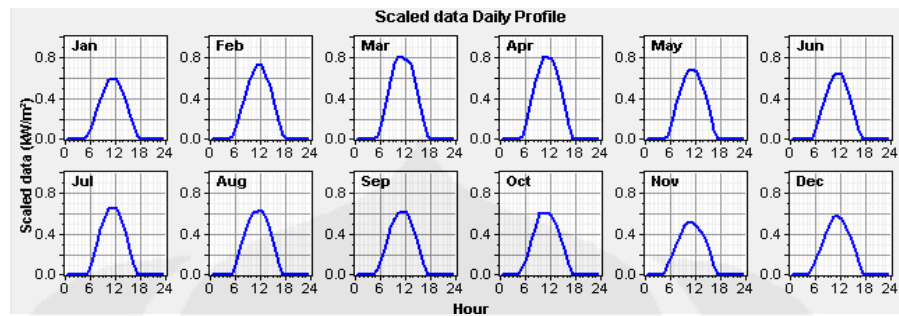
3.4 Faktor Sumber Daya Energi Matahari dan Angin

3.4.1 Sumber Daya Energi Matahari

Lokasi Kecamatan Pecatu, Kuta, terletak di daerah Selatan Pulau Bali, pada koordinat Garis lintang $8.3^{\circ} 49' 50.46''$ South dan garis bujur $115^{\circ} 07' 37.34''$ East. Data radiasi matahari didapatkan melalui “Get Data Via Internet” dimana Homer akan secara otomatis masuk kedalam situs resmi Badan Antariksa Amerika Serikat (*NASA Surface Meteorology*) [7], kemudian akan didapatkan rata-rata radiasi matahari per tahun sekitar 4,818 kWh/m²/d. Tabel 3.1 menunjukkan nilai radiasi matahari daerah Kuta dan sekitarnya, berdasarkan pengamatan NASA. Analisa sensitifitas dilakukan pada radiasi matahari sebesar 4.818kwh/m²/d, 5 kwh/m²/d, 6kwh/m²/d.

Tabel 3.1 Rata-rata radiasi matahari per tahun

Bulan	NASA (kWh/m²/d)
Januari	4.352
Februari	5.252
Maret	6.066
April	5.920
Mei	4.959
Juni	4.509
Juli	4.646
Agustus	4.628
September	4.573
Oktober	4.603
November	4.032
Desember	4.314
Rata-rata/thn	4.818



Gambar 3.6 Data rata-rata radiasi matahari selama setahun

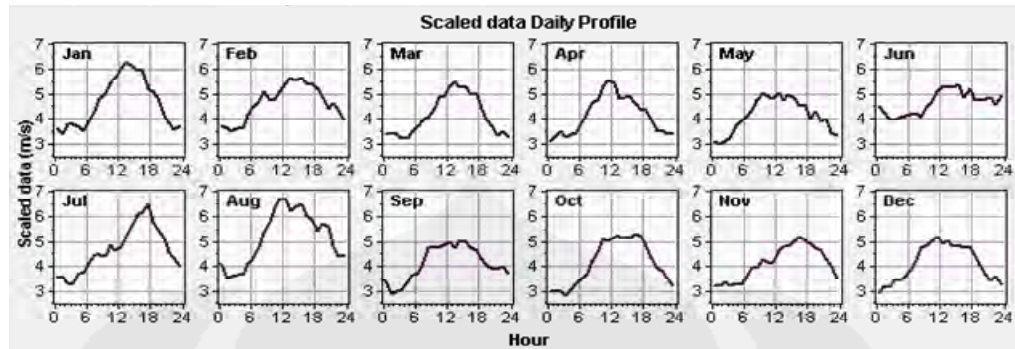
3.5.2 Sumber Daya Energi Angin

Data informasi kecepatan angin tidak tersedia secara khusus pada lokasi Desa Girisari, Kec.Pecatu, sehingga data itu didapatkan melalui situs Windfinder yang mengukur kecepatan angin pada daerah Kuta [8]. Data ini berdasarkan pengamatan yang dilakukan dari tahun 12/2002 sampai 2/2009, didapatkan rata-rata kecepatan angin selama setahun sebesar 4.37 m/s.

Data kecepatan angin juga didapatkan melalui Badan Antariksa Amerika (NASA) yang mengukur kecepatan angin pada bandara udara Ngurah Rai [9]. Didapatkan rata-rata kecepatan angin selama setahun sebesar 3m/s. Analisa sensitifitas energi angin dilakukan untuk mengantisipasi perubahan rata-rata kecepatan angin setiap tahunnya, yaitu sebesar 4.37m/s, 3m/s, 5m/s, 6m/s.

Tabel 3.2 Rata-rata kecepatan angin per tahun

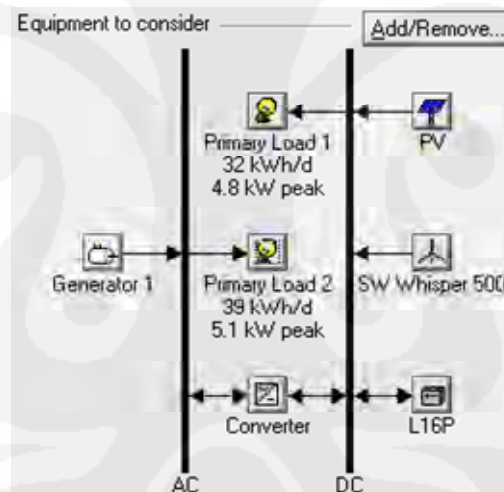
Bulan	Windfinder(m/s)
Januari	4.628
Februari	4.628
Maret	4.113
April	4.113
Mei	4.113
Juni	4.628
Juli	4.628
Agustus	5.142
September	4.113
Oktober	4.113
November	4.113
Desember	4.113
Rata-rata/thn	4.370



Gambar 3.7 Data rata-rata kecepatan angin selama setahun

3.5 Komponen-komponen Sistem Tenaga Hibrida

Komponen utama dari sistem tenaga hibrida untuk BTS adalah photovoltaic, turbin angin, generator, sedangkan komponen pendukung dari sistem adalah konverter, baterai bank, ac dan dc bus. Gambar 3.8 adalah Sistem tenaga Sel Surya-Turbin Angin-Diesel yang digambarkan oleh Homer.



Gambar 3.8 Sistem tenaga Surya-Turbin Angin-Diesel

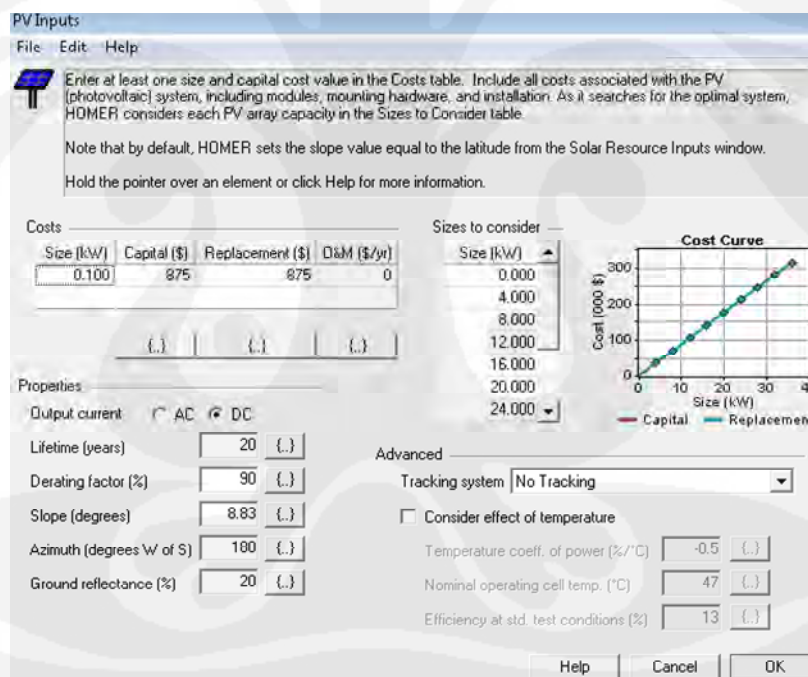
Tabel 3.3 Biaya komponen

Komponen	Daya	Modal	Biaya Pengganti	Operasi & pemeliharaan	<i>lifetime</i>
Generator	5kW	\$2110	\$2110	\$0.2/jam	17520 jam
PV	0,1kW	\$875	\$875	0	20 thn
Turbin angin	3 kW	\$13435	\$13000	\$100/thn	5 thn
Konverter	4kW	\$3130	\$3130	\$30/thn	15 thn
Baterai	360Ah / 6V	\$417	\$417	\$50/thn	1.075kWh

3.4.1 Sel Surya

Panel sel surya yang digunakan adalah MA100. Satu panel sel surya berkapasitas 100W dengan harga \$875.00. Biaya tersebut termasuk biaya pemesanan *online*, biaya pengiriman, biaya instalasi. Pada umumnya modul sel surya dipasarkan dengan kapasitas 100 Watt-peak (Wp) dan kelipatannya. Unit satuan Watt-peak adalah satuan daya (Watt) yang dapat dibangkitkan oleh modul photovoltaic dalam keadaan standar uji *Standard Test Condition* (STC) [10]. Parameter masukan sel surya ditunjukkan pada Gambar 3.9.

Dalam sebuah sistem, panel surya ini dapat disusun dan dirangkai menjadi beberapa buah panel, sesuai dengan daya yang dibutuhkan. Panel surya ini memiliki kelebihan yaitu struktur lapisan film photovoltaic yang tahan cuaca, tetap stabil dibawah suhu yang tinggi selama musim panas.



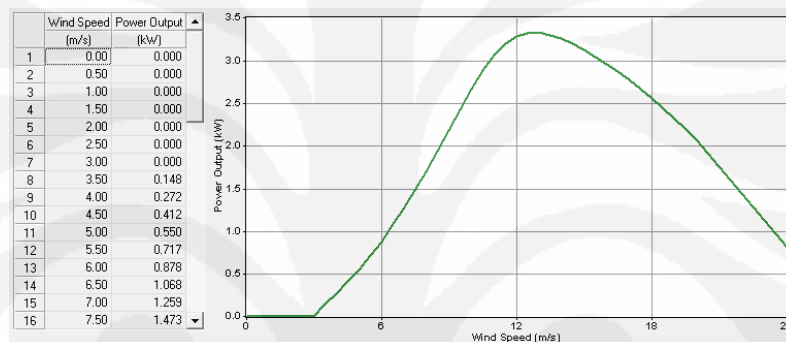
Gambar 3.9 Parameter masukan sel surya

3.4.2 Turbin Angin

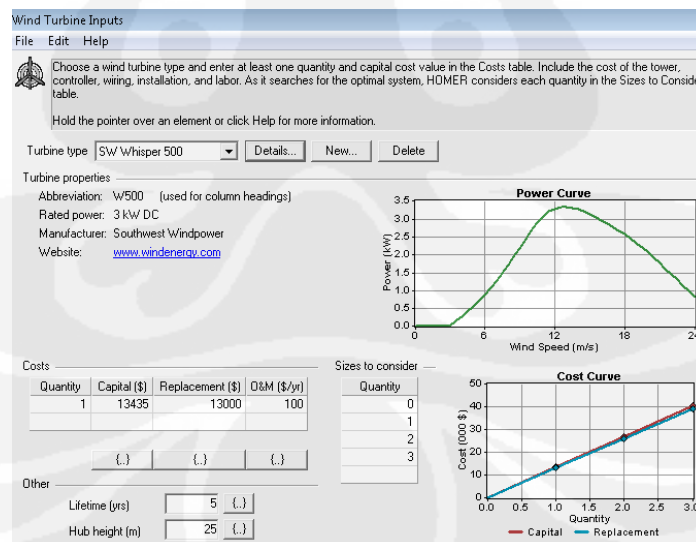
Komponen utama hibrida lainnya dalam sistem BTS ini adalah turbin angin. Tipe turbin angin yang dipergunakan dalam simulasi ini adalah SW Whisper 500, karena diantara data turbin angin lainnya yang disediakan oleh HOMER, turbin ini memiliki performa terbaik untuk kualitas kecepatan angin

sebesar rata-rata 4m/s. Turbin angin ini memiliki daya sebesar 3kW dengan harga \$6,300, dan garansi selama 5 tahun [11].

Besarnya energi yang dihasilkan pada turbin angin ditentukan oleh kecepatan angin, dimana ketinggian pusat rotor dengan tanah juga sangat berpengaruh. Kurva dari kecepatan angin ditunjukkan pada Gambar 3.10. Tower yang digunakan memiliki ketinggian 18m dengan tipe *Standard Guyed-Lattice Towers* dengan harga \$7,135. Tower dengan tipe ini sangat cocok dipakai oleh turbin angin dengan daya 3kW dan 5kW [12]. Parameter masukan turbin angin ditunjukkan pada Gambar 3.11.



Gambar 3.10 Kurva kecepatan rata-rata angin

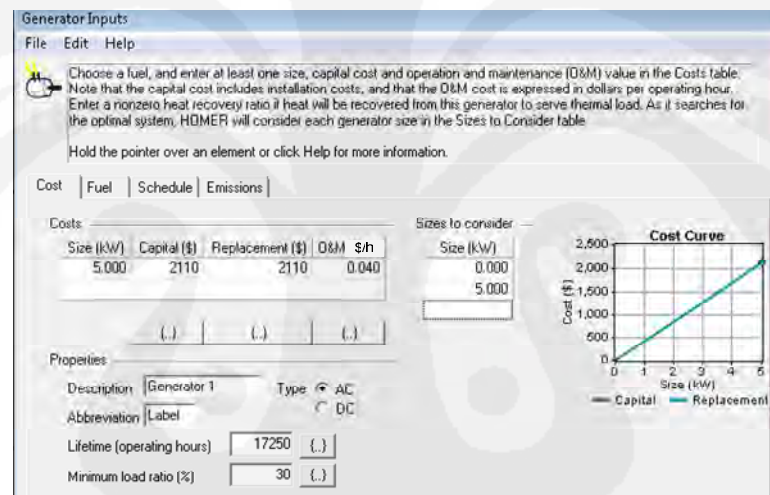


Gambar 3.11 Parameter masukan turbin angin

3.4.3 Generator

Generator yang digunakan adalah Model MGE4000 [13]. Generator dirancang tidak untuk menyuplai beban puncak secara penuh, sebagian besar beban dilayani oleh energi surya dan angin. Daya generator direncanakan sebesar 5 kW karena dapat memenuhi beban puncak dari kedua beban ac dan dc. Biaya generator sebesar \$2110, biaya pengganti sebesar \$2110, dan biaya pengoperasian sebesar \$0.2/hr. Besarnya pengeluaran biaya dari generator ditunjukkan oleh tabel 3.1. Gambar 3.12 menunjukkan parameter masukan generator.

Homer menyediakan parameter masukan generator, yang terdiri dari 4 macam, yaitu biaya (*cost*), bahan bakar (*fuel*), jadwal pengoperasian (*schedule*), emisi bahan bakar (*emission*).



Gambar 3.12 Parameter masukan pada generator

3.4.4 Konverter

Konverter ini berfungsi untuk mengubah tegangan ac ke dc atau sebaliknya, jenis konverter yang digunakan adalah Xantrex 4kW 12V 50A Inverter charger [14]. Komponen pendukung converter ini terdiri dari inverter dan rectifier. Masing-masing memiliki efisiensi sebesar 95.9% dan 95.9%. Biaya untuk pembelian konverter sebesar \$3130, garansi selama 15 tahun. Gambar 3.13 menunjukkan parameter masukan konverter.

Converter Inputs

A converter is required for systems in which DC components serve an AC load or vice-versa. A converter can be an inverter (DC to AC), rectifier (AC to DC), or both.

Enter at least one size and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the converter, such as hardware and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each converter capacity in the Sizes to Consider table. Note that all references to converter size or capacity refer to inverter capacity.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
4.000	3130	3130	30
(.)	(.)	(.)	(.)

Sizes to consider

Size (kW)
0.000
2.000
4.000
6.000
8.000

Inverter inputs

Lifetime (years) (.)

Efficiency (%) (.)

Inverter can operate simultaneously with an AC generator

Rectifier inputs

Capacity relative to inverter (%) (.)

Efficiency (%) (.)

Cost Curve

Graph showing Cost (000 \$) vs Size (kW). The x-axis ranges from 0 to 8 kW, and the y-axis ranges from 0 to 6 (000 \$). Two lines are plotted: Capital (red) and Replacement (blue). Both lines show a linear increase in cost with size.

Gambar 3.13 Parameter masukan converter

3.4.5 Baterai Bank

Baterai bank yang digunakan dalam simulasi ini adalah Trojan, terdiri dari dari 2x6V 420Ah, charger baterai 12Volt, dan sambungan baterai (*battery interconnect 25mm*), sambungan baterai digunakan untuk menghubungkan baterai sehingga kapasitas baterai menjadi 12V 420Ah. Baterai Trojan dipilih karena dapat tahan lama, harga murah, instalasi mudah [15]. Jumlah baterai yang direncanakan yaitu 0, 50, 100, 150. Biaya dari semua perlengkapan baterai sebesar \$417. Untuk lebih terperinci, dapat dilihat pada Gambar 3.14 dan Gambar 3.15.

Battery Inputs

Choose a battery type and enter at least one quantity and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the battery bank, such as mounting hardware, installation, and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each quantity in the Sizes to Consider table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Battery type: **Trojan L16P** Details... New... Delete

Battery properties

Manufacturer: Trojan Battery Company
 Website: www.trojan-battery.com

Nominal voltage: 6 V
 Nominal capacity: 360 Ah (2.16 kWh)
 Lifetime throughput: 1,075 kWh

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
1	417	417	50.00
(.)	(.)	(.)	(.)

Sizes to consider

Batteries
0
50
100
150

Advanced

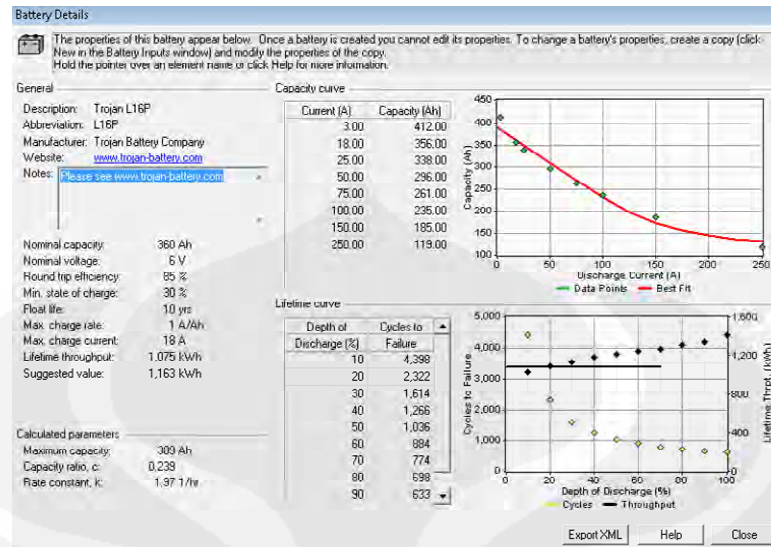
Batteries per string (6 V bus)

Minimum battery life (yr) (.)

Cost Curve

Graph showing Cost (000 \$) vs Quantity. The x-axis ranges from 0 to 150, and the y-axis ranges from 0 to 60 (000 \$). Two lines are plotted: Capital (red) and Replacement (blue). Both lines show a linear increase in cost with quantity.

Gambar 3.14 Parameter masukan baterai bank



Gambar 3.15 Spesifikasi data baterai bank Trojan L16P

3.5.3 Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan untuk genset berupa solar. Berdasarkan data PT.Pertamina (Persero), harga solar per liter untuk industri sebesar Rp 6000 [16], atau \$0.6 (kurs rupiah 10.000).

Diesel Inputs

File Edit Help

Enter the fuel price. The fuel properties can only be changed when creating a new fuel (click: New in the Generator Inputs or Boiler Inputs window). Hold the pointer over an element name or click: Help for more information.

Price (\$/L) (4)

Limit consumption to (L/yr) (1)

Fuel properties

Lower heating value: 43.2 MJ/kg
 Density: 820 kg/m3
 Carbon content: 88 %
 Sulfur content: 0.33 %

Help Cancel OK

Gambar 3.16 Parameter masukan diesel

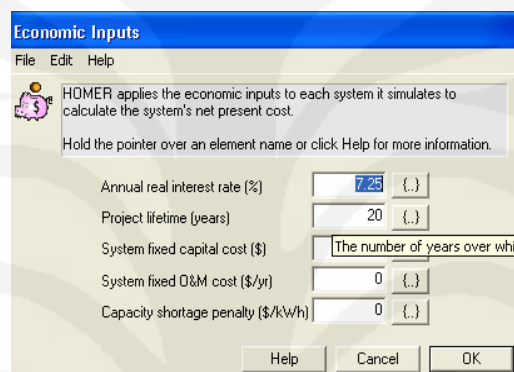
3.5 Faktor-faktor Lainnya

3.5.1 Faktor Ekonomi

Suku bunga per tahun adalah nilai nominal suku bunga dikurangi nilai inflasi. Suku bunga per tahun pada negara Indonesia per bulan Juni sebesar 7% [17]. Nilai yang tepat untuk suku bunga sangatlah bergantung kepada kondisi makroekonomi saat ini, kekuatan finansial dan berbagai kebijakan lainnya.

Gambar 3.16 menunjukkan parameter masukan suku bunga dan jangka waktu proyek.

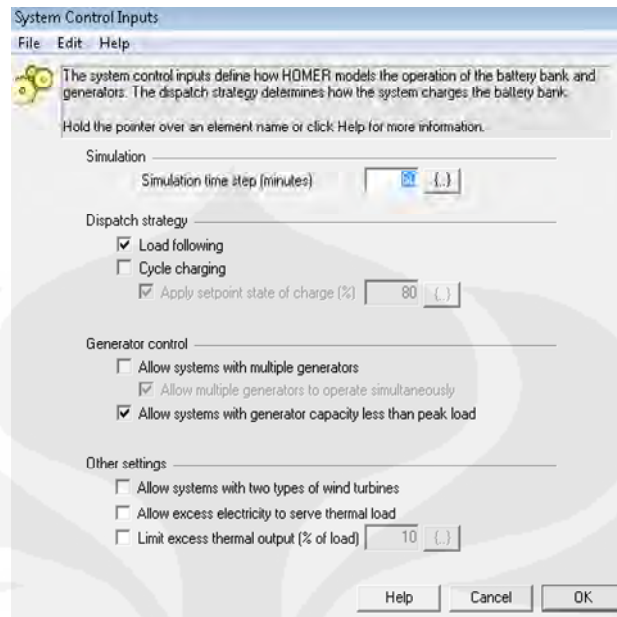
Umur proyek (tahun) adalah perkiraan lamanya umur proyek yang akan dibangun. Lamanya umur proyek dapat ditentukan dan disesuaikan dengan garansi komponen yang terlama. Pada sistem BTS diperkirakan umur proyek berlangsung selama 20 tahun, disesuaikan dengan garansi dari sel surya. Homer menggunakan umur proyek untuk menghitung biaya pengganti selama setahun dan biaya dari masing-masing komponen.



Gambar 3.17 Faktor Ekonomi pada Homer

3.5.2 Faktor Kontrol Sistem

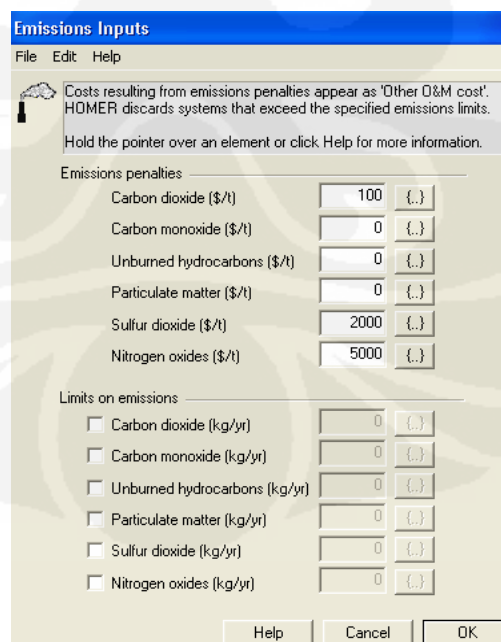
Parameter masukan kontrol sistem menetapkan bagaimana Homer memodelkan pengoperasian dari baterai bank dan generator. Pada *dispatch strategy* terdapat 2 (dua) cara melakukan pengisian baterai, yaitu *load following* dan *cycle charging*. Sistem energi BTS ini menggunakan cara *load following* yang artinya pengisian baterai dilakukan dengan tenaga hibrida (sel surya dan turbin angin). Cara ini dipilih karena sistem memiliki sumber energi sel surya dan turbin angin yang akan mengisi baterai ketika daya keluaran (*output*) melebihi beban yang dibutuhkan.



Gambar 3.18 Parameter masukan kontrol sistem pada Homer

3.5.3 Faktor Emisi

Faktor pinalti emisi adalah denda yang dikenakan terhadap perusahaan, untuk membatasi emisi-emisi yang dihasilkan sistem apabila melebihi batas yang ditetapkan. Berdasarkan data Energy Information Administration (EIA), dilakukan pinalti emisi CO₂ sebesar \$100/ton, NO₂ sebesar \$5000/t dan SO₂ sebesar \$2000/t [18].



Gambar 3.19 Parameter masukan faktor emisi

3.5.4 Faktor Constraint


Constraint adalah kondisi dimana konfigurasi sistem sangat memungkinkan untuk dirancang dan dibuat. Konfigurasi Sistem yang tidak memungkinkan tidak akan ditampilkan didalam hasil optimisasi dan analisa sensitifitas, Gambar 3.20 menunjukkan parameter masukan constraint yang terdapat pada Homer.

- *Maximum annual capacity shortage* adalah persentasi jumlah kekurangan energi listrik pada sistem setiap harinya. Diasumsikan nilainya sebesar 0,5%.
- *Minimum renewable fraction* adalah persentasi jumlah minimum energi terbarukan dengan generator. Diasumsikan nilai *renewable fraction* sebesar 75%.

Tenaga cadangan dibutuhkan untuk mengantisipasi apabila terjadi kenaikan beban secara tiba-tiba dan penurunan energi keluaran (*output*) pada tenaga hibrida. Tenaga cadangan ini dapat dikendalikan dengan mengatur data beban per jam, data beban puncak, data energi keluaran turbin angin, dan data keluaran pada panel sel surya.

- *Hourly load* adalah jumlah persentasi besarnya nilai yang ditambahkan pada beban setiap jamnya. Besarnya *hourly load* pada perancangan sebesar 10%, untuk mengantisipasi terjadinya kenaikan beban sebesar 10%.
- *Annual peak load* adalah persentasi besarnya nilai yang ditambahkan hanya pada beban puncak.
- *Solar power output* adalah persentasi besarnya nilai untuk mengantisipasi apabila energi keluaran sel surya menurun sebesar 25%.
- *Wind power output* adalah persentasi besarnya nilai untuk mengantisipasi apabila energi keluaran turbin angin menurun sebesar 50%.

Constraints
File Edit Help

 Constraints are conditions that systems must meet to be feasible. Infeasible systems do not appear in the sensitivity and optimization results. Operating reserve provides a margin to account for intra-hour deviation from the hourly average of the load or renewable power output. HOMER calculates this margin for each hour based on the operating reserve inputs.

Hold the pointer over an element name or click Help for more information.

Maximum annual capacity shortage (%) (..)

Minimum renewable fraction (%) (..)

Operating reserve

As percent of load

Hourly load (%) (..)

Annual peak load (%) (..)

As percent of renewable output

Solar power output (%) (..)

Wind power output (%) (..)

Note: HOMER calculates the total required operating reserve for each hour by multiplying each of these four inputs by the load or output value for that hour and adding the results.

Primary energy savings

Minimum primary energy savings (%) (..)

Reference electrical efficiency (%) (..)

Reference thermal efficiency (%) (..)

Help Cancel OK

Gambar 3.20 Parameter masukan faktor constraint

BAB IV

ANALISA HASIL SIMULASI HOMER

4.1 Konfigurasi Sistem Energi Terbarukan

4.1.1 Hasil Optimisasi

Proses optimisasi dilakukan setelah proses simulasi dilakukan. Proses simulasi memodelkan dan merancang konfigurasi sistem secara khusus, maka proses optimisasi dilakukan untuk menentukan kemungkinan terbaik dalam konfigurasi sistem.

Homer mengelompokkan 5 konfigurasi sistem yang berbeda-beda untuk setiap komponennya. Hasil optimisasi untuk kecepatan angin 4.37 m/s, radiasi sinar 4.82kWh/m²/d, harga diesel \$0.45/L, ditunjukkan pada Gambar 4.1.

Pada kasus BTS ini didapatkan konfigurasi sistem berupa, 8 kW panel surya, 2 turbin angin, 5kW generator, 50 baterai bank, 4kW konverter. Konfigurasi ini dipilih pada baris pertama Gambar 4.1, berdasarkan total *Net Present Cost* (NPC) terendah yaitu sebesar \$265,317, dengan *Initial Capital Cost* \$122,960, dan *Cost of Energy* (COE) \$0.883/kWh.

Untuk hasil simulasi *renewable fraction*, Homer mendapatkan nilai sebesar 78.3%. Selama proyek berlangsung, generator bekerja selama 2,421 jam, dengan konsumsi bahan bakar sebanyak 2,476 Liter.

	PV (kW)	W500	Label (kW)	L16P	Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Diesel (L)	Label (hrs)
	8	2	5	50	4	\$ 122,960	\$ 265,317	0.883	0.78	0.00	2,476	2,421
	16		5	50	4	\$ 166,090	\$ 275,055	0.915	0.81	0.00	2,287	2,059
		5	5	100	4	\$ 114,115	\$ 360,126	1.201	0.80	0.01	2,265	1,871
	16	3		100	4	\$ 225,135	\$ 405,002	1.350	1.00	0.01		
	28			100	6	\$ 291,395	\$ 417,419	1.393	1.00	0.00		

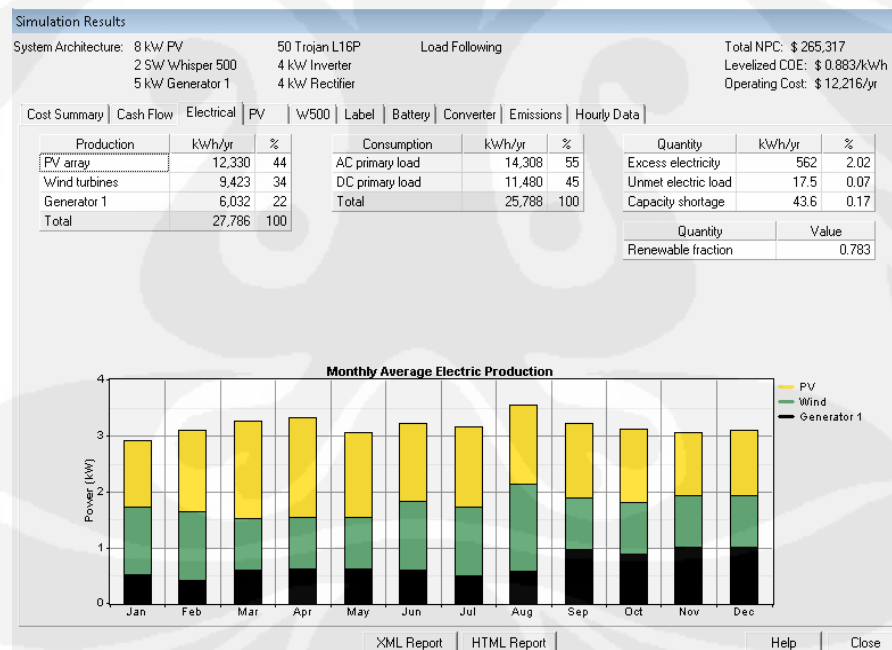
Gambar 4.1 Hasil optimisasi untuk kecepatan angin 4.37m/s, radiasi sinar 4.82kWh/m²/d, harga diesel \$0.45/L

Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
PV	70,000	18,089	0	0	-9,673	78,416
SW Whisper 500	26,870	47,897	2,331	0	0	77,098
Generator 1	2,110	2,604	5,643	12,986	-191	23,152
Trojan L16P	20,850	17,114	29,134	0	-1,142	65,956
Converter	3,130	1,134	350	0	-192	4,422
Other	0	0	16,274	0	0	16,274
System	122,960	86,839	53,730	12,986	-11,199	265,317

Gambar 4.2 Total biaya NPC sistem

Hasil konfigurasi sistem yang paling optimal ditentukan oleh besarnya NPC (*Net Present Cost*) terkecil, karena NPC adalah biaya keseluruhan sistem selama jangka waktu tertentu, ditunjukkan Gambar 4.1.

Total biaya NPC mencakup semua biaya yang dikeluarkan selama proyek berlangsung, terdiri dari biaya komponen, biaya pengganti, biaya pemeliharaan, biaya bahan bakar, biaya pinalti emisi, biaya suku bunga, ditunjukkan Gambar 4.2. Homer juga menghitung *salvage value* untuk baterai dan generator dimana sebagai nilai sisa pada komponen sistem hingga batas akhir proyek berlangsung.



Gambar 4.3 Hasil produksi listrik masing-masing komponen

Pada gambar 4.3, secara keseluruhan sistem menghasilkan energi listrik sebesar 27,786 kWh/yr, sedangkan total keseluruhan konsumsi beban sebesar 25,788kWh/yr.

Unmet load pada sistem sebesar 0.07% atau 17.5kWh/yr, ini terjadi ketika permintaan beban melebihi persediaan energi listrik yang ada, sehingga beban tidak dapat dilayani oleh sistem, ditunjukkan Gambar 4.3.

Capacity shortage atau besarnya kekurangan energi per tahun yang disebabkan menurunnya kecepatan angin dan radiasi matahari pada bulan-bulan tertentu, yaitu sebesar 0.17% atau 43.6 kWh/yr. Nilai ini cukup kecil, dengan rata-rata per bulan 3.63 kWh, ditunjukkan pada Gambar 4.3.

Hasil simulasi parameter keluaran untuk masing-masing komponen ditunjukkan Gambar 4.4, Gambar 4.5, dan Gambar 4.6. Pada parameter keluaran sel surya dan turbin angin terlihat *Total Production* sel surya lebih besar daripada turbin angin, hal ini menunjukkan penggunaan sel surya di daerah tersebut lebih efektif dibandingkan dengan turbin angin, dimana menghasilkan keluaran energi rata-rata sel surya sebesar 1.41 kWh atau 33.8 kWh/d, dan keluaran energi rata-rata turbin angin sebesar 1.08kW atau 25.92kWh/d.

Total Production PV = Mean output x 8760 h
= 1.41 kW x 8760 h
= 12,330 kWh/yr

Total Production Wind turbin = Mean output x 8760 h
= 1.08 x 8760h
= 9,423 kWh/yr

Quantity			Value			Units		
Rated capacity	8.00	kW	Minimum output	0.00	kW			
Mean output	1.41	kW	Maximum output	8.17	kW			
Capacity factor	17.6	%	PV penetration	47.8	%			
Total production	12,330	kWh/yr	Hours of operation	4,377	hr/yr			
			Levelized cost	0.546	\$/kWh			

Gambar 4.4 Hasil simulasi untuk panel sel surya

Quantity			Value			Units		
Total rated capacity	6.00	kW	Minimum output	0.00	kW			
Mean output	1.08	kW	Maximum output	6.65	kW			
Capacity factor	17.9	%	Wind penetration	36.5	%			
Total production	9,423	kWh/yr	Hours of operation	6,019	hr/yr			
			Levelized cost	0.702	\$/kWh			

Gambar 4.5 Hasil simulasi untuk turbin angin

Cost Summary			Cash Flow			Electrical			PV			w500			Label			Battery			Converter			Emissions			Hourly Data		
Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units			
Hours of operation	2.421	hr/yr	Electrical production	6,032	kWh/yr	Fuel consumption																							
Number of starts	738	starts/yr	Mean electrical output	2.49	kW	Specific fuel consumption																							
Operational life	7.13	yr	Min. electrical output	1.50	kW	Fuel energy input																							
Capacity factor	13.8	%	Max. electrical output	5.00	kW	Mean electrical efficiency																							
Fixed generation cost	0.728	\$/hr																											
Marginal generation cost	0.253	\$/kWh																											

Gambar 4.6 Hasil simulasi untuk generator

Gambar 4.6 menunjukkan hasil parameter keluaran dari generator. Selama setahun, generator menghasilkan energi listrik sebesar 6,032 kWh/yr, dengan konsumsi bahan bakar sebanyak 2,476 L/yr.

Pada bab sebelumnya, *renewable fraction* dirancang sebesar 75%, hal ini dikarenakan ingin memaksimalkan potensi-potensi sumber daya energi yang terdapat di daerah tersebut, selain itu karena sistem pembangkit BTS yang ada di Bali saat ini menggunakan tenaga matahari dan angin sebesar 75% dan 25% dari PLN [19].

Setelah disimulasikan, Homer menghasilkan *renewable fraction* sebesar 78%, yang artinya sistem disuplai oleh energi dari turbin angin dan sel surya sebesar 78%, sedangkan generator hanya menghasilkan energi sebesar 22% untuk melayani beban selama setahun. Fungsi dari generator itu sendiri adalah sebagai tenaga cadangan apabila rata-rata radiasi matahari dan kecepatan angin mengalami penurunan, dimana energi sel surya dan turbin angin tidak maksimal.

Renewable fraction mempengaruhi total biaya NPC dan COE, semakin besar *renewable fraction*, maka total biaya NPC dan COE akan semakin besar pula (Tabel 4.1). Hal ini disebabkan karena sistem lebih banyak menggunakan energi hibrida dimana biaya pembelian turbin angin dan sel surya lebih mahal apabila dibandingkan dengan generator.

Perhitungan COE (\$/kWh) :

$$\text{COE saat 75\% (\$/kWh)} = \frac{\text{total annualized cost}}{\text{Total consumption energy}} = \frac{\$22,767}{25,788\text{kWh/yr}} = 0.883$$

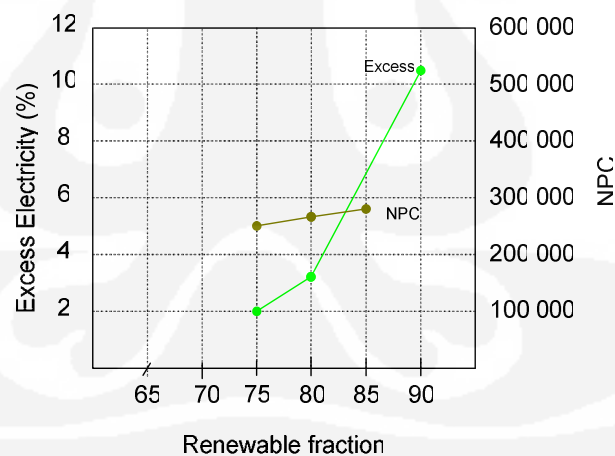
$$\text{COE saat 80\% (\$/kWh)} = \frac{\text{total annualized cost}}{\text{Total consumption energy}} = \frac{\$22,912}{25,787\text{kWh/yr}} = 0.888$$

$$\text{COE saat 90\% (\$/kWh)} = \frac{\text{total annualized cost}}{\text{Total consumption energy}} = \frac{\$25,162}{25,797\text{kWh/yr}} = 0.975$$

Pada *Renewable fraction* 75%, *excess electricity* yang dihasilkan sistem terlihat sangat kecil dibandingkan dengan *Renewable fraction* 80 dan 90%, *excess electricity* adalah besarnya kelebihan energi yang dihasilkan sistem sehingga tidak dapat diserap baterai bank. Besarnya *excess electricity* ini dapat dikurangi dengan menambah jumlah baterai bank, karena fungsi baterai bank sebagai penyimpan energy dc, tetapi penambahan baterai bank akan membuat sistem lebih mahal dan konfigurasi sistem berubah.

Tabel 4.1 Perbandingan pengaruh renewable fraction terhadap parameter keluaran

Renewable fraction (%)	Initial Capital (\$)	NPC (\$)	COE (\$/kWh)	Excess Electricity (%)	Emisi (kg/yr)
75	122,960	265,317	0.883	2.02	6,521
80	144,525	267,003	0.888	3.55	5,591
90	159,525	293,222	0.975	10.7	5,968



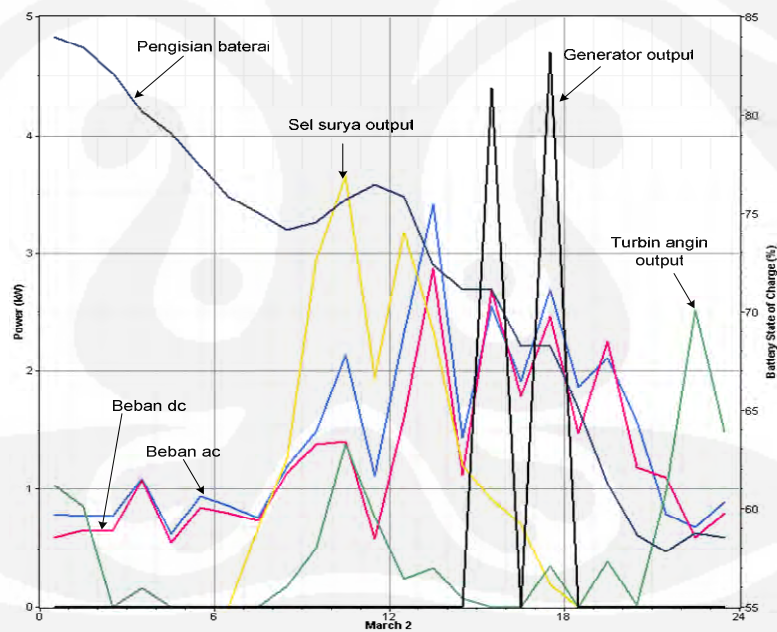
Gambar 4.7 Grafik renewable fraction terhadap excess electricity dan NPC

Sistem energi terbarukan ini memiliki kelemahan dalam segi biaya. Untuk membangun BTS berpembangkit listrik tenaga hibrida diperlukan dana tidak kurang dari \$122,960, karena mahalnya biaya turbin angin dan sel surya. Apabila dibandingkan dengan sistem energi BTS yang ada sekarang yaitu dengan sumber PLN, maka keekonomian (COE) sumber tenaga hibrida jauh lebih mahal, yaitu

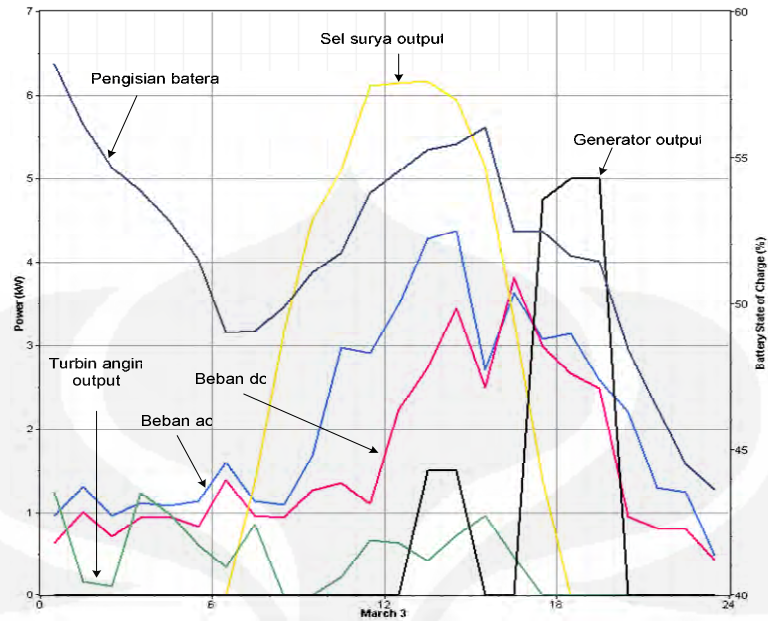
sekitar \$0.883/kWh, sedangkan tarif PLN hanya \$0.054/kWh karena disubsidi pemerintah [19].

Keuntungan yang diperoleh dari pengoperasian BTS sistem energi hibrida ini yaitu meningkatkan daya listrik, cadangan listrik lebih tahan lama, hemat pemeliharaannya, dan tidak bergantung pada PLN, karena tidak semua daerah di Bali telah dialiri listrik PLN. Kalaupun ada, tidak dijamin pasokan akan lancar sepanjang tahun. Apalagi aliran listrik tidak stabil, sering mati hidup karena jumlah permintaan melebihi pasokan [18], hal ini tentu saja membuat operator selular mengalami kerugian baik dari segi material maupun citra dimata masyarakat [20]. Selain itu dengan menggunakan sumber energi angin dan matahari ini, diharapkan polusi suara dan udara dapat dikurangi sehingga menciptakan lingkungan yang bersih.

➤ Grafik Simulasi per hari



Gambar 4.8 Grafik hasil simulasi pada hari Minggu, 2 Maret 2008



Gambar 4.9 Grafik hasil simulasi pada hari Senin, 3 Maret 2008

Gambar 4.8 dan 4.9 menunjukkan grafik keluaran hasil simulasi berdasarkan data per hari, tanggal 2, dan 3 Maret adalah hari Minggu, dan Senin, dimana mewakili beban listrik pada hari kerja dan akhir pekan. Pada kedua grafik terlihat bahwa sumber energi yang dihasilkan oleh sel surya dan turbin angin besarnya tidak stabil, bahkan terkadang tidak menghasilkan energi pada jam-jam tertentu. Untuk mengatasi masalah kekurangan energi tersebut digunakan generator sebagai tenaga cadangan.

Parameter keluaran yang terdapat pada grafik diatas adalah beban ac (biru muda), beban dc (merah muda), sel surya (kuning), turbin angin (hijau), generator (hitam), pengisian baterai (biru tua). Pada kedua hari tersebut, sel surya menghasilkan energi pada pukul 06.00-18.00. Sedangkan energi yang dihasilkan turbin angin besarnya tidak menentu, tergantung dari besarnya kecepatan angin pada hari tersebut.

- Tanggal 2 Maret 2008

Pada malam hari 00-06, baterai bank terisi penuh, turbin angin menghasilkan energi untuk mengisi baterai, yang kemudian digunakan untuk melayani beban. Ketika siang hari 10.00-14.00, sel surya dan turbin angin menghasilkan energi, baterai bank menyerap energi hingga maksimal

sekitar 75%. Kemudian pada saat malam hari sekitar pukul 18.00-06.00, sel surya dan turbin angin tidak menghasilkan energi/sangat kecil, sehingga beban akan disuplai oleh generator. Ketika sinar matahari dan kecepatan angin melemah, maka energi didalam baterai bank lama kelamaan akan menurun hingga 57%.

- Tanggal 3 Maret 2008

Pagi hari energi yang tersimpan pada baterai bank menurun hingga 57%. Hal ini disebabkan melemahnya energi sel surya dan turbin angin. Pada siang hari energi sel surya mulai meningkat, daya listrik yang diperoleh dari angin dan matahari itu disimpan dalam baterai. Pada kondisi normal, baterai memenuhi kebutuhan listrik.

Ketika sore dan malam hari, besarnya energi surya, turbin angin dan simpanan energi baterai semakin melemah hingga 45%, pada saat itu generator akan bekerja untuk menyuplai energi.

4.2 Hasil Analisa Sensitifitas

Masing-masing kategori dilakukan analisa sensitifitas untuk mengantisipasi kemungkinan terjadinya perubahan nilai pada beberapa tahun kedepan, dan setiap perubahan akan menentukan konfigurasi dari sistem. Sistem energi alternatif BTS ini akan dilakukan 3 kategori untuk analisa sensitifitas yaitu kecepatan angin (3, 4.37, 5, 6m/s), radiasi sinar matahari (4.82, 5, 6kwh/m²/d), harga bahan bakar diesel (0.3, 0.45, 0.6, 0.8 \$/L). Jadi secara keseluruhan hasil konfigurasi adalah 120 kemungkinan sistem konfigurasi dari 48 kasus sensitifitas, dengan waktu simulasi selama 58 menit 32 detik.

Pada analisa sensitifitas ini faktor yang paling berpengaruh adalah sumber daya alam yaitu angin, dan matahari, sehingga nilai kecepatan angin berada pada sumbu x-axis, dan radiasi matahari pada sumbu y-axis. Sedangkan harga bahan bakar diesel berubah sesuai yang diinginkan.

4.2.1 Grafik Sensitifitas Kecepatan Angin Terhadap Radiasi Matahari

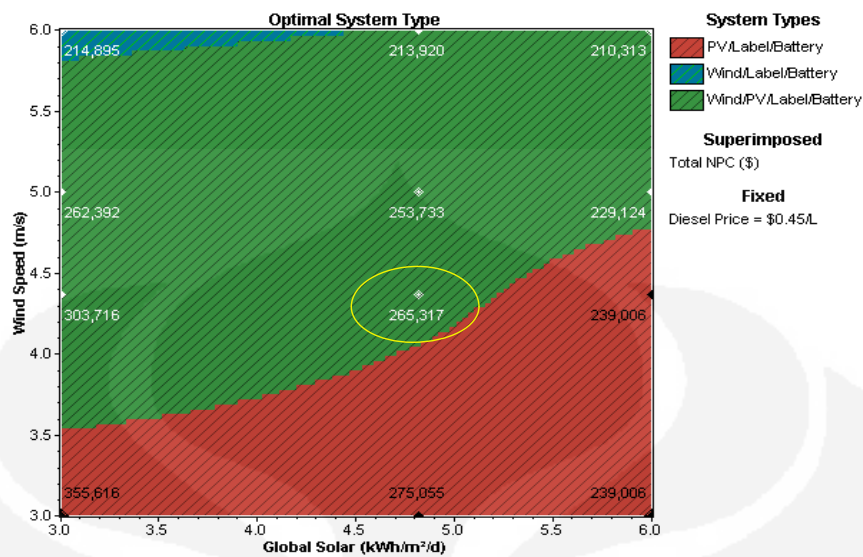
Tabel 4.2 Perbandingan kondisi-kondisi sensitifitas dengan besarnya kecepatan angin dan radiasi matahari besarnya tetap

	Sensitifitas		NPC (\$)	COE (\$/kWh)	Renewable Fraction (%)
Kondisi 1	Kec.angin	4.37 m/s	\$265,317	0.883	78
	Radiasi Matahari	4.82 kWh/m ² /d			
	Harga diesel	0.45 \$/L			
Kondisi 2	Kec.angin	4.37 m/s	\$271,450	0.903	78
	Radiasi Matahari	4.82 kWh/m ² /d			
	Harga diesel	0.6 \$/L			
Kondisi 3	Kec.angin	4.37 m/s	\$277,362	0.923	78
	Radiasi Matahari	4.82 kWh/m ² /d			
	Harga diesel	0.8 \$/L			

➤ **Kondisi 1 (Harga Diesel \$0.45/L)**

Grafik hasil optimisasi *Optimal System Type* (OST) radiasi matahari terhadap kecepatan angin ditunjukkan pada gambar 4.10, dengan harga diesel tetap yaitu sebesar \$0.45/L. Besarnya kecepatan angin dan radiasi matahari paling berpengaruh terhadap hasil optimisasi sistem, sedangkan harga diesel tidak terlalu berpengaruh. Hal ini disebabkan karena sistem menggunakan energi hibrida sebesar 78%, dan generator hanya 22%, sehingga sistem tidak terlalu banyak mengkonsumsi bahan bakar diesel. Hasil konfigurasi sistem terdapat tiga (3) tipe sistem yang optimal yaitu PV/Generator/Baterai (merah), Wind/Generator/Baterai (biru), dan Wind/PV/Generator/Baterai (hijau).

Pada kondisi 1, ketika kecepatan angin 4.37 m/s, radiasi matahari 4,82kWh/m²/d, dan harga diesel \$0.45/L maka konfigurasi sistem yang paling optimal adalah Wind/PV/Generator/Baterai, sebagian sumber energi disuplai oleh tenaga turbin angin, dan sel surya. Total NPC sebesar \$265,317, dengan keekonomian \$0.883/kWh.



Gambar 4.10 Grafik OST kecepatan angin dan radiasi matahari untuk harga diesel \$0.45/L

Global Solar (kWh/m²/d)	Wind Speed (m/s)	Diesel Price (\$/L)	Min. Ren. Fraction (%)
4.82	4.37	0.45	75

Double click on a system below for simulation results.

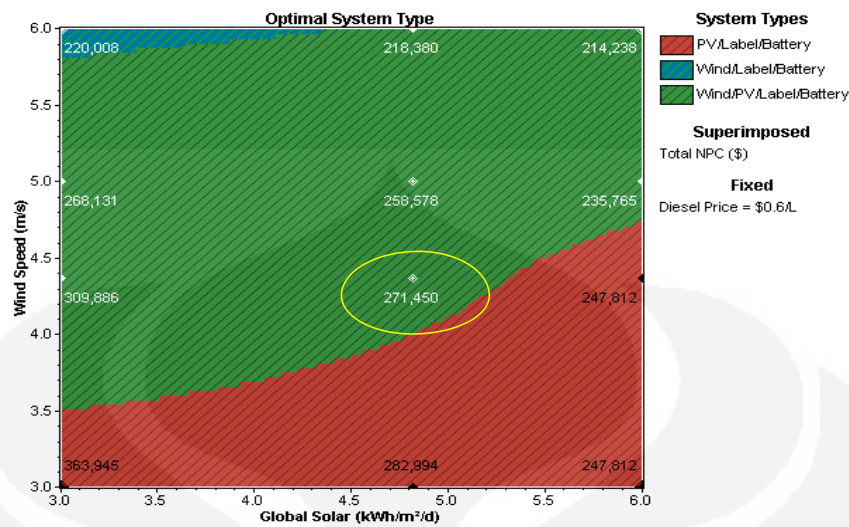
	PV (kW)	W500 Label (kW)	L16P Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Diesel (L)	Label (hrs)		
	8	2	5	50	4	\$ 122,960	\$ 265,317	0.883	0.78	0.00	2,476	2,421
	16	5	5	50	4	\$ 166,090	\$ 275,055	0.915	0.81	0.00	2,287	2,059
	16	3	100	4	\$ 114,115	\$ 360,126	1.201	0.80	0.01	2,265	1,871	
	16	3	100	4	\$ 225,135	\$ 405,002	1.350	1.00	0.01			
	28		100	6	\$ 291,395	\$ 417,419	1.393	1.00	0.00			

Gambar 4.11 Hasil optimisasi untuk kecepatan angin 4.37m/s, radiasi sinar 4.82kWh/m²/d, harga diesel \$0.45/L

➤ **Kondisi 2 (Harga Diesel \$0.6/L)**

Perubahan nilai sensitifitas harga diesel dilakukan untuk mengantisipasi terjadinya pertambahan pengguna layanan telepon seluler untuk beberapa tahun kedepan, dan melonjaknya harga bahan bakar.

Ketika radiasi matahari dan kecepatan angin tetap, sedangkan harga diesel berubah dari \$0.45/L menjadi \$0.3/L, \$0.6/L, \$0.8/L maka hasil konfigurasi sistem tetap, Homer menghasilkan konfigurasi paling optimal berupa PV/Wind/Generator/Baterai, dengan sel surya dan turbin angin sebagai sumber utama. Perubahan hanya mempengaruhi biaya sistem, dimana semakin besar harga bahan bakar, maka semakin besar pula biaya sistem. Gambar 4.10 dan 4.12 menunjukkan bukti terjadinya perubahan biaya NPC, dari \$265,317 menjadi \$271,450.



Gambar 4.12 Grafik OST kecepatan angin dan radiasi matahari harga diesel \$0.6/L

Global Solar (kWh/m ² /d)	Wind Speed (m/s)	Diesel Price (\$/L)	Min. Ren. Fraction (%)
4.82	4.37	0.6	75

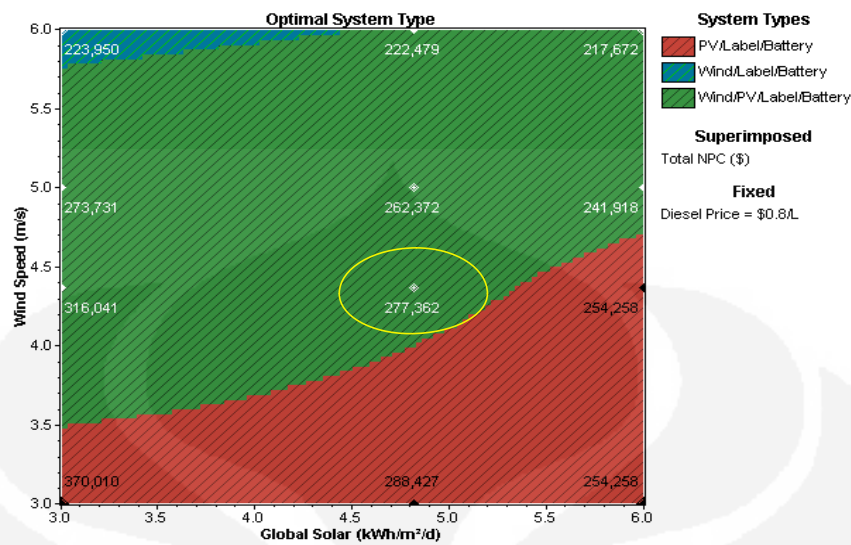
Double click on a system below for simulation results.

	PV (kW)	w500	Label (kW)	L16P	Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Diesel (L)	Label (hrs)
	8	2	5	50	4	\$ 122,960	\$ 271,450	0.903	0.78	0.00	2,537	2,591
	16		5	50	4	\$ 166,090	\$ 282,994	0.942	0.82	0.00	2,331	2,376
	16	3		100	4	\$ 225,135	\$ 405,002	1.350	1.00	0.01		
	28			100	6	\$ 291,395	\$ 417,419	1.393	1.00	0.00		

Gambar 4.13 Konfigurasi sistem dengan kecepatan angin 4.37m/s radiasi matahari 4.82kWh/m²/d, harga diesel \$0.6/L

➤ **Kondisi 3 (Harga Diesel \$0.8/L)**

Pada kondisi 3, seperti halnya setiap kondisi diatas, ketika kecepatan angin 4.37 m/s, radiasi matahari 4,82kWh/m²/d, sedangkan harga diesel berubah menjadi \$0.8/L maka hasil konfigurasi sistem tetap, konfigurasi paling optimal berupa PV/Wind/Generator/Baterai, dengan sel surya dan turbin angin sebagai sumber utama. Total biaya NPC dan COE menjadi lebih besar dari sebelumnya, untuk NPC sebesar \$277,362, dan COE sebesar \$0.923/kWh.



Gambar 4.14 Grafik OST Kecepatan angin dan radiasi matahari untuk Harga diesel \$0.8/L

Global Solar (kWh/m²/d) 4.82		Wind Speed (m/s) 4.37		Diesel Price (\$/L) 0.8		Min. Ren. Fraction (%) 75						
Double click on a system below for simulation results.												
	PV (kW)	W500	Label (kW)	L16P	Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Diesel (L)	Label (hrs)
	8	2	5	50	4	\$ 122,960	\$ 277,362	0.923	0.78	0.00	2,537	2,591
	16		5	50	4	\$ 166,090	\$ 288,427	0.960	0.82	0.00	2,331	2,376
	16	3		100	4	\$ 225,135	\$ 405,002	1.350	1.00	0.01		
	28			100	6	\$ 291,395	\$ 417,419	1.393	1.00	0.00		

Gambar 4.15 Konfigurasi sistem dengan kecepatan angin 4.37m/s, radiasi matahari 4.82kWh/m²/d, harga diesel \$0.8/L

- ❖ **Analisa Sensitifitas Kecepatan Angin Terhadap Radiasi Matahari :**
 - Perubahan Harga diesel, tidak mempengaruhi konfigurasi sistem, yaitu 8kW sel surya, 2 Turbin angin, 5kW Generator, 4kW Konverter, 50 Baterai bank.
 - Perubahan Harga diesel mempengaruhi biaya keseluruhan sistem / NPC. Semakin banyak jumlah baterai, maka total NPC semakin besar

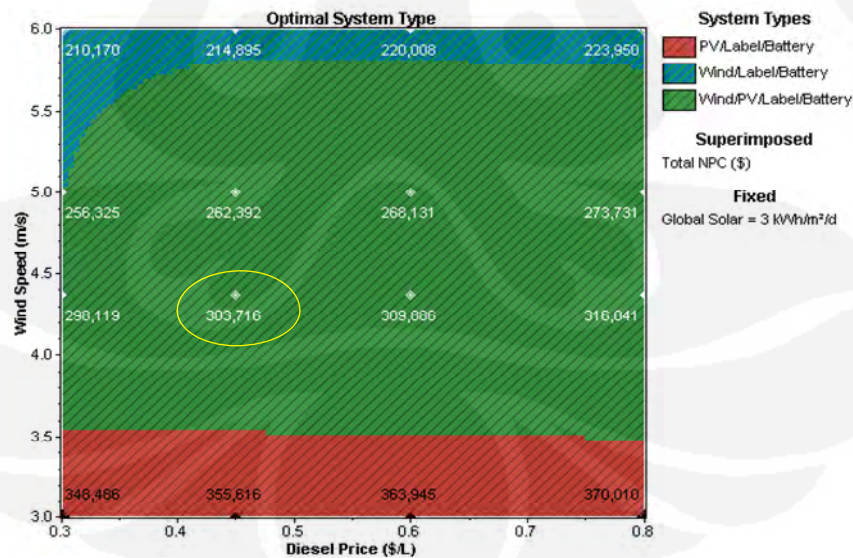
4.2.2 Grafik Sensitifitas Kecepatan Angin Terhadap Diesel

Tabel 4.3 Perbandingan kondisi-kondisi sensitifitas dengan besarnya kecepatan angin dan harga diesel besarnya tetap

	Sensitifitas		NPC (\$)	COE (\$/kWh)	Renewable Fraction (%)
Kondisi 4	Kec.angin Radiasi Matahari Harga diesel	4.37 m/s 3 kWh/m ² /d 0.45 \$/L	\$303,716	1.011	77
Kondisi 5	Kec.angin Radiasi Matahari Harga diesel	4.37 m/s 6 kWh/m ² /d 0.45 \$/L	\$239,006	0.796	79.6

➤ **Kondisi 4 (Radiasi matahari 3 kWh/m²/d)**

Pada kondisi ini dilakukan perubahan terhadap radiasi matahari dari 4.82 menjadi 3 dan 6 kWh/m²/d. Sensitifitas radiasi matahari dilakukan untuk mengantisipasi terjadinya penurunan dan peningkatan rata-rata intensitas radiasi matahari pada tahun-tahun mendatang dan mengetahui pengaruhnya terhadap keluaran sistem.



Gambar 4.16 Grafik OST Kecepatan angin dan harga diesel untuk Radisasi matahari 3kWh/m²/d

Pada kondisi ini dilakukan sensitifitas dengan rata-rata radiasi menurun dari 4.82 menjadi 3kWh/m²/d. Homer menghasilkan konfigurasi sistem dengan

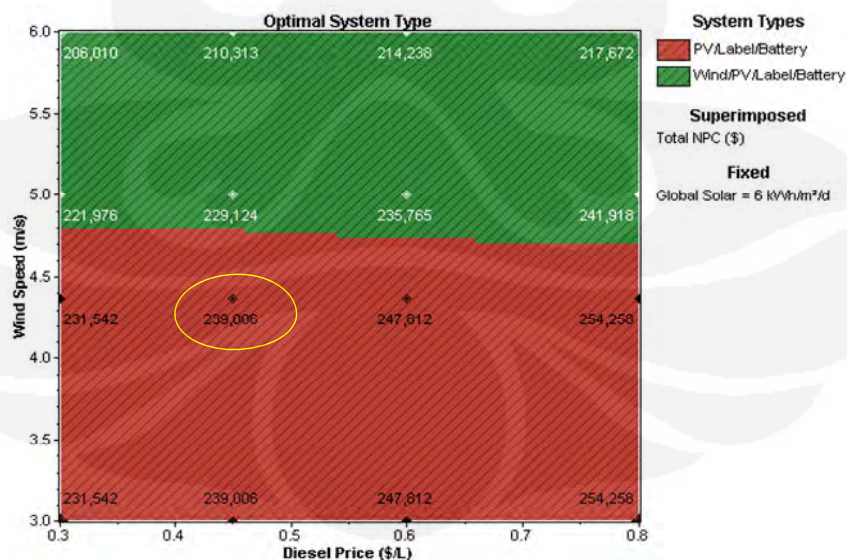
tiga tipe konfigurasi. Hasil konfigurasi teroptimal ketika harga diesel \$0.45/L dan kecepatan angin 4.37m/s adalah Wind/PV/Generator/Baterai (Gambar 4.16). Total NPC sistem sebesar \$303,716 dengan keekonomian \$1.011/kWh (Gambar 4.17).

Global Solar (kWh/m ² /d) 3		Wind Speed (m/s) 4.37		Diesel Price (\$/L) 0.45		Min. Ren. Fraction (%) 75						
Double click on a system below for simulation results.												
<input checked="" type="radio"/> Categorized <input type="radio"/> Overall <input type="button" value="Export..."/> <input type="button" value="Details..."/>												
	PV (kW)	w500	Label (kW)	L16P	Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Diesel (L)	Label (hrs)
	8	3	5	50	4	\$ 136,395	\$ 303,716	1.011	0.77	0.00	2,593	2,505
	24		5	50	4	\$ 236,090	\$ 355,616	1.184	0.79	0.00	2,502	2,276
		5	5	100	4	\$ 114,115	\$ 360,126	1.201	0.80	0.01	2,265	1,871
	16		5	100	6	\$ 253,570	\$ 484,311	1.617	1.00	0.01		

Gambar 4.17 Konfigurasi sistem dengan kecepatan angin 4.37m/s, harga diesel \$0.45/L, dan radiasi matahari 3kWh/m²/d

➤ **Kondisi 5 (Radiasi matahari 6 kWh/m²/d)**

Pada kondisi ini, radiasi matahari cukup besar yaitu sekitar 6kWh/m²/d. Homer menghasilkan 2 tipe konfigurasi sistem, yaitu PV/Generator/Baterai dan Wind/PV/Generator/Baterai. Ketika kecepatan angin 4.37 m/s, harga diesel \$0.45/L, dan radiasi matahari 4.87kWh/m²/d, maka konfigurasi yang paling optimal adalah PV/Generator/Baterai (Gambar 4.18). Sumber utama sistem berasal dari sel surya karena radiasi matahari cukup besar. Total NPC sistem sebesar \$239,006, dengan biaya keekonomian \$0.796/kWh (Gambar 4.19)



Gambar 4.18 Grafik OST Kecepatan angin dan harga diesel untuk radisasi matahari 6 kWh/m²/d

Global Solar (kWh/m ² /d) 6 Wind Speed (m/s) 4.37 Diesel Price (\$/L) 0.45 Min. Ren. Fraction (%) 75													
Double click on a system below for simulation results. Categorized Overall Export... Details...													
	PV (kW)	W500	Label (kW)	L16P	Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Diesel (L)	Label (hrs)	
	12		5	50	4	\$ 131,090	\$ 239,006	0.796	0.77	0.00	2,639	2,435	
	8	2	5	50	4	\$ 122,960	\$ 258,448	0.860	0.84	0.00	1,811	1,711	
			5	5	100	\$ 114,115	\$ 360,126	1.201	0.80	0.01	2,265	1,871	
	16	2		100	4	\$ 211,700	\$ 366,453	1.222	1.00	0.01			
	24			100	6	\$ 256,395	\$ 377,616	1.259	1.00	0.00			

Gambar 4.19 Konfigurasi sistem dengan kecepatan angin 4.37m/s, harga diesel \$0.45/L, dan radiasi matahari 6kWh/m²/d

❖ Analisa Sensitifitas Kecepatan Angin Terhadap Diesel

- Perubahan radiasi matahari, mempengaruhi konfigurasi sistem. Apabila radiasi bertambah besar maka konfigurasi akan lebih mengandalkan sel surya sebagai sumber utama.
- Perubahan radiasi matahari, mempengaruhi biaya keseluruhan sistem / NPC. Perubahan harga tergantung dari hasil konfigurasi yang dihasilkan Homer.

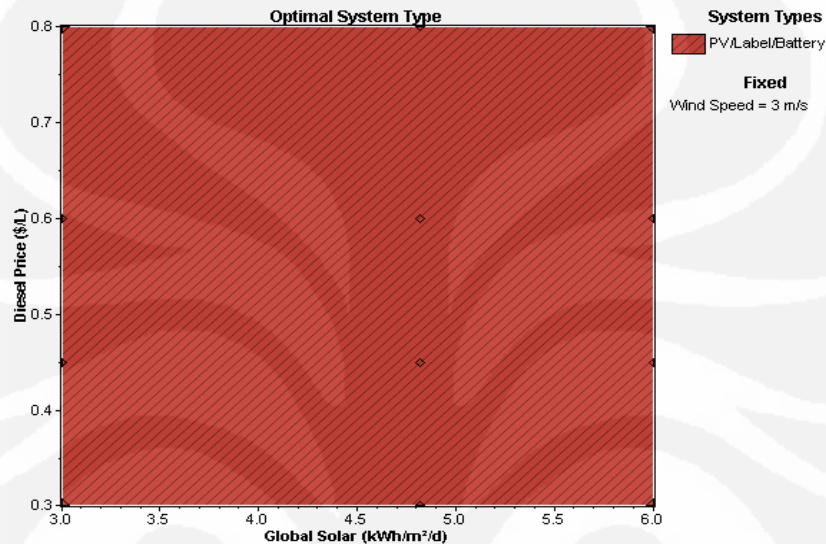
4.2.3 Grafik Sensitifitas Kecepatan Angin Terhadap Diesel

Tabel 4.4 Perbandingan kondisi-kondisi sensitifitas dengan besarnya radiasi matahari dan harga diesel besarnya tetap

	Sensitifitas		NPC (\$)	COE (\$/kWh)	Renewable Fraction (%)
Kondisi 6	Kec. angin	3m/s	\$275,055	0.915	81
	Radiasi Matahari	4.82 kWh/m ² /d			
	Harga diesel	0.45 \$/L			
Kondisi 7	Kec. angin	5 m/s	\$213,920	0.712	85
	Radiasi Matahari	4.82 kWh/m ² /d			
	Harga diesel	0.45 \$/L			

➤ **Kondisi 6 (Kecepatan angin 3m/s)**

- Konfigurasi Sistem :
PV 16kW, 50 Baterai bank, 4kW Konverter, 5kW Generator
- NPC : \$275,055
- COE : \$0.915/kWh
- Initial Capital : \$166,090



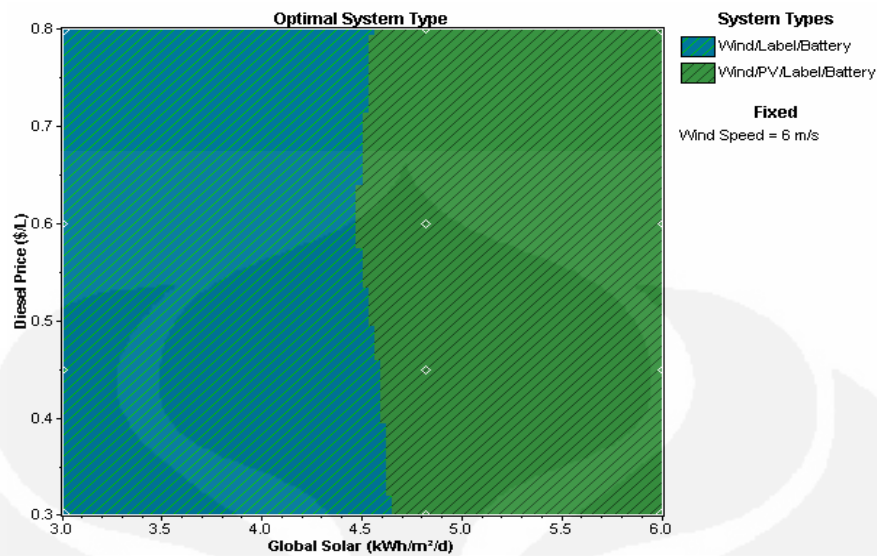
Gambar 4.20 Grafik OST radiasi matahari dan harga diesel untuk kecepatan angin 3m/s

Global Solar (kWh/m²/d) 4.82		Wind Speed (m/s) 3		Diesel Price (\$/L) 0.45		Min. Ren. Fraction (%) 75						
Double click on a system below for simulation results.												
	PV (kW)	W500	Label (kW)	L16P	Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Diesel (L)	Label (hrs)
	16	5	50	4	\$ 166,090	\$ 275,055	0.915	0.81	0.00	2,287	2,059	
	16	1	50	4	\$ 179,525	\$ 307,985	1.025	0.84	0.00	1,987	1,690	
	28	100	6	6	\$ 291,395	\$ 417,419	1.393	1.00	0.00			
	24	2	100	6	\$ 283,265	\$ 450,417	1.503	1.00	0.00			

Gambar 4.21 Konfigurasi sistem dengan kecepatan angin 3 m/s, harga diesel \$0.45/L, dan radiasi matahari 4.82kWh/m²/d

➤ **Kondisi 7 (Kecepatan angin 6m/s)**

- Konfigurasi Sistem :
PV 16kW, 50 Baterai bank, 4kW Konverter, 5kW Generator
- NPC : \$ 213,920
- COE : \$ 0.712/kWh
- Initial Capital : \$87,960



Gambar 4.22 Grafik OST radiasi matahari dan harga diesel untuk kecepatan angin 6m/s

Global Solar (kWh/m²/d) 4.82 Wind Speed (m/s) 6 Diesel Price (\$/L) 0.45 Min. Ren. Fraction (%) 75														
Double click on a system below for simulation results.														
	PV (kW)	W500	Label (kW)	L16P	Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Diesel (L)	Label (hrs)		
	4	2	5	50	4	\$ 87,960	\$ 213,920	0.712	0.85	0.00	1,742	1,638		
			3	5	50	4	\$ 66,395	\$ 214,895	0.715	0.86	0.00	1,713	1,435	
	16			5	50	4	\$ 166,090	\$ 275,055	0.915	0.81	0.00	2,287	2,059	
	12	3			50	6	\$ 170,850	\$ 306,841	1.022	1.00	0.00			
			5		150	6	\$ 134,420	\$ 391,528	1.305	1.00	0.00			
	16	5	5		4	\$ 212,415	\$ 411,106	1.369	0.91	0.01	3,445	4,071		
	28				100	6	\$ 291,395	\$ 417,419	1.393	1.00	0.00			

Gambar 4.23 Konfigurasi sistem dengan kecepatan angin 6 m/s, harga diesel \$0.45/L, dan radiasi matahari 4.82kWh/m²/d

❖ Analisa Sensitifitas Diesel Terhadap Radiasi Matahari

- Perubahan kecepatan angin, mempengaruhi konfigurasi sistem. Apabila kecepatan angin rendah, maka konfigurasi akan lebih mengandalkan sel surya sebagai sumber utama. Tetapi apabila kecepatan angin bertambah besar hingga 5 m/s, maka konfigurasi akan lebih mengandalkan turbin angin sebagai sumber utama.
- Perubahan radiasi matahari, mempengaruhi biaya keseluruhan sistem / NPC. Perubahan harga tergantung dari hasil konfigurasi yang dihasilkan Homer.

4.3 Faktor Emisi Bahan Bakar

Generator menghasilkan beberapa gas-gas berbahaya bagi lingkungan di sekitar BTS (udara, air, tanah). Emisi hasil keluaran generator apabila dibiarkan terus-menerus akan menyebabkan polusi yang menyebabkan Efek Rumah Kaca (*Green House Effect*), apabila terlalu lama dibiarkan akan mengakibatkan pemanasan global yang berbahaya bagi makhluk hidup.

Pada sistem pembangkit BTS ini ketika konfigurasi sistem optimal menghasilkan energi generator sebesar 22% atau 6,032 kWh/yr, dan menghasilkan emisi karbon dioksida sebesar 6,521kg/yr, ditunjukkan pada Gambar 4.24.

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	6,521
Carbon monoxide	16.1
Unburned hydrocarbons	1.78
Particulate matter	1.21
Sulfur dioxide	13.1
Nitrogen oxides	144

Gambar 4.24 Emisi bahan bakar generator

Besarnya jumlah emisi lingkungan dapat dihilangkan, apabila sistem tidak menggunakan generator yaitu hanya dengan menggunakan turbin angin dan panel sel surya. Tetapi apabila tidak menggunakan generator akan menyebabkan sistem menjadi tidak optimal, karena total biaya NPC menjadi besar, yaitu sekitar \$405,002 dengan harga keekonomian (COE) \$1.350/kWh. Hasil optimisasi sistem tanpa generator ditunjukkan Gambar 4.25.

Global Solar (kWh/m ² /d) 4.82 Wind Speed (m/s) 4.37 Diesel Price (\$/L) 0.45 Min. Ren. Fraction (%) 75													
Double click on a system below for simulation results. <input checked="" type="radio"/> Categorized <input type="radio"/> Overall <input type="button" value="Export..."/> <input type="button" value="Details..."/>													
	PV (kW)	W500	Label (kW)	L16P	Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Diesel (L)	Label (hrs)	
	8	2	5	50	4	\$ 122,960	\$ 265,317	0.883	0.78	0.00	2,476	2,421	
	16		5	50	4	\$ 166,090	\$ 275,055	0.915	0.81	0.00	2,287	2,059	
			5	5	100	\$ 114,115	\$ 360,126	1.201	0.80	0.01	2,265	1,871	
	16		3		100	\$ 225,135	\$ 405,002	1.350	1.00	0.01			
		28			100	\$ 291,395	\$ 417,419	1.393	1.00	0.00			

Gambar 4.25 Konfigurasi sistem turbin angin dan sel surya

BAB V

KESIMPULAN

Dari keseluruhan pembahasan skripsi dan hasil simulasi sistem energi alternatif BTS ini, dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu:

1. Lokasi BTS di daerah Pecatu Bali memiliki potensi sumber daya angin dan matahari yang cukup besar dengan rata-rata kecepatan angin 4.37m/s, dan radiasi matahari 4.82kWh/m²/d, sehingga faktor sumber daya angin dan matahari sangat mempengaruhi hasil optimisasi dan sensitifitas sistem.
2. Konfigurasi sistem yang optimal ditentukan oleh besarnya *Net Present Cost* (NPC) yang terendah, dimana NPC mencakup biaya keseluruhan sistem selama jangka waktu tertentu. Hasil simulasi Homer mendapatkan konfigurasi sistem yang optimal berupa, 8kW panel surya, 2 turbin angin sebesar 6kW, 5kW generator, 50 baterai bank sebesar 108 kWh, 4kW konverter, dengan total NPC sebesar \$265,317 dan biaya keekonomian (COE) sebesar \$ 0,883.
3. Sistem disuplai oleh energi turbin angin dan sel surya sebagai sumber energi utama yaitu sebesar 78%, sedangkan generator hanya menghasilkan energi sebesar 22% setiap tahunnya.
4. Jumlah baterai mempengaruhi keluaran dari konfigurasi sistem, semakin banyak jumlah baterai, maka jumlah *excess electricity* dan jumlah emisi bahan bakar akan semakin kecil. Bertambahnya jumlah baterai membuat sistem lebih baik, tetapi total biaya dari sistem menjadi jauh lebih mahal.
5. Analisa sensitifitas dilakukan untuk mengantisipasi kemungkinan terjadinya perubahan nilai pada beberapa tahun kedepan. Faktor sensitifitas yang paling berpengaruh didalam sistem tenaga BTS ini adalah sumber daya angin, dan matahari. Sedangkan harga bakar diesel tidak mempengaruhi hasil sensitifitas, tetapi mempengaruhi biaya keseluruhan sistem, dimana semakin besar harga diesel dan beban daya BTS, maka semakin besar pula total biaya sistem.

6. Berdasarkan hasil simulasi Homer, sistem energi matahari, angin, dan generator dapat diterapkan pada BTS di Pecatu Bali, namun harga keekonomiannya masih terlalu tinggi yaitu sekitar \$0.883, yang disebabkan oleh besarnya *renewable fraction* sistem yaitu 78%. Semakin besar *renewable fraction* maka emisi karbon generator dapat dikurangi. Apabila ingin menghemat bahan bakar, mengurangi polusi, mencegah pemanasan global, dan menciptakan lingkungan yang bersih, dan tidak bergantung pada PLN, maka pembangkit tenaga angin dan sel surya ini dapat dipertimbangkan, tetapi dengan konsekuensi biaya yang mahal.

DAFTAR ACUAN

- [1] National Renewable Energy Laboratory (NREL), Hybrid Optimization Model for Electric Renewable (HOMER), 2005. www.nrel.gov/homer
- [2] Givler, T and Liliental P. Using HOMER Software, NREL's Micropower Optimization Model, *Micropower System Modelling With Homer*, Mistaya Engineering. NREL: USA. 2006
- [3] www.energiterbarukan.net/
- [4] www.dunia-listrik.blogspot.com/2008/10/turbin-angin-sebagai-alternatif.html
- [5] <http://dunia-listrik.blogspot.com/2008/14/sel-surya-sebagai-alternatif.html>
- [6] Network Monitoring System
- [7] NASA Surface Meteorology and Solar Energy. www.eosweb.larc.nasa.gov.com
- [8] www.windfinder.com
- [9] RET Screen Software. Source : NASA Surface Meteorology and Solar Energy.
- [10] www.energymatters.com.au/mitsubishi-solar-panel-100w-20%brochure.pdf
- [11] www.windenergy.com
- [12] www.bergey.com
- [13] www.bigskypower.com/Mitsubishi/generators/html
- [14] www.xantrex.com
- [15] www.trojanbattery.com
- [16] www.bphmigas.go.id/p/bphmigaspages/bbm/daftar_harga_bbm.html
- [17] www.BI.go.id
- [18] www.eia.doe.gov/oiaf/servicrpt/csa/background.html
- [19] <http://majalah.tempinteraktif/badung.html>
- [20] www.x-phones/art_details.com
- [21] www.antarasumut/bts_fuel_cell.com

DAFTAR PUSTAKA

1. National Renewable Energy Laboratory (NREL), Hybrid Optimization Model for Electric Renewable (HOMER), 2005. URL : www.nrel.gov/international/tool/tools.html
2. NASA Surface Meteorology and Solar Energy. www.eosweb.larc.nasa.gov.com
3. Givler,T and Liliental P. Using HOMER Software, NREL's Micropower Optimization Model, *to Explore the Role of Gen-sets in Small Solar Power Systems*, Case study :Sri Lanka. NREL: USA.
4. Givler,T and Liliental P. Using HOMER Software, NREL's Micropower Optimization Model, *Micropower System Modelling With Homer*, Mistaya Engineering. NREL: USA.2006.
5. Rehman, S., El-Amin, I.M., Ahmad, F., Shaahid, S.M., Al-Shehri, A.M., Bakhashwain, J.M., Shash, A., *Feasibility study of hybrid retrofit to an isolated off-grid diesel power plant*, Dhahran, Saudi Arabia : King Fahd University of Proteleum and Mineral. 2005.
6. Dusabe, D., Munda, J.L., Jimoh, A.A., *Rural village Electrification in South Africa : Role of Energy Efficiency in Off-Grid PV/DG System*, Tswane University of Technology, Pretoria, South Africa. 2004.
7. Smith, S.S., Iqbal, M.T., *Design of a Hybrid Energy System for a Remote telecommunications Facility*, St. John, NF, Canada. 2008.
8. Nayar, Chem., Tang, Markson., Suponthana, Wuthipong., *An AC Coupled PV/Wind/Diesel Microgrid System Implemented In a Remote Island In The Republic of Maldives*, Curtin university of Technology, Australia, 2007.
9. Kaiser, M.Shamim., Khadem, S.K., Ghosh, H.R., Kaiser, S., Aditya, S.K., *Energy Efficient system for St. Martin's Island of Bangladesh*, Department of Electronics and Telecommunication Engineering, daffodil International University, Dhak-1207, Bangladesh, 2003.

Network Monitoring system - BTS (Base Transceiver System)

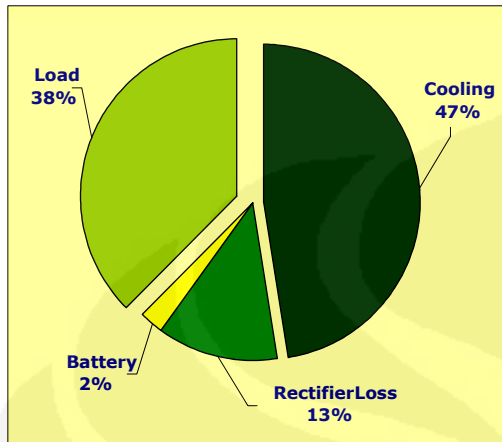
Number series: 201740

Location of Girisari Uluwatu, Desa Pecatu, badung Bali

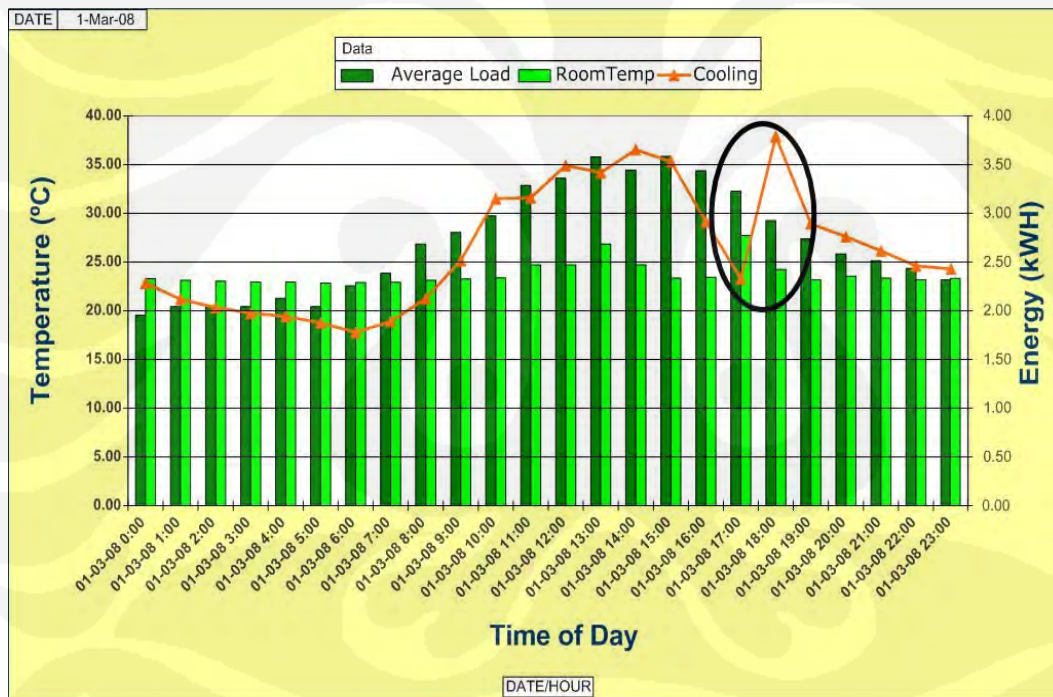
Time of Day	Power Consumption - 01/03/2008			Power Consumption - 02/03/2008			Power Consumption - 03/03/2008		
	Average load (kWH)	Cooling energy (kWH)	Room temp. (° C)	Average load (kWH)	Cooling energy (kWH)	Room temp. (° C)	Average load (kWH)	Cooling energy (kWH)	Room temp. (° C)
00.00	1.90	2.25	23	2.25	2.00	23	1.90	1.80	20
01.00	2.10	2.10	23	2.25	2.10	23	2.10	2.00	20
02.00	2.10	2.00	23	2.25	2.00	23	2.00	2.00	20
03.00	2.10	1.90	23	2.10	2.00	23	1.80	2.00	20
04.00	2.10	1.90	23	2.10	1.90	23	1.80	1.90	23
05.00	2.20	1.80	23	2.05	1.90	23	2.20	1.90	23
06.00	2.10	1.75	23	2.05	2.00	23	2.20	2.00	23
07.00	2.40	1.80	23	2.45	2.10	23	2.55	2.10	23
08.00	2.70	2.10	23	2.50	2.50	23	2.65	2.40	23
09.00	2.85	2.50	23	2.75	2.50	23	2.75	2.70	23
10.00	3.00	3.20	23	3.00	2.90	23	3.25	3.30	23
11.00	3.30	3.20	25	3.10	3.00	25	3.40	3.35	24
12.00	3.40	3.50	25	3.10	2.70	25	3.45	3.40	25
13.00	3.60	3.40	27	3.10	2.60	27	3.60	3.30	24
14.00	3.40	3.65	25	3.20	3.00	25	3.50	3.45	23
15.00	3.60	3.55	23	2.80	2.70	23	3.65	3.35	23
16.00	3.40	2.90	23	2.90	2.70	23	3.20	3.00	23
17.00	3.25	2.40	28	3.00	2.80	28	3.10	2.80	25
18.00	2.90	3.80	24	2.90	2.70	24	3.25	3.20	24
19.00	2.75	2.80	23	2.75	2.50	23	3.25	3.10	23
20.00	2.60	2.75	23	2.55	2.20	23	2.90	2.40	23
21.00	2.50	2.60	23	2.20	2.10	23	2.40	2.20	21
22.00	2.40	2.50	23	1.90	1.80	23	2.25	2.10	21
23.00	2.40	2.40	23	1.80	1.60	23	2.30	2.00	20

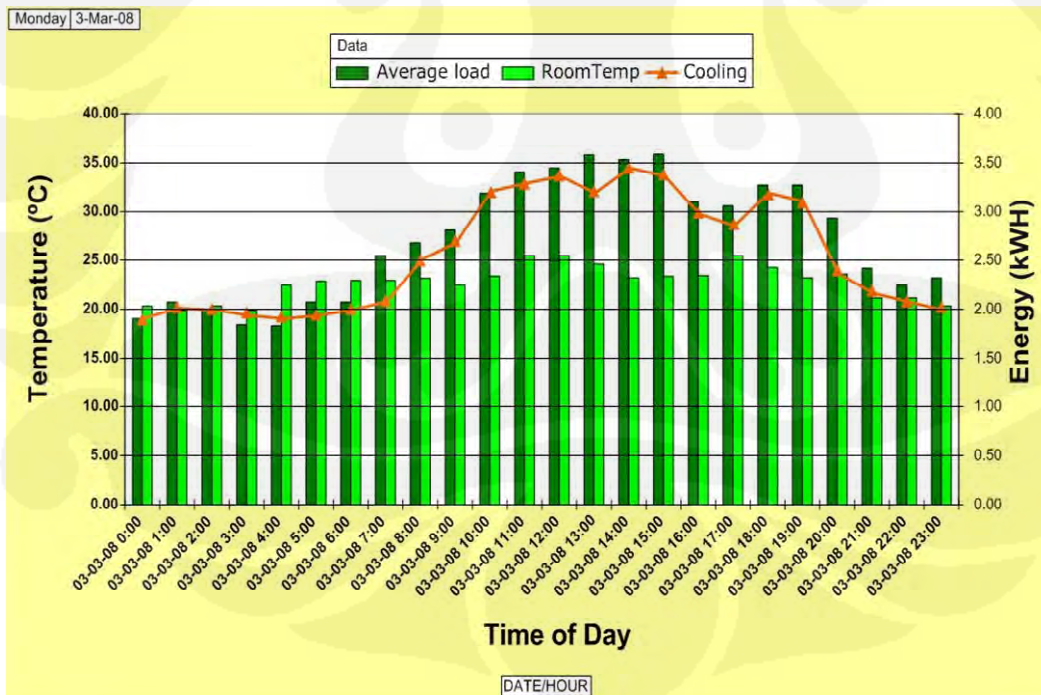
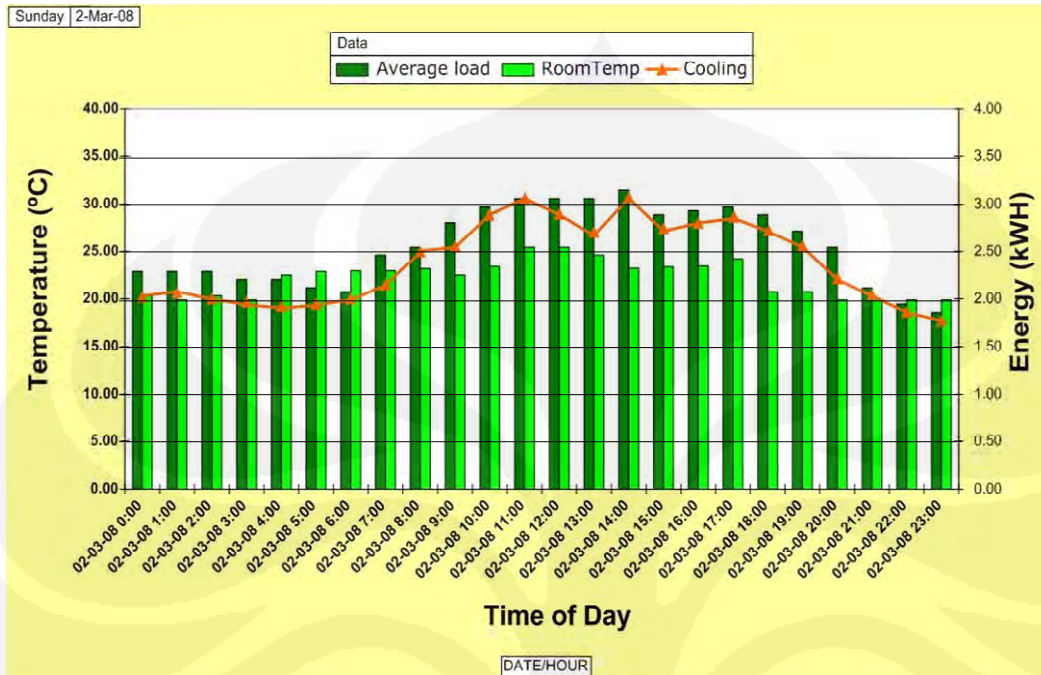
Source : Base Station Energy consumption 2008, Network Monitoring System

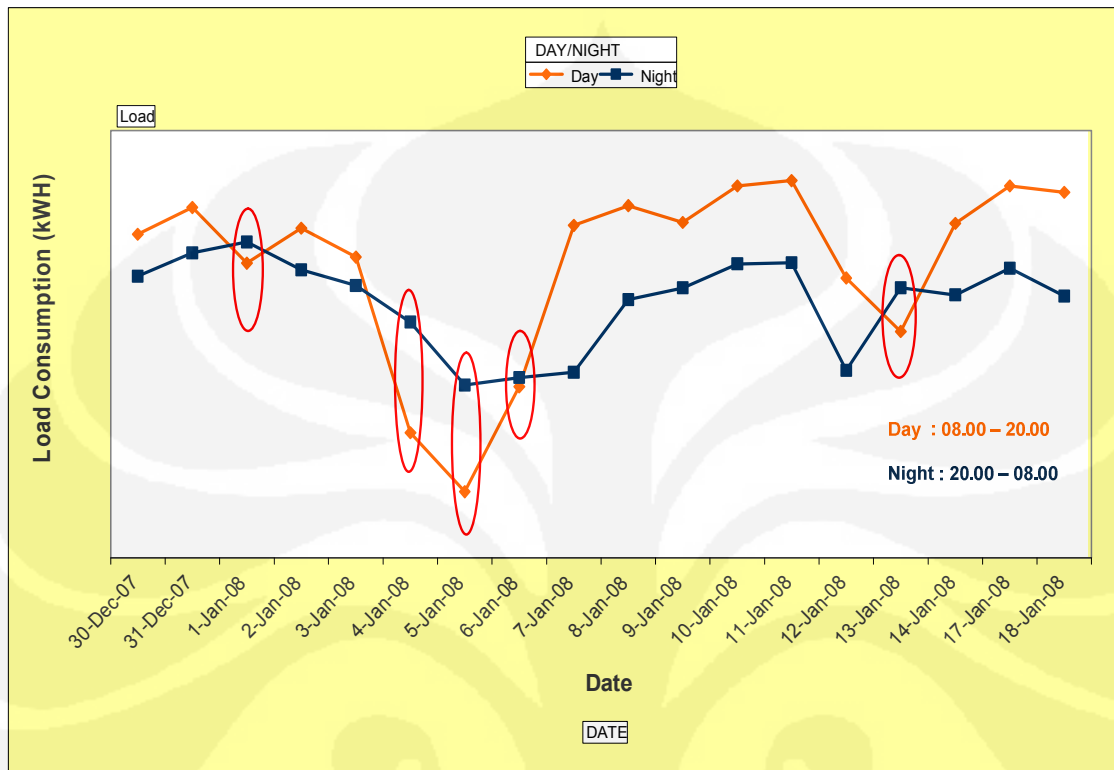
POWER PROFILE

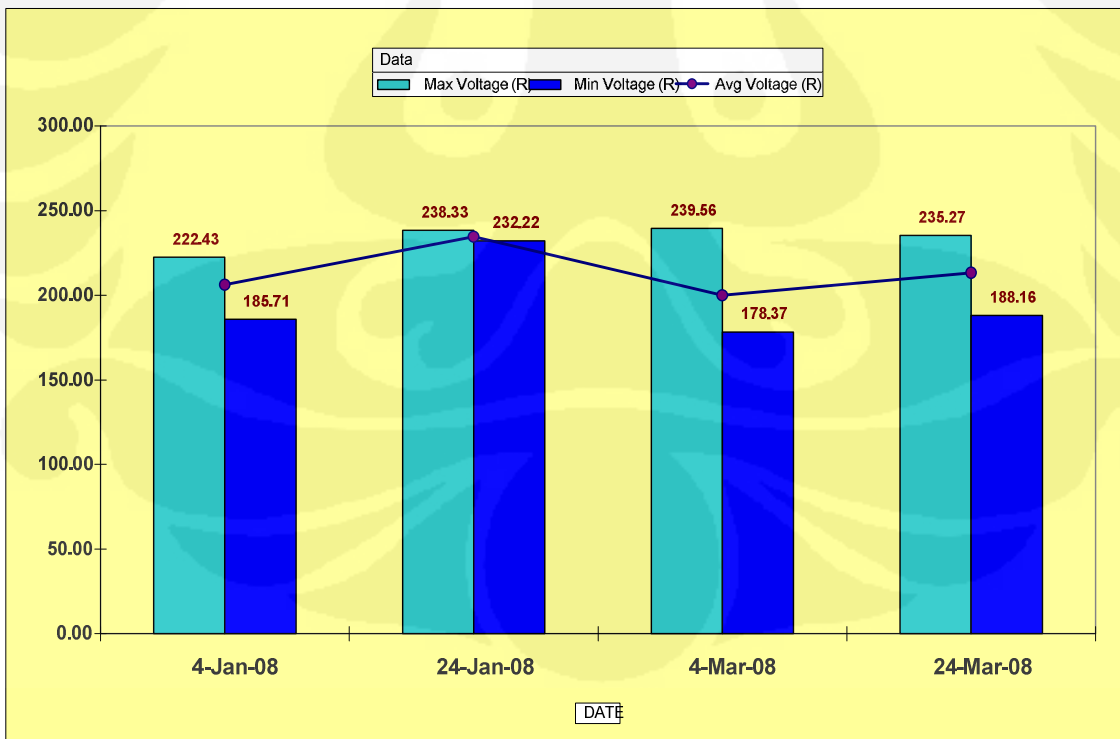
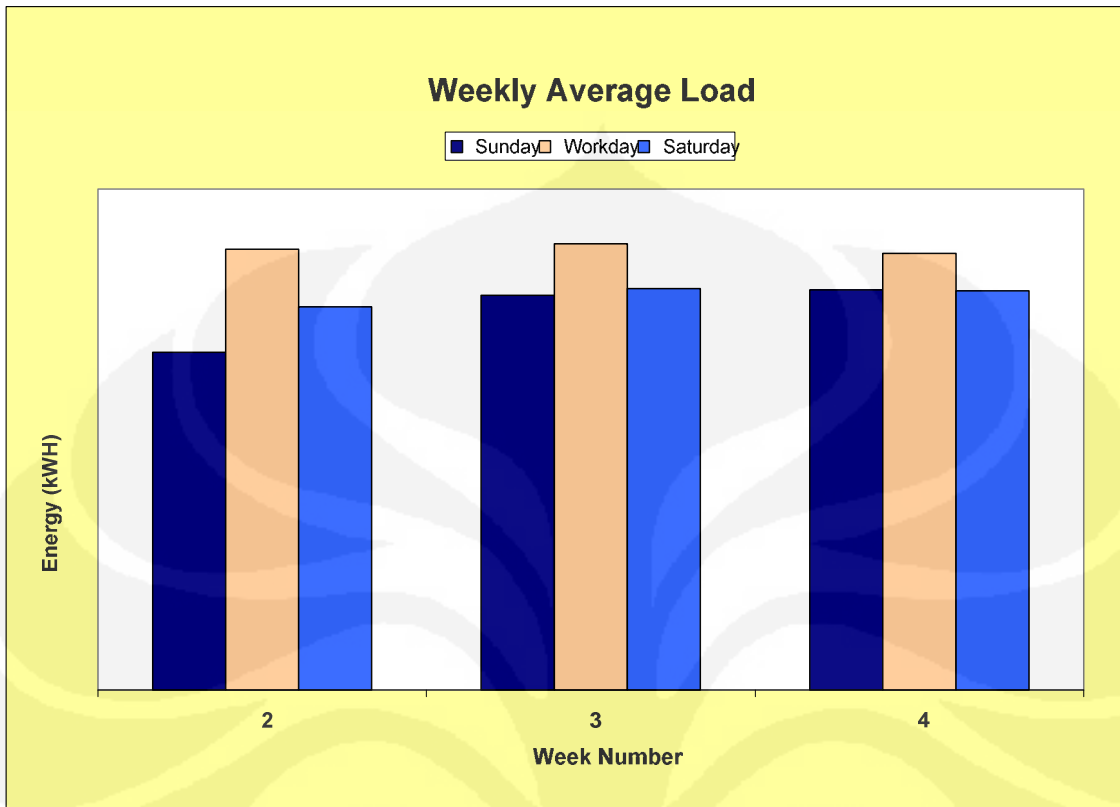


The scope for energy efficiency programs is vast as the actual load and battery consumption lies below 50%. A low load consumption leads to higher rectifier loss.

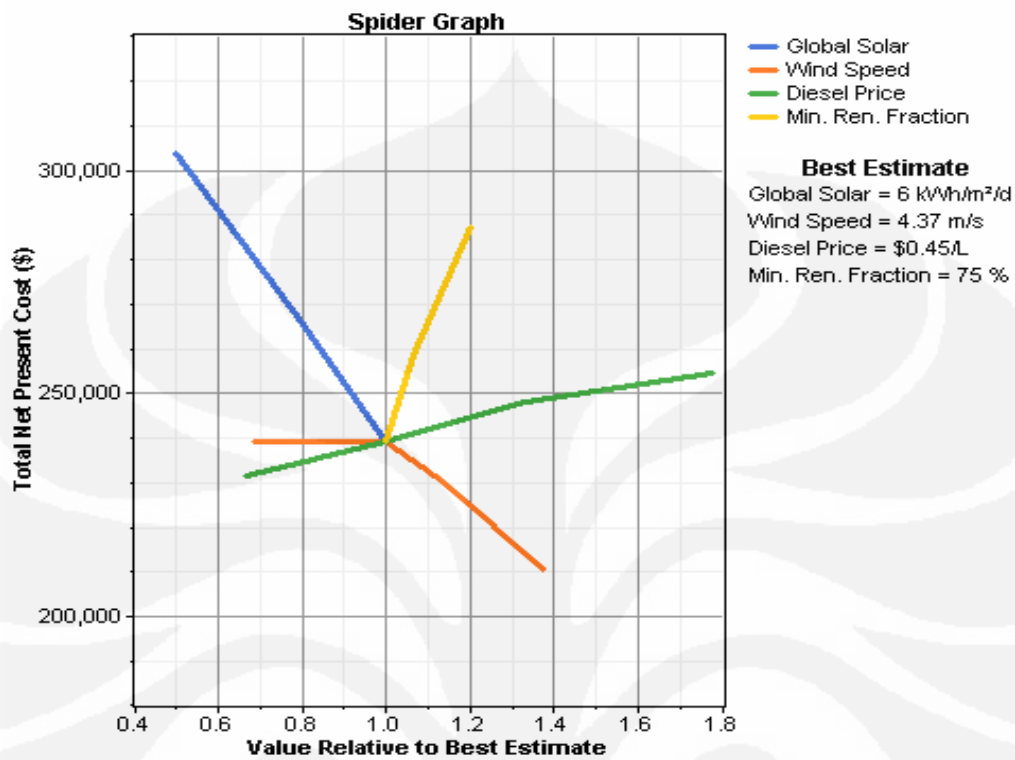




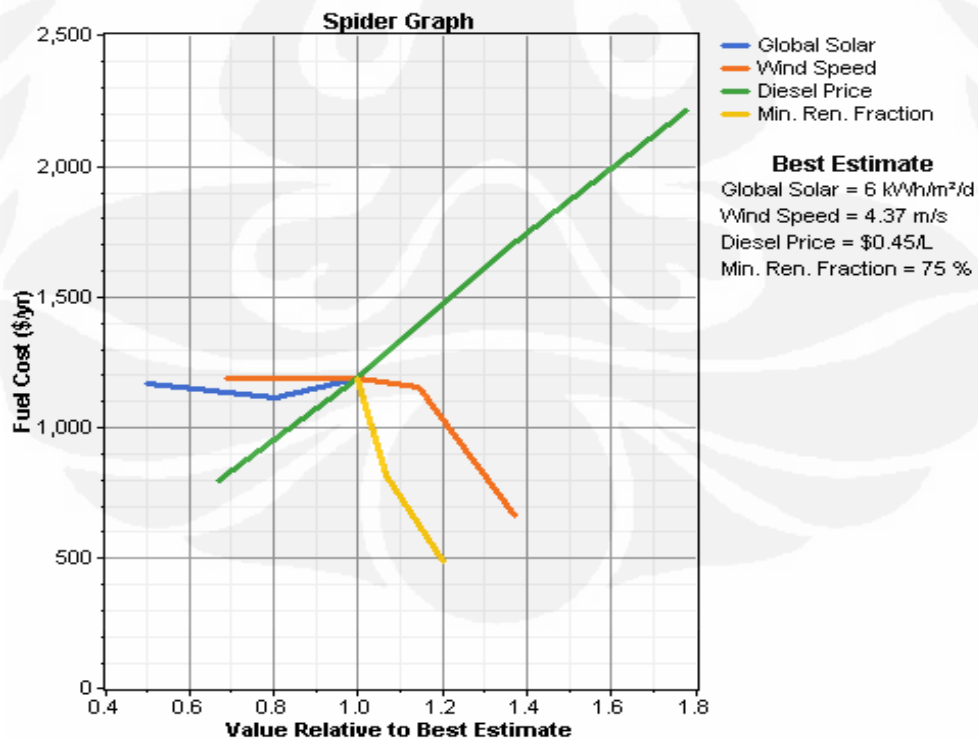




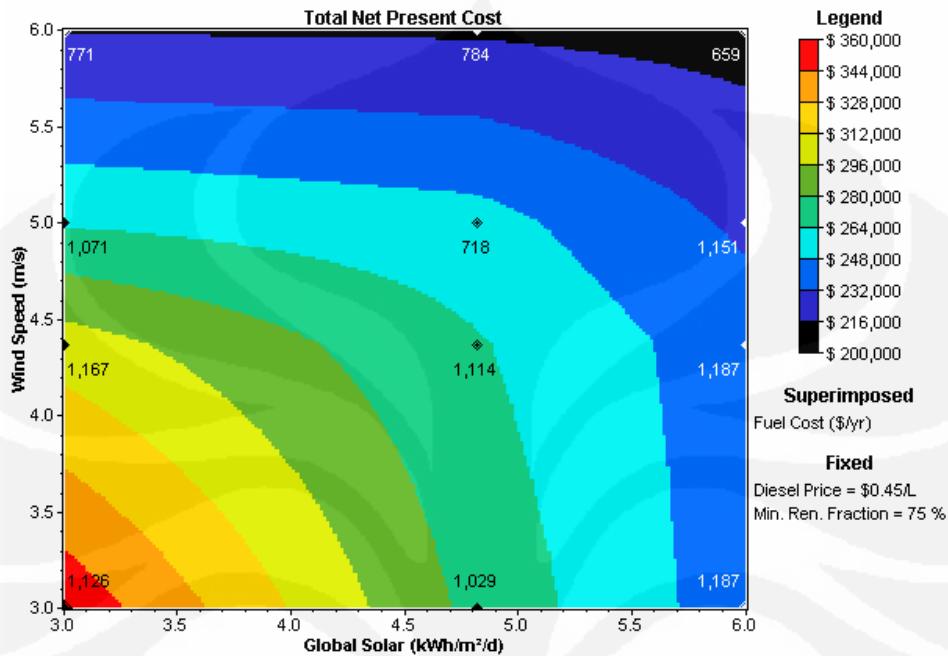
Spider Graph Net Present Cost



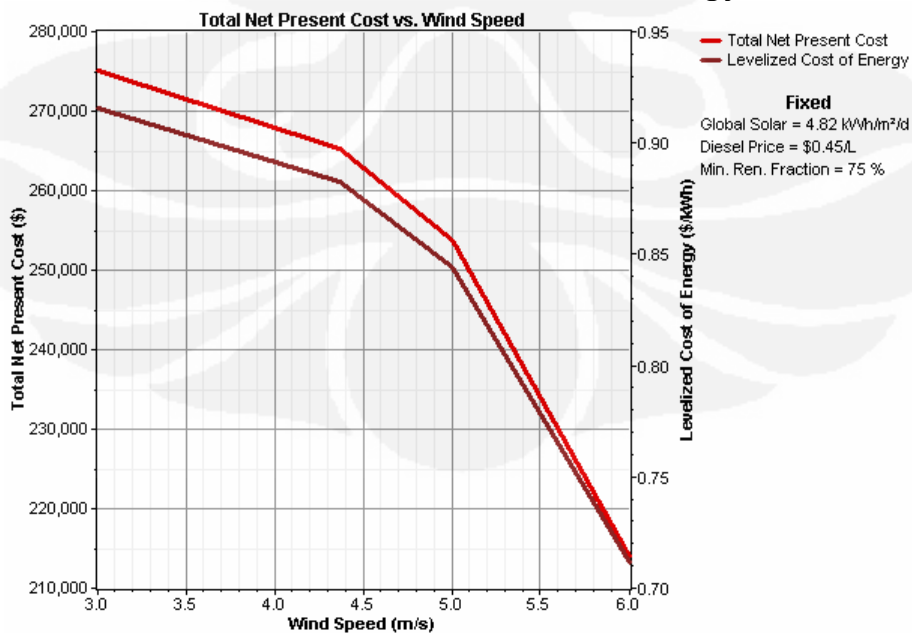
Spider Graph Fuel Cost



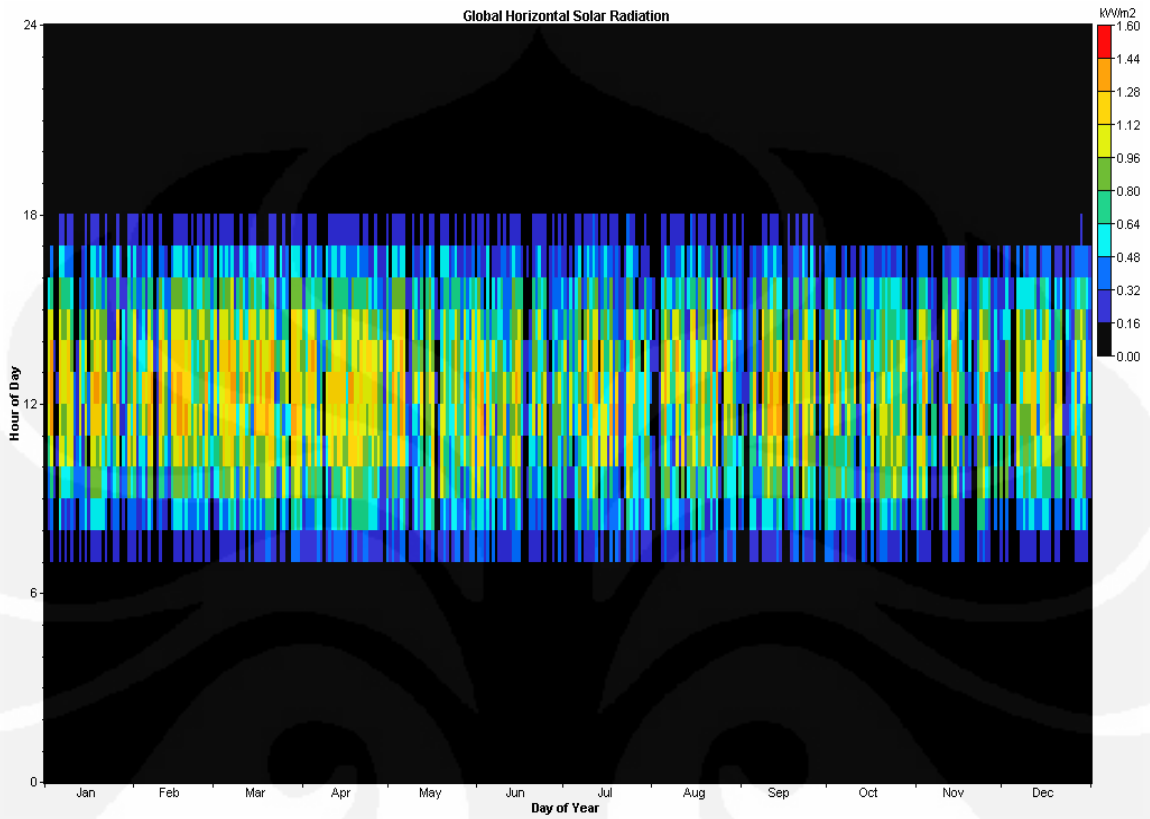
Surface Plot Net Present Cost dan Fuel Cost



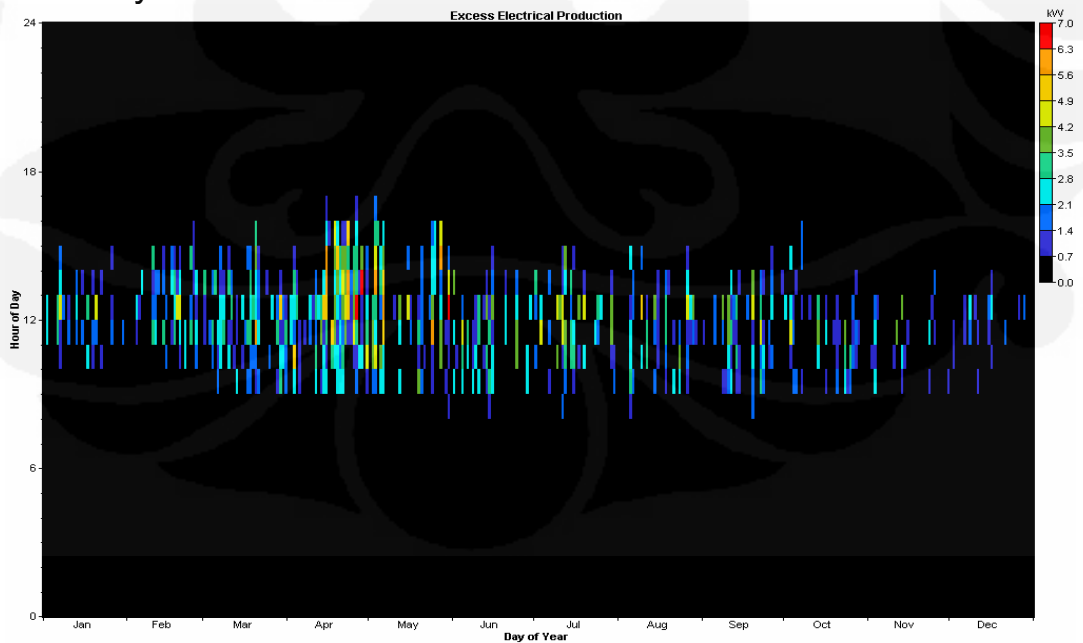
Line Graph Net Present Cost dan Levelized Cost of Energy



Global Solar Radiation



Excess Electricity



Analysis of S.1844, the Clear Skies Act of 2003; S.843, the Clean Air Planning Act of 2003; and S.366, the Clean Power Act of 2003

Table 1. Emission Penalties and Targets in S.366, S.843, and S. 1844

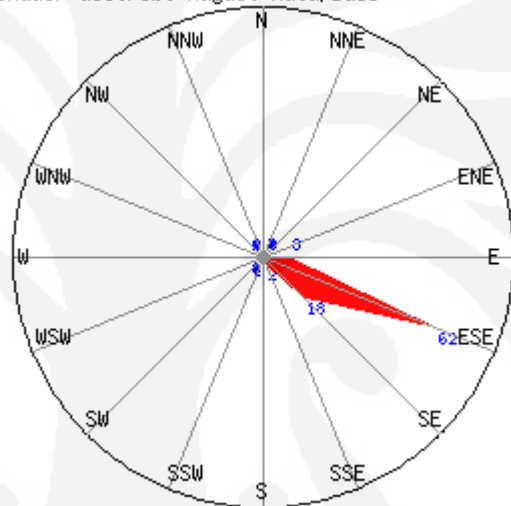
Emission	S. 366 Clean Power Act (Jeffords)	S.843, Clean Air Planning Act (Carper)	S.1844, Clear Skies Act
Sulfur Dioxide (SO ₂)	2,000 \$/ton 1,51 million tons in 2009 ^b	2,000 \$/ton 4,5 million tons in 2009 3,5 million tons in 2013 2,25 million tons in 2016	4,000 \$/ton 2,19 million tons in 2008 1,79 million tons in 2018
Nitrogen Oxide (Nox)	5,000 \$/ton 2.25 million tons in 2009 ^c	7,000 \$/ton 1,87 million tons in 2009 1,7 million tons in 2015	2,000 \$/ton 2,19 million tons in 2010 1,79 million tons in 2018 ^a
Carbon Dioxide (CO ₂)	1,00\$/ton in 2009 1,863 million tons CO ₂ (508 million metric tons carbon equivalent) in 2009) ^e	50 \$/ton 2,332 million metric tons CO ₂ (636 million metric tons carbon equivalent) in 2009 2,244 million metric tons CO ₂ (612 million metric tons carbon equivalent) in 2013 ^f	6,00 \$/ton No cap
Mercury (Hg)	5 ton in 2008 ^c	10,000 \$/ton 24 tons in 2009 10 tons in 2013 ^d	34 ton in 2010 15 ton in 2018

- a. Limit on emission is split between 2 region : 1,47 million tons in Zone 1 (the east) in 2008 to 2017 and 0,72 million tons in Zone 2 (the West) in 2008 to 2017 : 1,07 million tons in Zone 1 (The East) in 2018 and 0,72 million tons in Zone 2 (The West) in 2018.
- b. Limit on SO₂ emission is split between 2 regions, 0,275 million tons in the West and 1,975 million tons for the non-Western region.
- c. Minimum facility-specific reduction without trading are required.
- d. Minimum facility-specific reductions of between 50 percent (2009 to 2012) and 70 percent (after 2012) are required.
- e. This is the 1990 level of CO₂ emissions from the electricity sector.
- f. 2009 to 2012 limits are based on EIA projected emissions for 2006 from the most recent Annual Energy Outlook. The limit for 2013 and subsequent emission years is based on actual 2001 emission.

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	1-12
Dominant Wind Dir.	➤	➤	➤	➤	➤	➤	➤	➤	➤	➤	➤	➤	➤
Wind probability > = 4 Beaufort (%)	28	23	15	10	11	18	13	25	14	5	7	16	15
Average Wind Speed (kts)	9	9	8	8	8	9	9	10	8	8	8	8	8
Average Airtemp. (°C)	29	29	29	29	29	28	28	27	28	29	30	29	28
Select Month (Help)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year

Wind direction
Distribution
August(%)

Winddir distrib. August Kuta/Bali



Copyright www.windfinder.com

Amorphous-Si Thin Film Photovoltaic Module

A Greener Earth for Tomorrow

The MHI MA series is a cost-effective photovoltaic modules installable in any site not subject to mounting space constraints. MHI realized a high-performance, high-quality, manufacturing process for the large modules using advanced PCVD (plasma chemical vapor deposition), a key proprietary technology for the mass production of thin film (amorphous silicon) photovoltaic modules.

A thin film photovoltaic module is made from silane gas by depositing thin layers of semiconductor alloys on a glass substrate. In addition to its environmental advantages over the crystalline photovoltaic module (less energy used for manufacturing, less silicon required, shorter energy payback time), the thin film photovoltaic modules has a weatherproof structure and performs stably under high temperatures during summer. These features make the MA series an ideal solution for BIPV (building integrated photovoltaics) and grid-connected power systems for commercial and residential facilities.



FEATURES

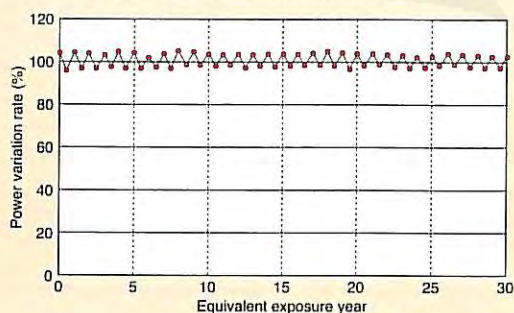
Quality and Safety

The MA series is awarded the following international certifications:

- Certified by TÜV Rheinland Product Safety GmbH (IEC61646, Safety Class II)
- Manufactured in an ISO 9001 certified factory
- Complied with JISC 8991



Long-term Reliability Data by Accelerated Endurance Test *1



*1: Accelerated endurance test result by AIST
(National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

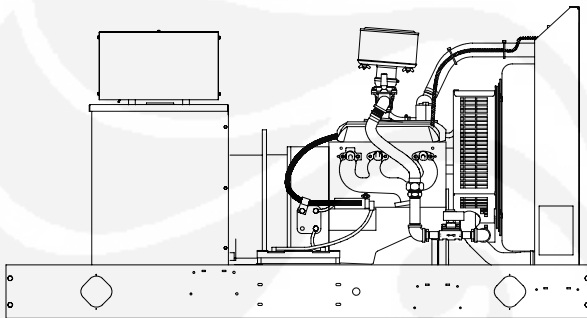
Long Term Reliability

MHI's thin film photovoltaic modules maintain stable power output over a long period. The test results performed by the third party organization indicate very few variations in power generation in 30 years usage.



Ratings Range

		60 Hz	50 Hz
Standby:	kW	31-42	27-34
	kVA	31-53	27-42
Prime:	kW	29-39	25-30
	kVA	29-49	25-37



Standard Features

- Kohler Co. provides one-source responsibility for the generating system and accessories.
- The generator set and its components are prototype-tested, factory-built, and production-tested.
- The 60 Hz generator set offers a UL 2200 listing.
- The generator set accepts rated load in one step.
- A one-year limited warranty covers all systems and components. Two-, five-, and ten-year extended warranties are also available.
- Alternator features:
 - The Fast-Response™ III wound field (WF) design alternator provides excellent voltage response and short-circuit capability using an auxiliary power brushless exciter.
 - The unique Fast-Response™ II excitation system delivers excellent voltage response and short circuit capability using a permanent magnet (PM)-excited alternator.
 - The brushless, rotating-field alternator has broadrange reconnectability.
- Other features:
 - A rugged industrial gas engine delivers rated power at 1800 rpm (60 Hz) and 1500 rpm (50 Hz).
 - Controllers are available for all applications. See controller features inside.
 - The electronic, isochronous governor incorporates an integrated drive-by-wire throttle body actuator delivering precise frequency regulation.

Generator Set Ratings

Alternator	Voltage	Ph	Hz	Natural Gas				LP Gas			
				130° C Rise Standby Rating		105° C Rise Prime Rating		130° C Rise Standby Rating		105° C Rise Prime Rating	
				kW/kVA	Amps	kW/kVA	Amps	kW/kVA	Amps	kW/kVA	Amps
4P5BW/ 4P5B	120/208	3	60	38/48	132	35/44	121	38/48	132	35/44	121
	127/220	3	60	39/49	128	36/45	118	40/50	131	37/46	121
	120/240	3	60	37/46	111	34/43	102	37/46	111	34/43	102
	120/240	1	60	31/31	129	29/29	121	31/31	129	29/29	121
	139/240	3	60	39/49	117	36/45	108	42/53	126	39/49	117
	220/380	3	60	36/45	68	33/41	63	36/45	68	33/41	63
	277/480	3	60	39/49	58	36/45	55	42/53	63	39/49	59
	347/600	3	60	39/49	47	36/45	43	42/53	51	39/49	47
	110/190	3	50	31/39	118	29/36	109	32/40	122	29/36	109
	115/200	3	50	31/39	111	29/36	104	33/41	118	29/36	104
	120/208	3	50	31/39	108	29/36	100	34/42	117	30/37	103
	110/220	3	50	31/39	102	29/36	94	32/40	105	29/36	94
	110/220	1	50	27/27	123	25/25	114	27/27	123	25/25	114
	220/380	3	50	31/39	59	29/36	55	32/40	61	29/36	55
230/400	3	50	31/39	56	29/36	52	33/41	59	29/36	52	
240/416	3	50	31/39	54	29/36	49	34/42	58	30/37	51	
4Q5W/ 4Q5	120/240	1	60	38/38	158	34/34	142	38/38	158	34/34	142
	110/220	1	50	30/30	136	27/27	123	32/32	145	29/29	132

RATINGS: All three-phase units are rated at 0.8 power factor. All single-phase units are rated at 1.0 power factor. *Standby Ratings:* Standby ratings apply to installations served by a reliable utility source. The standby rating is applicable to varying loads for the duration of a power outage. There is no overload capability for this rating. Ratings are in accordance with ISO-3046/1, BS 5514, AS 2789, and DIN 6271. *Prime Power Ratings:* Prime power ratings apply to installations where utility power is unavailable or unreliable. At varying load, the number of generator set operating hours is unlimited. A 10% overload capacity is available for one hour in twelve. Ratings are in accordance with ISO-8528/1, overload power in accordance with ISO-3046/1, BS 5514, AS 2789, and DIN 6271. For limited running time and base load ratings, consult the factory. Obtain the technical information bulletin (TIB-101) on ratings guidelines for the complete ratings definitions. The generator set manufacturer reserves the right to change the design or specifications without notice and without any obligation or liability whatsoever. GENERAL GUIDELINES FOR DERATION: *Altitude:* Derate 1.3% per 100 m (328 ft.) elevation above 200 m (656 ft.). *Temperature:* Derate 3.0% per 10° C (18° F) temperature above 25° C (77° F). Dual fuel engines are optimized to run on the primary fuel (natural gas) and, as a result, the LPG ratings may not be attained. For dual fuel engines, use the natural gas ratings for both the primary and secondary fuels.

Alternator Specifications

Specifications	Alternator
Manufacturer	Kohler
Type	4-Pole, Rotating-Field
Exciter type	
Wound field (WF)	Wound Exciter Field with Separate Excitation Power Winding
Permanent magnet (PM)	Brushless, Permanent-Magnet
Leads: quantity, type	
4P5BW/4P5B	12, Reconnectable
4Q5W/4Q5	4, 110-120/220-240
Voltage regulator	Solid State, Volts/Hz
Insulation:	NEMA MG1
Material	Class H
Temperature rise	130°C, Standby
Bearing: quantity, type	1, Sealed
Coupling	Flexible Disc
Amortisseur windings	Full
Voltage regulation, no-load to full-load	
Wound field (WF) alternator	±0.25% Average
Permanent magnet (PM) alternator	±2% Average
550 controller (with 0.5% drift due to temperature variation)	3-Phase Sensing, ±0.25%
Unbalanced load capability	100% of Rated Standby Current
One-step load acceptance	100% of Rating

- NEMA MG1, IEEE, and ANSI standards compliance for temperature rise and motor starting.
- Sustained short-circuit current of up to 300% of the rated current for up to 10 seconds.
- Sustained short-circuit current enabling downstream circuit breakers to trip without collapsing the alternator field.
- Self-ventilated and drip-proof construction.
- Vacuum-impregnated windings with fungus-resistant epoxy varnish for dependability and long life.
- Superior voltage waveform from a two-thirds pitch stator and skewed rotor.
- Fast-Response™ III wound field (WF) brushless alternator with auxiliary power brushless exciter for excellent load response.
- Fast-Response™ II brushless alternator with brushless exciter for excellent load response.

Specifications	Alternator
Peak motor starting kVA:	(35% dip for voltages below)
480 V, 380 V 4P5BW/4P5B (12 lead)	130 (60Hz), 90 (50Hz)
240 V, 220 V 4Q5W/4Q5 (4 lead)	95 (60Hz), 78 (50Hz)

Application Data

Engine

Engine Specifications	60 Hz	50 Hz
Manufacturer	General Motors	
Engine: model, type	Industrial Powertrain Vortec 4.3 L, 4-Cycle Natural Aspiration	
Cylinder arrangement	V-6	
Displacement, L (cu. in.)	4.3 (262)	
Bore and stroke, mm (in.)	101.6 x 88.4 (4.00 x 3.48)	
Compression ratio	9.05:1	
Piston speed, m/min. (ft./min.)	318 (1044)	265 (870)
Main bearings: quantity, type	4, Babbitt	
Rated rpm	1800	1500
Max. power at rated rpm, kW (HP)	56 (75)	44.8 (60)
Engine power at standby rating, kW (HP)		
Natural Gas	49.2 (66)	40.3 (54)
LP Gas	53.7 (72)	42.5 (57)
Cylinder head material	Cast Iron	
Piston type and material	High Silicon Aluminum	
Crankshaft material	Nodular Iron	
Valve (exhaust) material	Forged Steel	
Governor type	Electronic	
Frequency regulation, no-load to full-load	Isochronous	
Frequency regulation, steady state	±0.5%	
Frequency	Field-Convertible	
Air cleaner type, all models	Dry	

Exhaust

Exhaust System	60 Hz	50 Hz
Exhaust manifold type	Dry	
Exhaust flow at rated kW, m ³ /min. (cfm)	8.8 (310)	7.6 (270)
Exhaust temperature at rated kW, dry exhaust, °C (°F)	649 (1200)	
Maximum allowable back pressure, kPa (in. Hg)	10.2 (3.0)	
Exhaust outlet size at engine hookup, mm (in.)	76 (3.0) OD	

Engine Electrical

Engine Electrical System	60 Hz	50 Hz
Ignition system	Electronic, Distributor	
Battery charging alternator:		
Ground (negative/positive)	Negative	
Volts (DC)	12	
Ampere rating	70	
Starter motor rated voltage (DC)	12	
Battery, recommended cold cranking amps (CCA):		
Qty., rating for -18°C (0°F)	One, 630	
Battery voltage (DC)	12	

Fuel

Fuel System	60 Hz	50 Hz
Fuel type	LP Gas or Natural Gas	
Fuel supply line inlet	1 NPTF	
Natural gas/LPG fuel supply pressure, measured at the generator set fuel inlet downstream of any fuel system equipment accessories, kPa (in. H ₂ O)	1.74-2.74 (7.0-11.0)	

Fuel Composition Limits *	Nat. Gas	LP Gas
Methane, % by volume	90 min.	—
Ethane, % by volume	4.0 max.	—
Propane, % by volume	1.0 max.	85 min.
Propene, % by volume	0.1 max.	5.0 max.
C ₄ and higher, % by volume	0.3 max.	2.5 max.
Sulfur, ppm mass	25 max.	
Lower heating value, kJ/m ³ (Btu/ft ³), min.	26.6 (890)	67.5 (2260)

* Fuels with other compositions may be acceptable. If your fuel is outside the listed specifications, contact your local distributor for further analysis and advice.

Application Data

Lubrication

Lubricating System	60 Hz	50 Hz
Type	Full Pressure	
Oil pan capacity, L (qt.)	4.3 (4.5)	
Oil pan capacity with filter, L (qt.)	5.7 (6.0)	
Oil filter: quantity, type	1, Cartridge	

Cooling

Radiator System	60 Hz	50 Hz
Ambient temperature, °C (°F) *	50 (122)	
Engine jacket water capacity, L (gal.)	6.8 (1.8)	
Radiator system capacity, including engine, L (gal.)	19.7 (5.2)	
Engine jacket water flow, Lpm (gpm)	106.0 (28)	87.1 (23)
Heat rejected to cooling water at rated kW, dry exhaust, kW (Btu/min.)	39.2 (2230)	33.9 (1930)
Water pump type	Centrifugal	
Fan diameter, including blades, mm (in.)	533 (21)	
Fan, kWm (HP)	3.0 (4.0)	1.7 (2.3)
Max. restriction of cooling air, intake and discharge side of radiator, kPa (in. H ₂ O)	0.125 (0.5)	

* Weather housing with roof-mounted silencer and enclosure with enclosed silencer reduce ambient temperature capability by 5°C (9°F).

Remote Radiator System†	60 Hz	50 Hz
Exhaust manifold type	Dry	
Connection sizes:		
Water inlet, ID hose, mm (in.)	44.45 (1.75)	
Water outlet, ID hose, mm (in.)	38.10 (1.50)	
Static head allowable above engine, kPa (ft. H ₂ O)	4.32 (17.0)	

† Contact your local distributor for cooling system options and specifications based on your specific requirements.

Operation Requirements

Air Requirements	60 Hz	50 Hz
Radiator-cooled cooling air, m ³ /min. (scfm)‡	142 (5000)	113 (4000)
Cooling air required for generator set when equipped with city water cooling or remote radiator, based on 14°C (25°F) rise and ambient temperature of 29°C (85°F), m ³ /min. (cfm)	82 (2900)	71 (2500)
Combustion air, m ³ /min. (cfm)	2.61 (92)	2.27 (80)
Heat rejected to ambient air:		
Engine, kW (Btu/min.)	16.0 (910)	13.0 (740)
Alternator, kW (Btu/min.)	6.3 (360)	6.2 (350)

‡ Air density = 1.20 kg/m³ (0.075 lbm/ft³)

Fuel Consumption	60 Hz	50 Hz
Natural Gas, m³/hr. (cfh) at % load§	Standby Ratings	
100%	16.5 (584)	13.5 (477)
75%	13.8 (486)	10.4 (367)
50%	10.2 (360)	8.0 (281)
25%	7.7 (272)	5.8 (206)
Natural Gas, m³/hr. (cfh) at % load§	Prime Ratings	
100%	15.5 (548)	12.4 (437)
75%	12.8 (452)	9.7 (344)
50%	9.7 (344)	7.6 (267)
25%	7.5 (264)	5.7 (200)

LP Gas, m ³ /hr. (cfh) at % load	Standby Ratings	
100%	6.9 (242)	6.0 (211)
75%	5.4 (191)	4.5 (158)
50%	4.0 (141)	3.3 (116)
25%	2.9 (101)	2.4 (83)

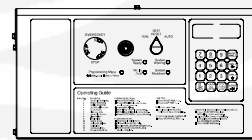
LP Gas, m ³ /hr. (cfh) at % load	Prime Ratings	
100%	6.3 (223)	5.4 (192)
75%	5.0 (177)	4.2 (147)
50%	3.8 (134)	3.1 (110)
25%	2.8 (98)	2.3 (80)

§ Fuel consumption is based on 1015 Btu/standard cu. ft. natural gas.

LP vapor conversion factors:

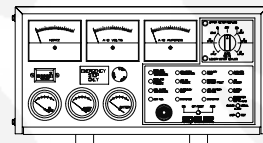
8.58 ft.³ = 1 lb.
0.535 m³ = 1 kg.
36.39 ft.³ = 1 gal.

Controllers



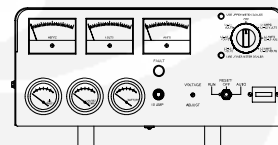
Decision-Maker™ 550 Controller

Audiovisual annunciation with NFPA 110 Level 1 capability. Programmable microprocessor logic and digital display features. Alternator safeguard circuit protection. 12- or 24-volt engine electrical system capability. Remote start, remote annunciation, and remote communication options. Refer to G6-46 for additional controller features and accessories.



Decision-Maker™ 3+, 16-Light Controller

Audiovisual annunciation with NFPA 110 Level 1 capability. Microprocessor logic, AC meters, and engine gauge features. 12- or 24-volt engine electrical system capability. Remote start, prime power, and remote annunciation options. Refer to G6-30 for additional controller features and accessories.



Decision-Maker™ 1 Controller

Single-light annunciation and basic controls with NFPA capability. Relay logic, AC meters, and engine gauge features. 12-volt engine electrical system capability only. Remote or automatic start options. Refer to G6-29 for additional controller features and accessories. **Note:** Not available with 600-volt alternator.

Additional Standard Features

- Alternator Protection (standard with 550 controller)
- Battery Rack and Cables
- Electronic, Isochronous Governor
- Gas Fuel System (includes fuel mixer, secondary gas regulator, gas solenoid valve, and flexible fuel line between the engine and the skid-mounted fuel system components)
- Integral Vibration Isolation
- Oil Drain Extension
- Operation and Installation Literature

Available Accessories

Enclosed Unit

- Sound Enclosure (with enclosed critical silencer)
- Weather Enclosure (with enclosed critical silencer)
- Weather Housing (with roof-mounted silencer)

Open Unit

- Exhaust Silencer, Critical (kits: PA-324468, PA-352663)
- Flexible Exhaust Connector, Stainless Steel

Cooling System

- Block Heater [recommended for ambient temperatures below 10°C (50°F)]
- City Water Cooling
- Radiator Duct Flange
- Remote Radiator Cooling

Fuel System

- Automatic Changeover (natural gas to LP gas)
- Flexible Fuel Line (required when the generator set skid is spring mounted)
- Gas Filter
- LP Gas Liquid Withdrawal
- Manual Valve and Gas Solenoid Bypass
- Secondary Gas Solenoid Valve

Electrical System

- Battery
- Battery Charger, Equalize/Float Type
- Battery Heater

Engine and Alternator

- Alternator, Wound Field (WF)
- Alternator, Permanent Magnet (PM)
- Air Cleaner Restrictor Indicator
- Alternator Strip Heater
- CSA Certification
- Engine Fluids (oil and coolant) Added
- Line Circuit Breaker (NEMA1 enclosure)
- Line Circuit Breaker with Shunt Trip (NEMA1 enclosure)
- Optional Alternators
- Rated Power Factor Testing
- Rodent Guards
- Safeguard Breaker (not available with 550 controller)
- Skid End Caps
- Voltage Regulation, 1%
- Voltage Regulator Sensing, 3-Phase

Literature and Maintenance

- General Maintenance Literature Kit
- Maintenance Kit (includes standard air, oil, and fuel filters)
- NFPA 110 Literature
- Overhaul Literature Kit
- Production Literature Kit

Controller (550 and 16-Light)

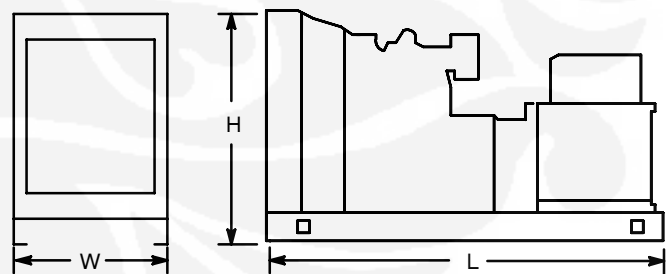
- Common Failure Relay Kit
- Communication Products and PC Software (550 controller only)
- Customer Connection Kit
- Dry Contact Kit (isolated alarm)
- Engine Prealarm Sender Kit
- Local Emergency Stop Kit
- Prime Power Switch (550 controller only)
- Remote Annunciator Panel
- Remote Audiovisual Alarm Panel
- Remote Emergency Stop Kit
- Remote Mounting Cable
- Run Relay Kit

Miscellaneous Accessories

- _____
- _____
- _____
- _____
- _____
- _____
- _____
- _____

Dimensions and Weights

Overall Size, L x W x H, mm (in.):
 Wide Skid 2200 x 1040 x 1172 (86.6 x 40.9 x 46.1)
 Narrow Skid 2200 x 865 x 1172 (86.6 x 34.0 x 46.1)
 Weight (radiator model), wet, kg (lb.): 565 (1246)



NOTE: This drawing is provided for reference only and should not be used for planning installation. Contact your local distributor for more detailed information.

DISTRIBUTED BY:



Whisper 100/200

Reliable Remote Power

Whisper 100 provides dependable energy for remote homes, telecommunication sites and rural applications in moderate to extreme environments. Reliable operation by thousands of customers makes Whisper 100 the top selling small wind turbine in its class. Assuming a 12 mph (5.4 m/s) average wind, a Whisper 100 will produce 100 kWh per month. Best for moderate to high wind – 9 mph (4 m/s) and above.

The versatile Whisper 200 powers applications from remote homes to water pumping. The Whisper 200's 9-foot (2.7 m) blade has almost twice the swept area of the Whisper 100, yielding twice the energy. A high voltage model is available for transmission over long distances. Best for low to moderate wind – 7 mph (3 m/s) and above.

Made in the USA

Technical Specifications

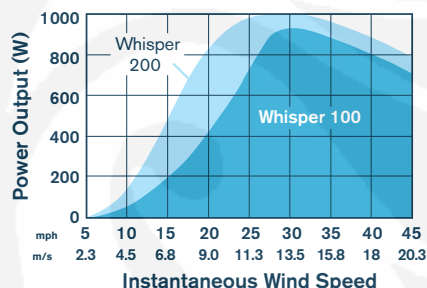
WHISPER 100

Rotor Diameter	7 ft (2.1 m)
Weight	47 lb (21 kg) box: 74 lb (22.56 kg)
Shipping Dimensions	51 x 20 x 13 in (1295 x 508 x 330 mm)
Mount	2.5 in schedule 40 (6.35 cm) pipe
Start-Up Wind Speed	7.5 mph (3.4 m/s)
Voltage	12, 24, 36, 48 VDC
Rated Power	900 watts at 28 mph (12.5 m/s)
Turbine Controller	Whisper controller
Body	Cast aluminum/marine option
Blades	3-Carbon reinforced fiberglass
Overspeed Protection	Patented side-furling
Kilowatt Hours Per Month	100 kWh/mo at 12 mph (5.4 m/s)
Survival Wind Speed	120 mph (55 m/s)
Warranty	5 year limited warranty

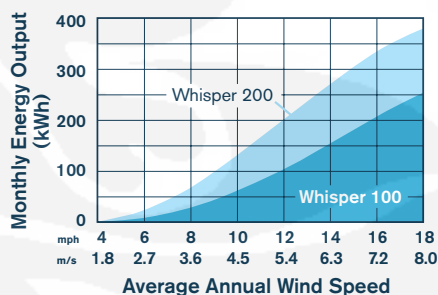
WHISPER 200

Rotor Diameter	9 feet (2.7 m)
Weight	65 lb (30 kg) box: 87 lb (39.46 kg)
Shipping Dimensions	51 x 20 x 13 in (1295 x 508 x 330 mm)
Mount	2.5 in schedule 40 (6.35 cm) pipe
Start-Up Wind Speed	7 mph (3.1 m/s)
Voltage	24, 36, 48 VDC (HV available)
Rated Power	1000 watts at 26 mph (11.6 m/s)
Turbine Controller	Whisper controller
Body	Cast aluminum/marine option
Blades	3-Carbon reinforced fiberglass
Overspeed Protection	Patented side-furling
Kilowatt Hours Per Month	200 kWh/mo at 12 mph (5.4 m/s)
Survival Wind Speed	120 mph (55 m/s)
Warranty	5 year limited warranty

POWER



MONTHLY ENERGY



FIVE YEAR WARRANTY

Southwest Windpower

1801 W. Route 66
Flagstaff, AZ 86001 USA

928.779.9463
www.windenergy.com

Makers of Skystream 3.7® / AIR / Whisper

Printed on recycled paper using vegetable inks.



Whisper 500

Serious Power from a Medium Sized Small Wind Turbine

The Whisper 500 can produce enough energy to power an entire home. Assuming a 12 mph (5.4 m/s) wind, a Whisper 500 will produce as much as 500 kWh per month. That is enough energy to power the average California home.

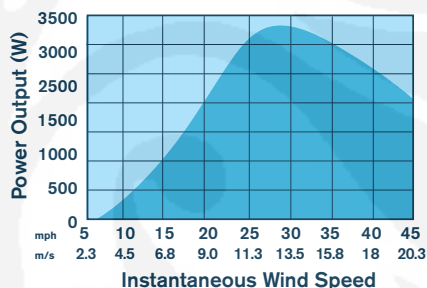
- 5 year warranty
- Durable composite blades
- Powder coated steel body
- Includes Whisper Controller with diversion load and display
- Angle-governor protects blades and allows maximum output in any wind

Made in the USA

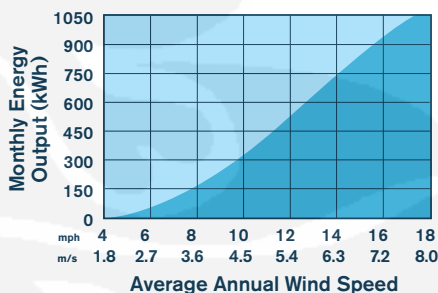
Technical Specifications

Rotor Diameter	15 feet (4.5 m)
Weight	155 lb (70 kg)
Shipping Dimensions	Box 1 (body): 36 x 25 x 32 in (914 x 635 x 812 mm) 295 lb (133.8 kg)
	Box 2 (blades): 88 x 12 x 6 in (2235 x 305 x 152 mm) 38 lb (17.2 kg)
	Box 3 (controller): 22 x 15 x 10 in (559 x 381 x 254 mm) 75 lb (35 kg)
Mount	5 in schedule 40 (12.7 cm) pipe
Start-Up Wind Speed	7.5 mph (3.4 m/s)
Voltage	24, 36, 48 VDC (high voltage avail.)
Rated Power	3000 watts at 24 mph (10.5 m/s)
Peak Power	3200 watts at 27 mph (12 m/s)
Turbine Controller	Whisper Charge Controller (included)
Body	Welded steel; powder coated protection (not marine grade)
Blades	2-Carbon reinforced fiberglass
Overspeed Protection	Side-furling
Kilowatt Hours/Month	538 kWh/mo at 12 mph (5.4 m/s)
Survival Wind Speed	120 mph (55 m/s)
Warranty	5 year limited warranty

POWER



MONTHLY ENERGY



FIVE YEAR WARRANTY

Southwest Windpower

1801 W. Route 66
Flagstaff, AZ 86001 USA

928.779.9463

www.windenergy.com

Makers of Skystream 3.7® / AIR / Whisper

Printed on recycled paper using vegetable inks.

Analisa hasil..., Angga Rizky Pritiyatomo, FT UI, 2009

THE
SPECIFICATIONS



Trojan

BATTERY COMPANY

PRODUCT SPECIFICATION GUIDE

- Since 1925, Trojan has been the world's leading manufacturer of deep cycle batteries.
- Trojan batteries are a clean, reliable power source for golf, electric vehicle, floor machine, AWP, RV, marine, mobility, renewable energy and commercial truck applications.
- Trojan's proprietary Maxguard® Advanced Design Separator and exclusive Alpha Plus® Paste Formulation deliver longer life and enhanced performance.
- Trojan offers outstanding technical support; talk to an applications engineer at 800.423.6569 or visit www.trojanbattery.com for round the clock access.
- With a wide variety of superior products, Trojan has a battery to meet your needs.





battery specifications

Including

 Marine Batteries by Trojan®

BCI Group Size	Type	Capacity ^C Minutes		Cranking Performance		5 Hr ^D Rate AH	20 Hr ^E Rate AH	Voltage	Terminal Config. (See last page)	Dimensions ^F inches (mm)			Weight lbs. (kg)
		@25 Amps	@75 Amps	CCA ^A @0°F	CA ^B @32°F					L	W	H	
DEEP CYCLE - 6 VOLT													
GC2	T-605	383	105	-	-	175	210	6	2,6,11	10 3/8 (264)	7 1/8 (181)	10 7/8 (276)	58 (26)
GC2	T-105	447	115	-	-	185	225	6	1,2,6,11	10 3/8 (264)	7 1/8 (181)	10 7/8 (276)	62 (28)
GC2	T-125	488	132	-	-	195	240	6	2,6,11	10 3/8 (264)	7 1/8 (181)	10 7/8 (276)	66 (30)
GC2H	T-145	530	145	-	-	215	260	6	2,6,11	10 3/8 (264)	7 1/8 (181)	11 5/8 (295)	72 (33)
DIN	TE35	500	135	-	-	200	245	6	2	9 5/8 (244)	7 1/2 (191)	10 7/8 (276)	68 (31)
N/A	J250G	475	130	-	-	195	235	6	11	11 5/8 (295)	7 (178)	11 7/8 (302)	67 (30)
N/A	J250P	540	135	-	-	215	250	6	7	11 5/8 (295)	7 (178)	11 1/2 (292)	72 (33)
N/A	J305G	620	170	-	-	255	310	6	11	11 5/8 (295)	7 (178)	14 3/8 (365)	90 (41)
N/A	J305P	675	175	-	-	270	315	6	7	11 5/8 (295)	7 (178)	14 3/8 (365)	91 (41)
N/A	J305H	745	195	-	-	285	335	6	7	11 5/8 (295)	7 (178)	14 3/8 (365)	97 (44)
N/A	L16G	750	185	-	-	305	370	6	1,11	11 5/8 (295)	7 (178)	17 (432)	106 (48)
N/A	L16P	805	200	-	-	320	390	6	1,7	11 5/8 (295)	7 (178)	16 3/4 (424)	113 (51)
N/A	L16H	885	225	-	-	345	420	6	7	11 5/8 (295)	7 (178)	16 3/4 (424)	121 (55)
DEEP CYCLE - 8 VOLT													
GC8	T-860	-	G	-	-	125	150	8	6	10 3/8 (264)	7 1/8 (181)	10 7/8 (276)	56 (25)
GC8	T-875	295	H	-	-	145	170	8	2,6,11	10 3/8 (264)	7 1/8 (181)	10 7/8 (276)	63 (29)
GC8	T-890	340	I	-	-	155	190	8	2,6,11	10 3/8 (264)	7 1/8 (181)	10 7/8 (276)	69 (31)
DEEP CYCLE - 12 VOLT													
24	24TMX	140	36	440	540	70	85	12	12	11 1/4 (286)	6 3/4 (171)	9 3/4 (248)	47 (21)
27	27TMX	175	45	530	650	85	105	12	12	12 3/4 (324)	6 3/4 (171)	9 3/4 (248)	55 (25)
27	27TMH	200	51	620	760	95	115	12	2,11,12	12 3/4 (324)	6 3/4 (171)	9 3/4 (248)	59 (27)
30H	30XHS	225	57	665	820	105	130	12	2,11,12	13 15/16 (355)	6 3/4 (171)	9 3/8 (238)	66 (30)
30H	31XHS	225	57	665	820	105	130	12	10	13 (330)	6 3/4 (171)	9 1/2 (241)	67 (30)
N/A	5SHP	275	78	400	490	135	165	12	2	13 5/8 (346)	6 3/4 (171)	11 3/8 (289)	86 (39)
N/A	J185G	300	85	-	-	150	180	12	11	15 (381)	7 (178)	14 5/8 (371)	105 (48)
N/A	J185P	375	95	-	-	160	195	12	7	15 (381)	7 (178)	14 5/8 (371)	113 (51)
N/A	J185H	415	110	-	-	180	215	12	7	15 (381)	7 (178)	14 5/8 (371)	122 (55)
8D	EV8D-2	450	87	-	-	167	216	12	2	20 1/2 (521)	10 15/16 (278)	9 1/2 (241)	132 (60)
N/A	DC-500ML	1050	272	-	-	361	450	12	1,2	19 1/4 (489)	10 5/8 (270)	16 3/4 (425)	332 (151)
DEEP CYCLE - 36 VOLT													
N/A	18DC-500ML	1050	272	-	-	361	450	36	5	35 1/4 (895)	19 1/8 (486)	16 3/4 (425)	986 (447)
COMMERCIAL STARTING - 6 VOLT													
4	H4-2	205	-	940	1150	-	-	6	2	12 7/8 (327)	7 (178)	9 3/8 (238)	44 (20)
4	XH4-2	265	-	1100	1350	-	-	6	2	12 7/8 (327)	7 (178)	9 3/8 (238)	47 (21)
COMMERCIAL STARTING - 12 VOLT													
31	C31-850	190	-	850	1040	-	-	12	2, 10	13 (330)	6 3/4 (171)	9 3/8 (238)	59 (27)
31	C31-1000	200	-	1000	1225	-	-	12	2, 10	13 (330)	6 3/4 (171)	9 3/8 (238)	61 (28)
4D	4D-2	390	-	1000	1220	-	-	12	2	20 5/8 (524)	8 3/4 (222)	9 1/2 (241)	99 (45)
8D	C8D-2	350	-	1050	1285	-	-	12	2	20 1/2 (521)	11 (279)	9 1/2 (241)	109 (49)
8D	8DX-2	400	-	1200	1470	-	-	12	2,3	20 1/2 (521)	11 (279)	9 1/2 (241)	119 (54)
8D	XH8D-2	450	-	1300	1590	-	-	12	2	20 1/2 (521)	11 (279)	9 1/2 (241)	132 (60)



BCI Group Size	Type	Capacity ^C Minutes		Cranking Performance		5 Hr ^D Rate AH	20 Hr ^E Rate AH	Voltage	Terminal Config. (See last page)	Dimensions ^F inches (mm)			Weight lbs. (kg)
		@25 Amps	@75 Amps	CCA ^A @0°F	CA ^B @32°F					L	W	H	
VALVE REGULATED (GEL) - 12 VOLT													
U1	SG-30	50	-	-	-	27	30	12	1,4	7 5/8 (194)	5 3/16 (133)	7 (172)	23 (10)
22NF	SG-50	96	-	-	-	47	52	12	1,4	9 1/16 (229)	5 7/16 (138)	9 (223)	38 (17)
24	SG-70	138	-	-	-	65	75	12	1,4	11 3/16 (279)	6 11/16 (168)	9 (223)	52 (24)
27	SG-90	169	-	-	-	77	86	12	1,4	13 1/16 (327)	6 11/16 (168)	9 (223)	61 (28)
TROJAN MARINE/RV DEEP CYCLE													
24	SCS150	150	36	530	650	80	100	12	8	11 1/4 (286)	6 3/4 (171)	9 3/4 (248)	50 (23)
27	SCS200	200	52	620	760	95	115	12	8	12 3/4 (324)	6 3/4 (171)	9 3/4 (248)	60 (27)
30H	SCS225	225	57	665	820	105	130	12	8	13 15/16 (355)	6 3/4 (171)	9 3/4 (248)	66 (30)
TROJAN MARINE/RV STARTING													
24	24SM-550	65	-	420	515	-	-	12	9	11 1/4 (286)	6 3/4 (171)	9 3/4 (248)	36 (16)
24	24SM-650	85	-	520	635	-	-	12	9	11 1/4 (286)	6 3/4 (171)	9 3/4 (248)	38 (17)
24	24SM-850	125	-	700	860	-	-	12	9	11 1/4 (286)	6 3/4 (171)	9 3/4 (248)	43 (20)
24	24SM-1000	165	-	825	1025	-	-	12	9	11 1/4 (286)	6 3/4 (171)	9 3/4 (248)	49 (22)
27	27SM-1100	205	-	860	1050	-	-	12	9	12 3/4 (324)	6 3/4 (171)	9 3/4 (248)	55 (25)
TROJAN MARINE/RV MAINTENANCE FREE STARTING													
24	24SM-550MF	65	-	420	515	-	-	12	9	10 3/16 (258)	6 1/2 (165)	9 7/16 (239)	36 (16)
24	24SM-650MF	85	-	520	635	-	-	12	9	10 3/16 (258)	6 1/2 (165)	9 7/16 (239)	38 (17)
24	24SM-850MF	125	-	700	860	-	-	12	9	10 3/16 (258)	6 1/2 (165)	9 7/16 (239)	43 (20)
24	24SM-1000MF	165	-	825	1025	-	-	12	9	10 3/16 (258)	6 1/2 (165)	9 7/16 (239)	49 (22)
TROJAN MARINE/RV DUAL PURPOSE													
24	24TMS	125	34	470	575	62	72	12	9	11 1/4 (286)	6 3/4 (171)	9 3/4 (248)	41 (19)
24	24TM	135	34	550	675	66	85	12	9	11 1/4 (286)	6 3/4 (171)	9 3/4 (248)	44 (20)
27	27TMS	145	39	550	675	73	85	12	9	12 3/4 (324)	6 3/4 (171)	9 3/4 (248)	48 (22)
27	27TM	160	38	630	770	79	105	12	9	12 3/4 (324)	6 3/4 (171)	9 3/4 (248)	50 (23)
TROJAN MARINE/RV AGM DUAL PURPOSE													
24	24-AGM	130	-	440	620	61	80	12	9	10 13/16 (259)	6 5/8 (168)	8 7/8 (226)	52 (24)
27	27-AGM	175	-	560	780	76	100	12	9	12 (305)	6 5/8 (168)	9 3/16 (233)	66 (30)
31	31-AGM	190	-	720	950	83	110	12	9	13 1/16 (208)	6 7/8 (174)	8 11/16 (221)	71 (32)
4D	4D-AGM	325	-	1110	1420	131	165	12	9	20 7/8 (530)	8 1/4 (209)	9 3/8 (237)	115 (52)
8D	8D-AGM	460	-	1450	1850	179	230	12	9	20 1/2 (521)	10 9/16 (269)	8 7/8 (226)	155 (70)
GC2	6V-AGM	385	-	1100	1400	154	200	6	9	10 1/4 (260)	7 1/16 (179)	10 5/8 (270)	65 (29)
MINN KOTA BY TROJAN DEEP CYCLE - 12 VOLT													
24	MK24DC	140	36	440	540	70	85	12	12	11 1/4 (286)	6 3/4 (171)	9 3/4 (248)	47 (21)
27	MK27DC	175	45	530	650	85	105	12	12	12 3/4 (324)	6 3/4 (171)	9 3/4 (248)	55 (25)
30H	MK31DC	190	57	665	820	105	130	12	12	13 15/16 (355)	6 3/4 (171)	9 3/8 (238)	66 (30)
MINN KOTA BY TROJAN DUAL PURPOSE STARTING/DEEP CYCLE - 12 VOLT													
24	MK24DP	125	34	470	575	62	72	12	9	11 1/4 (286)	6 3/4 (171)	9 3/4 (248)	41 (19)
27	MK27DP	145	39	550	675	73	85	12	9	12 3/4 (324)	6 3/4 (171)	9 3/4 (248)	48 (22)
MINN KOTA BY TROJAN STARTING - 12 VOLT													
24	MK550ST	65	-	420	515	-	-	12	9	11 1/4 (286)	6 3/4 (171)	9 3/4 (248)	36 (16)
24	MK650ST	85	-	520	635	-	-	12	9	11 1/4 (286)	6 3/4 (171)	9 3/4 (248)	38 (17)
24	MK1000ST	165	-	825	1025	-	-	12	9	11 1/4 (286)	6 3/4 (171)	9 3/4 (248)	49 (22)
MINN KOTA BY TROJAN VALVE REGULATED (AGM) DUAL PURPOSE STARTING/DEEP CYCLE - 6/12 VOLT													
24	MK24AGM	130	-	440	620	61	80	12	11	10 13/16 (259)	6 5/8 (168)	8 7/8 (226)	52 (24)
27	MK27AGM	175	-	560	780	76	99	12	11	12 (305)	6 5/8 (168)	9 3/16 (233)	66 (30)
31	MK31AGM	190	-	720	950	83	110	12	11	13 1/16 (208)	6 7/8 (174)	8 11/16 (221)	71 (32)

- A. C.C.A. (Cold Cranking Amps) - the discharge load in amperes which a new, fully charged battery can maintained for 30 seconds at 0°F at a voltage above 1.2 v/cell.
- B. C.A. (Cranking Amps) - the discharge load in amperes which a new, fully charged battery can maintained for 30 seconds at 32°F at a voltage above 1.2 v/cell. This is sometimes referred to as marine cranking amps @ 32°F or M.C.A. @ 32°F.
- C. Reserve Capacity or Capacity - the number of minutes a battery can be discharged at 25, 56 (Golf Deep Cycle batteries only) or 75 amps at 80°F and maintain a voltage above 1.75 v/cell.
- D. 5 hour rate is based on IEC (International Electrotechnical Commission) temperature standard of 30°C (86°F).
- E. 20 hour rate is a BCI sanctioned rating expressing ampere hours required to achieve an end voltage of 1.75 v/cell at 80°F and represents the batteries maximum capacity.
- F. All dimensions taken from bottom of battery to top of terminal. Heights may vary according to type of terminals specified.
- G. Capacity @56 Amps is 90 Minutes.
- H. Capacity @56 Amps is 117 Minutes.
- I. Capacity @56 Amps is 132 Minutes.

terminal configurations

- 1 "L" Terminal (LT)
- 2 Automotive Post (AP)
- 3 Bus Terminal (BT)
- 4 Button Terminal
- 5 Cable and Plug
- 6 Low Profile Terminal (LPT)

- 7 AP and Stud Terminal (DT)
- 8 Dual Wingnut Terminal (DWNT)
- 9 Marine Dual Terminal (APW)
- 10 Stud Terminal
- 11 Universal Terminal (UT)
- 12 Wingnut (WNT)



"L" Terminal (LT)



Automotive Post (AP)



Bus Terminal (BT)



Button Terminal



Low Profile Terminal (LPT)



AP and Stud Terminal (DT)



Dual Wingnut Terminal (DWNT)



Marine Dual Terminal (APW)



Stud Terminal



Universal Terminal (UT)



Wingnut Terminal (WNT)

Photos are for reference only.

AVAILABLE FROM TROJAN MASTER DISTRIBUTORS WORLDWIDE



*For a Master Distributor near you, call 800-423-6569 or 562-946-8381
or visit www.trojanbattery.com.
Clean energy for life™*

Xantrex™ GT Series Grid Tie Solar Inverters



The Xantrex™ Grid Tie Solar Inverter (GT Series) is designed to convert photovoltaic (PV) electricity produced by solar modules into utility-grade power that can be used by the home or sold to the local electrical utility. Offering high efficiency (up to 96.0 %), clean aesthetics, high reliability, and a low installed cost, through ease of installation and integrated features, the GT Series is a proven, high-frequency design in a compact enclosure.

The GT Series may be installed as a single inverter, for a single PV array, or in a multiple-inverter configuration for large PV systems.

Technology

- ▶ An NEC compliant, integrated DC/AC disconnect, standard in the GT Series, eliminates the need for external DC (PV) disconnects, and in some jurisdictions, AC disconnects
- ▶ Large heat-sink offers extraordinary heat dispersion without the need for a cooling fan
- ▶ Liquid crystal display (LCD) provides instantaneous information – power level, daily and lifetime energy production, PV array voltage and current, utility voltage and frequency, time online “selling”, fault messages, and installer-customized screens
- ▶ LCD vibration sensor allows the tap of a finger to turn backlight on and cycle through display screens

Installation

- ▶ Flexible module selection and sizing due to wide PV input MPPT tracking voltage range
- ▶ Lightweight and versatile mounting bracket
- ▶ Easy access DC (photovoltaic) and AC (utility) terminal block simplifies wiring
- ▶ Rugged NEMA 3R inverter enclosure allows reliable indoor and outdoor installations

Performance

- ▶ Best-in-class efficiency to maximize solar system return on investment
- ▶ Accurate MPPT tracking ensures maximum energy harvest under any conditions
- ▶ FCC Part B compliance provides less external electronic interference

Serviceability

- ▶ 10-year standard warranty
- ▶ Sealed inverter enclosure can be quickly separated from the wiring box allowing DC/AC connections to remain intact in the unlikely event the inverter needs to be serviced



Standard
10-year
warranty



Xantrex Technology Inc.

Customer Service/Technical Support

customerservice@xantrex.com

Toll free: 1-800-670-0707

www.xantrex.com

Xantrex™ GT Series Grid Tie Solar Inverters

Electrical Specifications - Output

Models	GT5.0		GT4.0N		GT3.8		GT3.3N		GT2.8	
Maximum AC power output	5000 W	4500 W	4000 W	3800 W	3800 W	3500 W	3300 W	3100 W	2800 W	2700 W
AC output voltage (nominal)	240 V	208 V	240 V	208 V	240 V	208 V	240 V	208 V	240 V	208 V
AC output voltage range	211-264 Vac 183-229 Vac									
AC frequency (nominal)	60 Hz									
AC frequency range	59.3 - 60.5 Hz									
Maximum continuous output current	21 A	22 A	16.7 A	18.3 A	15.8 A	16.8 A	13.8 A	14.9 A	11.7 A	13.0 A
Maximum output over-current protection	30 A		25 A		20 A	25 A	20 A		15 A	
Maximum utility backfeed current	0 A									
Total harmonic distortion (THD)	< 3 %									
Power factor	> 0.99 (at rated power), > 0.95 (full power range)									
Utility monitoring, islanding protection	UL1741-2005 / IEEE 1547									
Output characteristics	Current source									
Output current waveform	True sine wave									

Electrical Specifications - Input

Maximum array open-circuit voltage	600 Vdc									
MPPT voltage range (CEC & CSA)	240 - 550 Vdc		240 - 480 Vdc		195 - 550 Vdc		200 - 400 Vdc		195 - 550 Vdc	
MPPT operating range	235 - 550 Vdc		235 - 550 Vdc		195 - 550 Vdc		200 - 550 Vdc		193 - 550 Vdc	
Maximum input current	22.0 Adc	20.0 Adc	18.0 Adc	17.0 Adc	20.8 Adc	19.5 Adc	17.5 Adc	16.5 Adc	15.4 Adc	14.9 Adc
Maximum array short-circuit current	24.0 Adc									
Reverse-polarity protection	Short-circuit diode									
Ground-fault protection	GF detection, IDIF > 1 A									
Maximum inverter efficiency	95.9%	95.5%	96.0%	95.7%	95.9%	95.6%	95.9%	95.6%	95.0%	94.6%
CEC efficiency	95.5%	95.0%	95.5%	95.0%	95.0%	95.0%	95.5%	95.0%	94.0%	93.5%
Night-time power consumption	1 W									

Environmental Specifications

Operating temperature range	-13°F to 149°F (-25°C to 65°C)									
Enclosure type	NEMA 3R (outdoor rated)									
Inverter weight	58.0 lb (25.8 kg)		58.0 lb (25.8 kg)		58.0 lb (25.8 kg)		49.0 lb (22.2 kg)		49.0 lb (22.2 kg)	
Shipping weight	65.0 lb (27.2 kg)		65.0 lb (27.2 kg)		65.0 lb (27.2 kg)		57.0 lb (25.9 kg)		57.0 lb (25.9 kg)	
Inverter dimensions (H x W x D)	28 1/2 x 16 x 5 3/4" (72.4 x 40.3 x 14.5 cm)									
Shipping dimensions (H x W x D)	34 x 20 1/2 x 10 5/16" (86.6 x 51.8 x 26.2 cm)									

Mechanical Specifications

Mounting	Wall mount (mounting bracket included)									
Input and output terminal	AC and DC terminals accept wires sizes of #14 to #6 AWG									
PV / Utility disconnect	Eliminates need for external PV (DC) disconnect. Complies with NEC requirements									
Cooling	Convection cooled, fan not required									
Display	Backlit, two-line, 16-character liquid crystal display provides instantaneous power, daily and lifetime energy production, PV array voltage and current, utility voltage and frequency, time online "selling", fault messages, and installer-customizable screens									
Communications	Integrated RS232 and Xantrex™ RJ45 communication ports									
Wiring box	PV, utility, ground, and communications connections. The inverter can be separated from the wiring box.									
Warranty	10-year standard									
Model number (negative ground)	GT5.0-NA-240/208 UL-05		GT4.0N-NA-240/208 UL-05		GT3.8-NA-240-/208 UL-05		GT3.3N-NA-240/208 UL-05		GT2.8-NA-240/208 UL-05	
Part number (negative ground)	864-1009		864-1008		864-1032		864-1006		864-1001	
	Positive ground inverters are also available									

Regulatory Approvals

Certified to UL1741 1st Edition: 2005 version CSA 107.1-01 CSA 2 C22.2 No.107-1-01 general use power power supplies.