

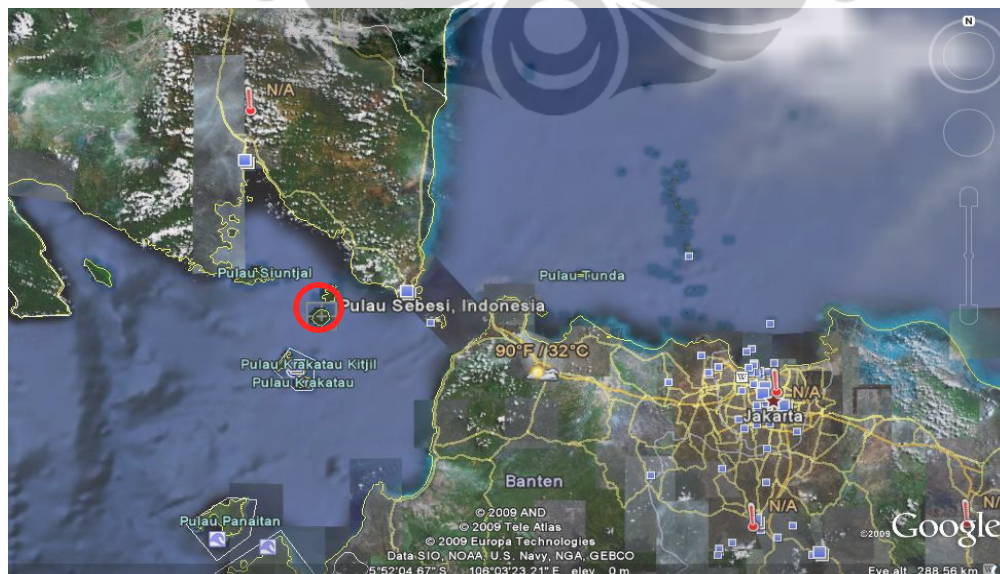
BAB 3

STUDI IMPLEMENTASI PLTH DI PULAU SEBESI LAMPUNG SELATAN

3.1 Kondisi Geografi dan administrasi

Pulau Sebesi terletak di Teluk Lampung dan dekat Gunung Krakatau (Pulau Rakata) tepatnya pada posisi $05^{\circ}55'37.43''$ - $05^{\circ}58'44.48''$ LS dan $105^{\circ}27'30.50''$ - $105^{\circ}30'47.54''$ BT. Pulau Sebesi termasuk dalam wilayah administrasi Desa Tejang Pulau Sebesi Kecamatan Raja Basa Kabupaten Lampung Selatan. Desa Tejang Pulau Sebesi terdiri dari empat dusun yaitu; Dusun I Bangunan, Dusun II Inpres, Dusun III Regahan Lada, dan Dusun IV Segenom. Luas wilayah Pulau Sebesi adalah 2620 ha dengan panjang pantai 19,55 km. ^[9]

Sebagian besar daratan Pulau Sebesi tersusun dari endapan gunung api muda dan merupakan daratan perbukitan. Bukit tertinggi di Pulau Sebesi mencapai 884 meter dari permukaan laut dengan bentuk kerucut yang mempunyai tiga puncak. Akses menuju Pulau Sebesi adalah dari pelabuhan Canti yang ada di Kalianda Lampung Selatan. Transportasi dari Canti ke Pulau Sebesi menggunakan perahu motor (ojek) yang berangkat satu kali dalam sehari. Selain dari Canti, ke Pulau Sebesi juga dapat ditempuh dari Cilegon, Provinsi Banten dengan menggunakan perahu motor yang biasanya mengangkut kelapa dan kopra.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Pulau Sebesi

Sumber : google earth. (2009)

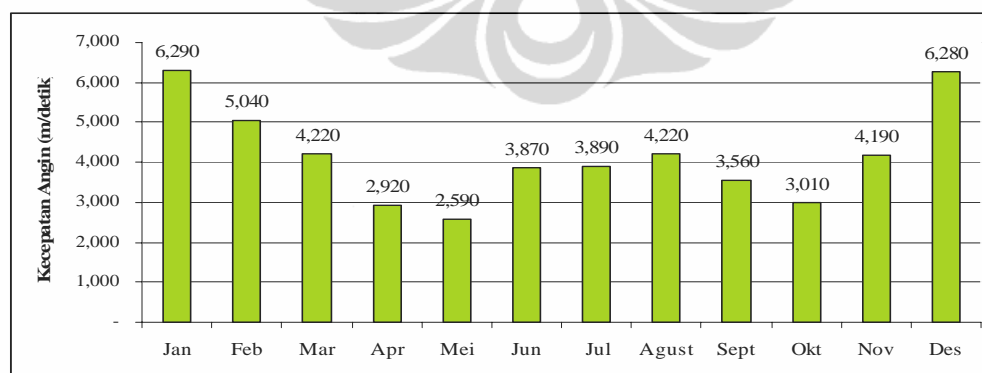
Sebagian daratan Pulau Sebesi tersusun dari endapan gunung api muda yang terdiri dari lava (andesit-basal), breksi, dan tuf. Pantai Timur Pulau Sebesi tersusun dari formasi alluvium yang terdiri dari : kerakal, kerikil, lempung, dan gambut. Pulau Sebesi memiliki lokasi bahan galian jenis besi di kaki Gunung Sebesi di wilayah Segenom dan memiliki batu-batuan (dalam ukuran besar) yang tersusun rapi dan diduga berasal dari letusan gunung berapi .^[10]

3.2 Kondisi Meteorologi dan Kelistrikan

Kondisi meteorologi dan oseanografi di Pulau Sebesi tidak begitu berbeda dengan kondisi meteorologi dan oseanografi Teluk Lampung. Angin yang bertiup di sekitar Pulau Sebesi merupakan angin musim yang berubah arah dua kali dalam setahun dengan rata-rata kecepatan 3 – 7 m/detik. Rata-rata curah hujan di sekitar Pulau Sebesi adalah 230 mm dengan jumlah hari hujan 11 kali. Rata-rata suhu bulanan sebesar 28,5°C dengan perbedaan suhu maksimum dan minimum sebesar 11,8°C

3.2.1 Angin

Berdasarkan data yang didapat melalui situs internet www.weatherbase.com rata-rata kecepatan angin di Pulau Sebesi diukur dengan ketinggian 10 meter dari permukaan tanah adalah 4,17 m/s^[11]. Data kecepatan angin Pulau Sebesi selama satu tahun dapat dilihat pada gambar 3.2.



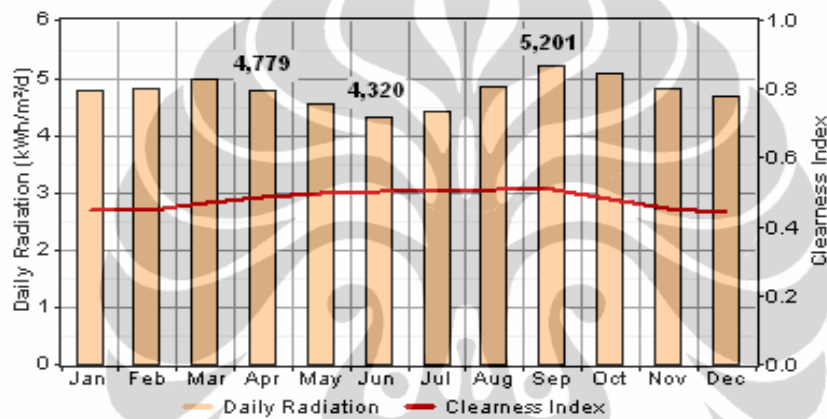
Gambar 3.2 Kecepatan Angin Rata – Rata di Pulau Sebesi

Sumber : www.weatherbase.com. (2009).

3.2.2 Potensi Radiasi Matahari

Data yang diperlukan HOMER untuk melakukan optimasi sistem pembangkit tenaga listrik adalah clearness index dan daily radiation (kWh/m²/day) selama satu

tahun di Pulau Sebesi. Data indeks kecerahan (*Clearness Index*) dan radiasi sinar matahari (*Solar Radiation*) adalah rata-rata global radiasi matahari pada permukaan horisontal, dinyatakan dalam kWh/m², untuk setiap hari dalam tahun. *Clearness Index* rata – rata sebesar 0.477 dan *daily radiation* rata – rata untuk di Pulau Sebesi adalah 4.761 kWh/m²/day. Sumber data dapat diperoleh dengan pengukuran langsung atau melalui bantuan HOMER yang akan menghubungkan ke satelit NASA melalui koneksi internet dengan memberikan letak lintang dan bujur lokasi penelitian^[12]. Gambar berikut adalah data *clearness index* dan *daily radiation*.



Gambar 3.3 *Clearness Index* dan *Solar Radiation* di Pulau Sebesi

Sumber : <http://eosweb.larc.nasa.gov>. (2009)

3.2.3 Kondisi Kelistrikan

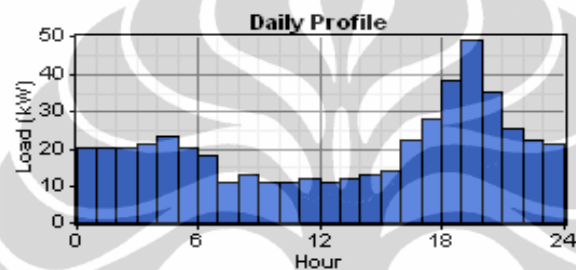
Kebutuhan listrik di pulau Sebesi hanya disuplai oleh PLTD dengan kapasitas 40 kW dan 50 kW dari pukul 16.00 hingga pukul 00.00 dengan beban puncak sebesar 49 kW. Apabila suplai listrik terputus, maka tidak ada listrik sama sekali di pulau tersebut. Pulau Sebesi termasuk pulau terpencil, untuk mencapainya harus menggunakan kapal perintis yang hanya beroperasi 1 kali dalam sehari, hal ini menyebabkan pasokan bahan bakar termasuk solar pun langka sehingga harganya menjadi sangat mahal.

Model PLTH di Pulau Sebesi akan disimulasikan dengan kurva beban harian dan beban *deferrable*. Data beban utama berupa data beban harian di Pulau Sebesi yang diperoleh dari PT. PLN Persero Wilayah Lampung Cabang Tanjung Karang Ranting Kalianda. Sedangkan data beban *deferrable* adalah beban pompa yang akan ditambahkan pada sistem pembangkit listrik tenaga hibrida.

- **Beban Harian**

Beban utama disini berupa beban untuk konsumsi rumah tangga yang sebagian besar adalah penerangan, TV, dan lain-lain. Beban rata – rata harian untuk Pulau Sebesi sebesar 490 kWh/hari dengan beban puncaknya sebesar 49 kW terjadi pada jam 19.00 – 20.00.^[13]

Data yang diperoleh dari PT. PLN Persero Wilayah Lampung Cabang Tanjung Karang Ranting Kalianda adalah data beban harian selama 8 jam, gambar berikut adalah kurva beban harian yang diprediksikan sesuai dengan kebutuhan penduduk di Pulau Sebesi.

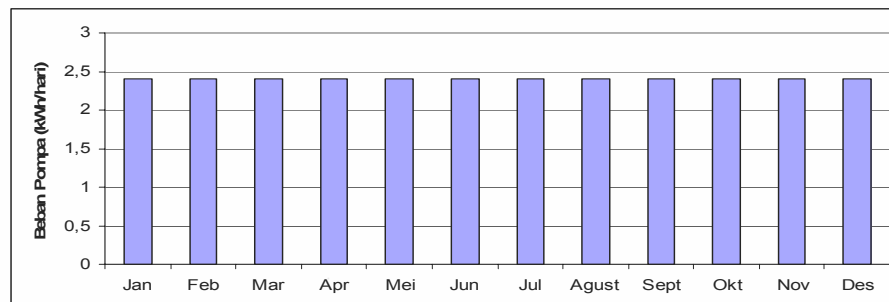


Gambar 3.4 Kurva Beban Harian Pulau Sebesi

Sumber : HOMER, NREL

- **Data Beban Teralihkan (*Deferrable Load*)**

Untuk memenuhi konsumsi air bersih dan keperluan lainnya, maka ditambahkan pompa sebagai beban teralihkan pada disain sistem PLTH. Beban ini adalah berupa pompa air dengan beban puncak sebesar 400 watt beroperasi selama 6 jam setiap hari. Dengan batas perbandingan minimum pembebanan sebesar 50%, maka energi yang dikonsumsi pompa rata – rata perhari untuk mengisi bak penampungan sebesar 2.4 kWh/hari dengan total kapasitas bak penampungan 4.8 kWh. Gambar berikut ini adalah profil beban pompa sebagai beban teralihkan.



Gambar 3.5 Profil Beban Bulanan Pompa

Sumber : HOMER, NREL

3.3. Perangkat Lunak HOMER

Perangkat lunak HOMER adalah suatu perangkat lunak yang digunakan untuk optimasi model sistem pembangkit listrik skala kecil (micropower), perangkat lunak ini mempermudah evaluasi desain sistem pembangkit listrik untuk berbagai jenis pembangkit listrik skala kecil baik yang tersambung ke jaringan listrik atau pun tidak. Perangkat lunak ini melakukan perhitungan keseimbangan energi ini untuk setiap konfigurasi sistem yang akan dipertimbangkan. Kemudian menentukan konfigurasi yang layak, apakah dapat memenuhi kebutuhan listrik di bawah kondisi yang ditentukan, perkiraan biaya instalasi dan sistem operasi selama masa proyek. Sistem perhitungan biaya seperti biaya modal, penggantian, operasi dan pemeliharaan, bahan bakar, dan bunga.^[14]

Perangkat lunak ini bekerja berdasarkan tiga langkah utama, yaitu simulasi, optimasi dan analisis sensitifitas.

- **Simulasi**

Perangkat lunak ini akan mensimulasikan pengoperasian sistem pembangkit listrik tenaga hibrida dengan membuat perhitungan keseimbangan energi selama 8.760 jam dalam satu tahun. Untuk setiap jam, HOMER membandingkan kebutuhan listrik ke sistem energi yang dapat memasok dalam jam tersebut, dan menghitung energi yang mengalir dari dan ke setiap komponen dari sistem. Untuk sistem yang mencakup baterai atau bahan bakar - powered generator, HOMER juga memutuskan jam operasi generator, apakah akan dikenakan biaya atau mengosongkan baterai.

- **Optimasi**

Setelah disimulasi, tahapan selanjutnya adalah mengoptimasi semua kemungkinan sistem konfigurasi kemudian diurutkan berdasarkan Nilai Sekarang Bersih (Net Present Value) yang dapat digunakan untuk membandingkan sistem desain pilihan.

- **Analisis Sensitivitas**

Ketika variabel sensitivitas ditambahkan, HOMER mengulangi proses optimasi untuk setiap sensitivitas variabel yang menentukan. Misalnya, jika ditetapkan kecepatan angin sebagai sensitivitas variabel, HOMER akan mensimulasikan sistem konfigurasi untuk berbagai kecepatan angin yang telah ditetapkan.

Kelebihan perangkat lunak ini adalah penggunaannya mudah, bisa mensimulasi, mengoptimasi suatu model kemudian secara otomatis bisa menemukan konfigurasi sistem optimum yang bisa mensuplai beban dengan biaya sekarang terendah (NPC), dan bisa menggunakan parameter sensitifitas untuk hasil yang lebih bagus.

Sedangkan kelemahannya adalah perangkat lunak ini keluaran utamanya berupa parameter ekonomi (NPC, COE) bukan model sistem yang terperinci, dan beberapa teknologi energi terbarukan masih belum bisa disimulasikan dengan perangkat lunak ini.

3.3.1 Perhitungan Data

Persamaan-persamaan berikut ini digunakan sebagai dasar perhitungan energi yang disuplai oleh pembangkit energi terbarukan, pengisian baterai dan pengosongan baterai serta perhitungan total nilai bersih sekarang (Total Net Present Cost, TNPC) [14].

Persamaan Daya Pembangkit Tenaga Bayu

$$P_w = \eta_w * \eta_g * 0.5 * \rho_a * C_p * A * V_r^3 \quad (3.1)$$

Persamaan Daya Pembangkit Tenaga Surya

$$P_{pv} = \eta_{pv} * \eta_g * N_{pvp} * N_{pvs} * V_{pv} * I_{pv} \quad (3.2)$$

Persamaan Total Daya Pembangkit Tenaga Terbarukan

$$P(t) = \sum_{w=1}^{n_w} P_w + \sum_{s=1}^{n_s} P_s \quad (3.3)$$

Persamaan Pengosongan Baterai

$$P_b(t) = P_b(t-1) * (1 - \sigma) - [P_{bh}(t) / \eta_{bi} - P_{bi}(t)] \quad (3.4)$$

Persamaan Pengisian Baterai

$$P_b(t) = P_b(t-1) * (1 - \sigma) [P_{bh}(t) - P_{bi}(t) / \eta_{bi}] * \eta_{bb} \quad (3.5)$$

Dengan :

- I_{pv} adalah arus panel PV
- P_b adalah energi baterai dalam interval waktu
- P_{bh} adalah total energi yang dibangkitkan oleh PV array
- σ adalah faktor pengosongan sendiri baterai
- P_{bi} total beban pada interval waktu
- η_{bb} Efisiensi baterai

3.3.3.1 Biaya Net Total Masa Kini (Total Net Present Cost)

Biaya Net Total Masa Kini (Total Net Present Cost ; NPC) adalah keluaran ekonomi yang paling utama untuk nilai suatu sistem PLTH, HOMER akan mengurutkan data hasil keluaran simulasi dan optimasi berdasar nilai NPC terendah. Total NPC dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i, R_{proj})} \quad (3.6)$$

Dengan :

- $C_{ann,tot}$ adalah total biaya tahunan (\$/tahun)
- $CRF()$ adalah faktor penutupan modal
- i adalah suku bunga (%)
- R_{proj} adalah lama waktu suatu proyek
- N adalah jumlah tahun

Sedangkan faktor penutupan modal bisa didapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (3.7)$$

3.3.3.2 Syarat Batas Biaya Energi (Levelized Cost of Energy)

levelized cost of energy (COE) didefinisikan sebagai biaya rata per kWh produksi energi listrik yang terpakai oleh sistem. Untuk menghitung COE, biaya produksi energi listrik tahunan dibagi dengan total energi listrik terpakai yang diproduksi, dengan persamaan sebagai berikut :

$$COE = \frac{C_{ann,tot} - C_{boiler} E_{thermal}}{E_{prim,AC} + E_{prim,DC} + E_{def} + E_{grid,sales}} \quad (3.8)$$

Dengan :

$C_{ann,tot}$	adalah biaya total sistem tahunan (\$/tahun)
C_{boiler}	adalah margin biaya boiler (\$/kWh)
$E_{thermal}$	adalah Total beban thermal yang terpenuhi (kWh/tahun)
$E_{prim,AC}$	adalah beban AC utama yang terpenuhi (kWh/tahun)
$E_{prim,DC}$	adalah beban DC utama yang terpenuhi (kWh/tahun)
E_{def}	adalah beban deferrable yang terpenuhi (kWh/tahun)
$E_{grid,sales}$	adalah total penjualan grid (kWh/tahun)

3.3.3.3 Perhitungan Emisi

HOMER menggunakan rumus berikut untuk menghitung penalti emisi sistem PLTH.

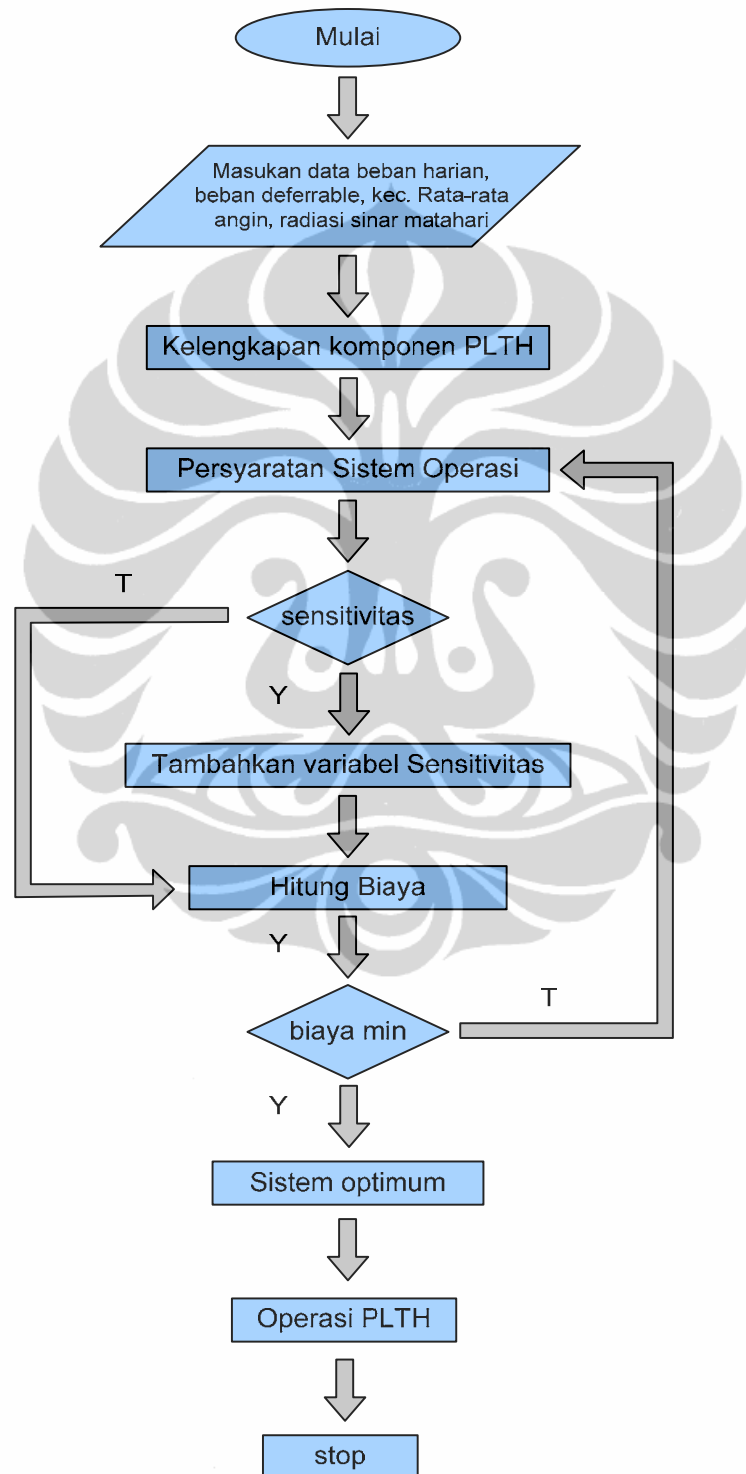
$$C_{emisi} = \frac{c_{CO_2} M_{CO_2} + c_{CO} M_{CO} + c_{UHC} M_{UHC} + c_{PM} M_{PM} + c_{SO_2} M_{SO_2} + c_{NO_x} M_{NO_x}}{1000} \quad (3.9)$$

Dengan :

c_{CO_2}	penalti emisi CO ₂ (\$/ton)
c_{CO}	penalti emisi CO (\$/ton)
c_{UHC}	penalti emisi UHC (\$/ton)
c_{PM}	penalti emisi PM (\$/ton)
c_{SO_2}	penalti emisi SO ₂ (\$/ton)
c_{NO_x}	penalti emisi NO _x (\$/ton)
M_{CO_2}	emisi CO ₂ (kg/tahun)
M_{CO}	emisi CO (kg/tahun)
M_{UHC}	emisi UHC (kg/tahun)
M_{PM}	emisi PM (kg/tahun)
M_{SO_2}	emisi SO ₂ (kg/tahun)
M_{NO_x}	emisi NO _x (kg/tahun)

3.4 Studi Implementasi PLTH Pulau Sebesi

studi ini menggunakan bantuan PL HOMER dengan algoritma seperti terlihat pada gambar berikut :



Gambar 3.6. Diagram Alir Simulasi dan Optimasi PLTH

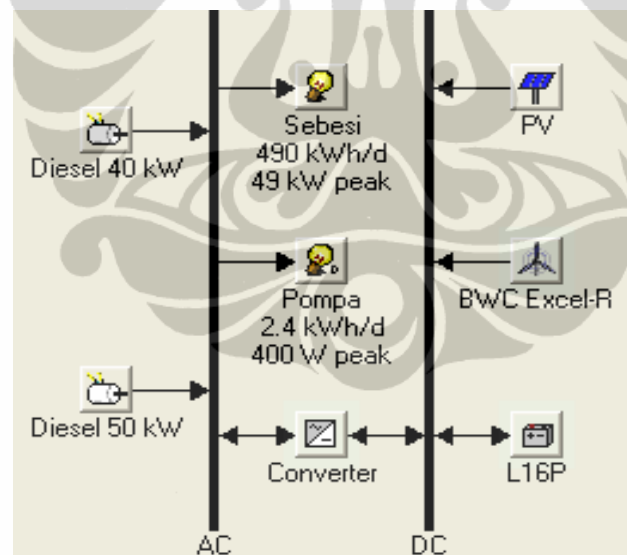
3.4.1 Metode Simulasi dan Optimasi

Untuk optimasi disain sistem PLTH ini dibuat dua kondisi dengan mengikuti kurva beban harian, yaitu :

- kondisi pertama simulasi dijalankan untuk mengetahui kondisi awal sistem pensuplaian beban di Pulau Sebesi dengan menggunakan 2 unit PLTD kapasitas 40 kW dan 50 kW.
- kondisi kedua simulasi dijalankan dengan menambahkan batas minimum kontribusi PLTS dan PLTB adalah 0%.

3.4.2 Model PLTH Pulau Sebesi

Model PLTH yang akan disimulasi dan dioptimasi terdiri dari panel surya (photovoltaik), turbin angin, diesel generator 40 kW, 50 kW, inverter dan baterai. Gambar berikut adalah model PLTH yang akan disimulasi dan dioptimasi oleh HOMER.



Gambar 3.7 Model Sistem PLTH Pulau Sebesi

Sumber : HOMER, NREL

3.4.3 Komponen-komponen penyusun PLTH

Komponen-komponen penyusun PLTH terdiri dari panel photovoltaic, turbin angin, generator diesel, inverter dan baterai. Semua harga yang digunakan pada simulasi ini didapat dari situs internet yang diakses pada bulan April 2009.

- **Modul Surya**

Modul surya terdiri dari 10 modul yang tersusun seri dan diparalelkan, kapasitas tiap-tiap modul surya adalah 60 Wp. Harga untuk 12 kWp modul surya adalah \$ 66.000^[15], biaya penggantian \$ 66.000, biaya operasional dan pemeliharaan dengan diasumsikan \$ 400 pertahun, masa pakai modul surya selama 25 tahun.

Data spesifikasi Modul MSX-60 :

Panjang	: 43,63 inch
Lebar	: 19,75 inch
Daya maksimum (Ppp)	: 64 W
Tegangan saat daya maksimum (Vpp)	: 17 V
Tegangan saat daya maksimum (Ipp)	: 3,5 A

- **Turbin Angin**

Turbin angin yang digunakan adalah type BWC Excel-R dengan daya nominal 7,5 kW DC. Biaya modal untuk 1 unit turbin angin 7,5 kW DC adalah sebesar \$ 39.745^[16], biaya penggantian \$ 26.845, biaya operasi dan pemeliharaan diasumsikan sebesar \$ 1000 pertahun. Masa pakai turbin angin selama 15 tahun, pemasangan turbin angin di ketinggian 20 meter dari permukaan tanah.

- **Generator Diesel**

Generator Diesel yang digunakan adalah dua unit generator diesel dengan kapasitas 40 kW dan 50 kW. Waktu operasi untuk masing – masing generator diperkirakan 15.000 jam dan pembebanan minimumnya adalah 30 %. Untuk generator diesel kapasitas 40 kW biaya investasi sebesar \$ 22.000^[17], biaya penggantian \$ 18.000, biaya operasi dan pemeliharaan perhari diasumsikan sebesar \$ 0,07 untuk generator diesel kapasitas 40 kW sedangkan untuk generator diesel kapasitas 50 kW biaya investasi sebesar \$ 27.000, biaya penggantian \$ 22.000, biaya operasi dan pemeliharaan perhari sebesar \$ 0.72 untuk generator diesel kapasitas 50 kW

- **Inverter**

Inverter yang digunakan adalah *Bidirectional Inverter (Inverter – Rectifier)* tipe XW4024 dengan efisiensi inverter sebesar 90%, lama waktu pengoperasiannya 10 tahun. Sedangkan efisiensi Rectifier adalah 85 % capacity relative to inverter sebesar 100%. Biaya investasi untuk Bidirectional inverter untuk 8 kW sebesar \$ 5.960^[18],

biaya penggantian sebesar \$ 5.960 dan biaya operasi dan pemeliharaan pertahun diasumsikan sebesar \$ 596.

- **Baterai**

Baterai yang digunakan adalah baterai *lead acid* type L16P, biaya investasi untuk baterai ini sebesar \$ 620^[19], biaya penggantian sebesar \$ 620 dan biaya operasi dan pemeliharaan pertahun diasumsikan sebesar \$ 50. Karakteristik baterai *lead acid* adalah sebagai berikut :

Kapasitas nominal	360 Ah
Tegangan nominal	6 V
Efisiensi	85 %
Minimum state of charge	30 %
Waktu pakai	10 tahun
Arus pengisian maksimum	18 A

3.4.4 Variabel Sensitivitas

- Sensitivitas kecepatan angin berkisar antara 3 m/detik – 7 m/detik, ditetapkan berdasarkan data kecepatan angin rata – rata di Pulau Sebesi yang diperoleh dari situs www.weatherbase.com pada bulan April 2009.
- Sensitivitas harga bahan bakar antara 0,4 – 1 \$/liter, ditetapkan berdasarkan harga nyata bahan bakar di Pulau Sebesi pada bulan April 2009.

3.4.5 Batasan – Batasan Pengoperasian PLTH

- Batasan ekonomi yang digunakan untuk semua perhitungan ketika sistem PLTH disimulasikan adalah *annual real interest rate* 8%, jangka waktu proyek 25 tahun,
- *Dispatch strategy* yang digunakan adalah cycle charging dengan *setpoint state of charge* 80%, *maximum annual capacity shortage* 0%.
- untuk pengaturan generatornya sistem diizinkan beroperasi dengan beberapa generator dan sistem juga diizinkan untuk mengoperasikan generator dibawah beban puncak
- Sistem operasi PLTH yang digunakan adalah sistem PLTH Paralel.

Setelah melalui langkah – langkah diatas, HOMER akan mensimulasi dan mengoptimasi model PLTH yang telah ditentukan.