

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Karimun Jawa adalah suatu pulau di bagian utara dari Kota Jepara, Jawa Tengah yang berpotensi besar di dalam pariwisata. Banyak wisatawan lokal maupun mancanegara berkunjung ke pulau tersebut. Pemandangan bawah laut yang memukau dan sangat memanjakan mata bagi siapa pun yang mengunjungi pulau tersebut dan banyaknya pantai pantai alami yang masih bersih yang siap dinikmati oleh pelancong. Pulau yang mempunyai luasan kurang lebih 78 km² ini mempunyai dua pulau besar yaitu Karimun Jawa (2700 ha) dan Kemojan (1400 ha). Di daerah tersebut banyak potensi - potensi pembangkit tenaga listrik alternatif yang diharapkan digunakan untuk mensuplai energi listrik para penduduk yang berjumlah sekitar 9000 jiwa tersebut. Diantaranya ada sumber energi alternatif angin, cahaya, dan pasang surut air laut.

Di daerah tersebut menggunakan PLTD. Jenis pembangkit yang menggunakan bahan bakar *fossil* ini yang sementara ini mensuplai daya listrik pada pulau tersebut. Bahan bakar *fossil* memang cara yang mudah dan murah dalam membangkitkan tenaga listrik belakangan ini, tetapi semakin lama bahan bakar ini akan cepat habis apabila digunakan terus menerus. PLTD disana sebenarnya cukup untuk mensuplai konsumsi listrik yang dibutuhkan oleh penduduk, tetapi karena semakin lama mahalnya biaya bahan bakar untuk PLTD ke daerah tersebut dan semakin meningkatnya pertumbuhan penduduk, maka suplai daya yang didistribusikan hanya 12 jam saja yaitu pada pukul 16.00 sampai dengan 06.00 WIB.

Untuk mendukung kebutuhan listrik yang ada disana bisa dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan (*renewable*) yang ada di daerah tersebut. Potensi angin disana cukup besar untuk dapat digunakan dalam pembangkitan listrik. Karena daerah tersebut berlokasi di daerah pesisir pantai yang memungkinkan angin berhembus kencang.

Studi analisis pembangkit listrik tenaga angin ini diharapkan dapat menjadi solusi terbaik untuk membantu suplai daya dan mengurangi pemakaian bahan bakar *fossil* di pulau tersebut. Selain cocok dengan kontur lokasinya, pembangkitan ini juga ramah lingkungan sehingga tetap bisa menjaga ekosistem biota laut yang selama ini menjadi ujung tombak mata pencaharian disana.

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis potensi angin yang ada di pulau tersebut dan menggabungkan kedua jenis pembangkit yang ada disana (PLTD) dengan

pembangkit listrik tenaga angin dengan sistem hybrid yang diharapkan dapat memenuhi kebutuhan daya listrik penduduk dan mengurangi penggunaan bahan bakar *fossil* .

1.2 Rumusan Masalah

Bahasan yang dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berapa besar daya beban tersambung dan pemakaian energi di Pulau Karimun Jawa.
2. Berapa besar potensi daya yang bisa dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin di Pulau Karimun Jawa.
3. Bagaimana perencanaan pembangkit hybrid (Diesel-Angin) di daerah Karimun Jawa.
4. Berapa perbandingan *cost-analysis* bahan bakar dari PLTD dengan PLTHybrid

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini tidak membahas tentang sistem keamanan alat
2. Penelitian ini tidak membahas tentang bangunan sipil
3. Penelitian ini tidak membahas tentang pengontrolan alat
4. Penelitian ini lebih menekankan pada sistem konfigurasi pembangkit hybrid (Diesel-Angin)
5. Penelitian ini membahas pemakaian pola beban selama 12 jam
6. Penelitian ini hanya membahas perhitungan yang berhubungan dengan *software* HOMER

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis besar daya beban tersambung dan pemakaian energi di Pulau Karimun Jawa.
2. Menganalisis besar potensi daya yang bisa dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin di daerah Karimun Jawa.
3. Menganalisis perencanaan sistem hybrid (Diesel-Angin) di daerah Karimun Jawa
4. Menganalisis perbandingan besar *cost-analysis* bahan bakar dari PLTD dengan PLTHybrid

1.5 Sistematika Pembahasan

Penelitian ini disusun dengan urutan sebagai berikut:

BAB I : Pendahuluan

Berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, ruang lingkup, tujuan dan sistematika penulisan

BAB II : Tinjauan Pustaka

Berisi dasar teori yang digunakan untuk dasar penelitian yang dilakukan dan untuk mendukung permasalahan yang diungkapkan.

BAB III : Metodologi Penelitian

Berisi metode penelitian yang akan dilakukan yang meliputi studi literatur, tempat penelitian, waktu penelitian, peralatan yang digunakan untuk penelitian, model rangkaian penelitian, langkah penelitian dan teknik pengumpulan data.

BAB IV : Data dan Analisis Hasil Penelitian

Berisi analisa serta pembahasan terhadap masalah yang diajukan dalam skripsi

BAB V : Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan dari tujuan penelitian yang akan dibuat serta saran dari penulis

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Energi

Energi adalah kemampuan melakukan kerja. Disebut demikian karena setiap kerja yang dilakukan sekecil dan seringnya apapun tetap menggunakan energi. Pada saat energi digunakan untuk melakukan usaha, energi hanya berubah bentuk dikarenakan energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan namun hanya dapat diubah bentuk dari energi satu ke energi yang lain.

Sumber daya energi primer pada dasarnya semua berasal proses alamiah yang terjadi akibat dari pancaran radiasi energi dari matahari. Pada energi primer, dapat dibagi menjadi 2 (dua) jenis, yaitu : (Wibawa,2001, 13)

- a. Energi Tidak Terbarukan (*unrenewable energy*), yaitu yang dikenal pula dengan istilah energi fosil, adalah jenis sumber daya energi primer yang habis dipakai, dan tidak dapat diperbaharui lagi, baik secara alamiah maupun dengan bantuan teknologi. Termasuk disini antara lain: minyak bumi, batubara, dan gas alam.
- b. Energi Terbarukan (*renewable energy*), yaitu yang dikenal pula dengan istilah energi regeneratif, adalah jenis sumber daya energi primer yang tidak habis dipakai, dalam artian dapat diperbaharui lagi, baik secara alamiah maupun dengan bantuan teknologi (regenerasi). Termasuk disini antara lain: matahari, air, angin, *geothermal*, biomassa, dan biogas.

Dalam hal ini manusia berupaya mengembangkan iptek demi memanfaatkan sumber energi yang ada secara optimal dengan proses konversi dari sumber daya energi primer menjadi energi sekunder.

2.2. Konversi Energi

Konversi energi adalah proses perubahan bentuk energi satu ke bentuk energi yang lainnya, misal adalah dari energi primer dikonversi menjadi energi sekunder. Bentuk energi primer seperti : minyak bumi, gas alam, batu bara, angin, air dapat diubah bentuknya menjadi energi sekunder yang lebih mudah digunakan atau lebih mudah diangkut/dibawa seperti : bensin dari minyak bumi, listrik dari angin, air atau batu bara.

2.3. Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Pembangkit Listrik Tenaga Angin (*Wind Power*), adalah pembangkit energi listrik yang berdasarkan pada energi gerak angin yang dihasilkan oleh turbin. Pembangkit ini dinilai lebih efisien dibanding dengan pembangkit tenaga surya dalam menghasilkan listriknya.

Pada pembangkitan energi ini diperlukan lahan yang cukup luas dan produksi angin yang besar dan stabil untuk dapat meng-*install* pembangkit tersebut untuk dapat memutar *blade* atau baling-baling. Untuk menggerakkan *blade* atau baling-baling ini minimal diperlukan kecepatan angin 2 meter/detik dan untuk dapat menghasilkan energi listrik yang stabil sesuai kapasitas generatornya dibutuhkan kecepatan rata-rata sebesar 6 s/d 10 meter/detik. Pembangkitan energi angin ini bisa dilakukan untuk pembangkitan skala kecil, menengah, dan besar tergantung besar beban yang dibutuhkan dan kegunaannya. Pada pembangkitan ini dapat dinilai lebih efisien dari pada PLTS karena biaya investasi yang lebih murah dan daya yang dihasilkan dalam 1 jam bisa lebih besar. Untuk daerah yang cocok dalam pembangkitan ini adalah daerah pesisir pantai dan pegunungan.

2.3.1. Konversi Energi dari Tenaga Angin

Konversi listrik dapat diperoleh dari beberapa hal dan sumber daya alam, dalam hal ini membahas tentang konversi listrik dari tenaga angin. Konversi listrik dari tenaga angin ini diperoleh dari gerak/kecepatan angin sehingga menghasilkan energi gerak yang bisa dikonversi menjadi listrik melalui turbin.

Turbin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Asal dari turbin ini pada awalnya dibuat untuk kebutuhan petani dalam melakukan irigasi, penggilingan padi, dll. Pada saat ini turbin lebih banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik dengan menggunakan prinsip konversi energi dan memanfaatkan sumber daya alam (angin). Walaupun hingga saat ini pembangunan turbin angin masih belum mendominasi kebutuhan listrik dibanding dengan sumber pembangkit konvensional seperti : PLTD, PLTU, tetapi pengembangan akan sumber pembangkit angin ini terus dilakukan karena sumber pembangkit konvensional menggunakan energi *fossil* sebagai bahan dasar pembangkitan listrik.

Perhitungan daya yang dapat dihasilkan oleh sebuah turbin angin dengan luas daerah sapuan angin A adalah:

Berdasarkan dari A (luas sapuan angin) dan v (kecepatan angin), serta perubahan volume (ΔV) dengan panjang l , maka didapatkan : (Wagner, 2009, 17)

$$\Delta V = A \cdot \Delta l$$

$$v = \frac{\Delta l}{\Delta t}$$

$$\Delta V = A \cdot v \cdot \Delta t \dots\dots\dots(2-1)$$

Karena angin berasal dari energi kinetik, rumus dari energi kinetik adalah :

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

Maka dapat disubstitusikan menjadi :

$$E = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3 \cdot t \text{ Joule} \dots\dots\dots(2-2)$$

Dan didapatkan rumus daya pada turbin angin adalah :

$$P = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho_a \cdot v^3 \text{ Watt} \dots\dots\dots(2-3)$$

Dengan :

ρ_a : rapat massa udara, pada kondisi suhu $15^\circ \text{C} = 1,225 \text{ kg/m}^3$,
 suhu $0^\circ \text{C} = 1,293 \text{ kg/m}^3$, dan pada suhu $30^\circ \text{C} = 1,164 \text{ kg/m}^3$

v : kecepatan angin (m/s)

Untuk mengukur kecepatan angin dapat dilakukan dengan menggunakan alat-alat pengukur angin. Alat-alat tersebut adalah :

- a. Anemometer, yaitu alat untuk mengukur kecepatan angin
- b. Ind-vane, yaitu alat untuk mengetahui arah angin
- c. *Windstock*, yaitu alat untuk mengetahui arah angin dan memperkirakan kecepatan angin.

atau bisa dengan menggunakan tabel skala Beaufort :



Tabel 2.1 Tabel Skala Beaufort

Skala Beaufort	Kategori	Satuan dalam km/jam	Satuan dalam knots	Keadaan di daratan	Keadaan di lautan
0	Udara Tenang	0	0	Asap bergerak secara vertikal	Permukaan laut seperti kaca
1~3	Angin lemah	≤ 19	≤ 10	Angin terasa di wajah; daun-daun berdesir; kincir angin bergerak oleh angin	riuk kecil terbentuk namun tidak pecah; permukaan tetap seperti kaca
4	Angin sedang	20~29	11~16	mengangkat debu dan menerbangkan kertas; cabang pohon kecil bergerak	Ombak kecil mulai memanjang; garis-garis buih sering terbentuk
5	Angin segar	30~39	17~21	pohon kecil berayun; gelombang kecil terbentuk di perairan di darat	Ombak ukuran sedang; buih berarak-arak
6	Angin kuat	40~ 50	22~ 27	cabang besar bergerak; siulan terdengar pada kabel telepon; payung sulit digunakan	Ombak besar mulai terbentuk, buih tipis melebar dan puncaknya, kadang-kadang timbul percikan
7	Angin ribut	51~ 62	28 ~33	pohon-pohon bergerak; terasa sulit berjalan melawan arah angin	Laut mulai bergolak, buih putih mulai terbawa angin dan membentuk alur-alur sesuai arah angin
8	Angin ribut sedang	63~ 75	34~ 40	ranting-ranting patah; semakin sulit bergerak maju	Gelombang agak tinggi dan lebih panjang; puncak gelombang yang pecah mulai bergulung; buih yang terbasar anginnya semakin jelas alur-alurnya
9	Angin ribut kuat	76~ 87	41~ 47	kerusakan bangunan mulai muncul; atap rumah lepas; cabang yang lebih besar patah	Gelombang tinggi terbentuk buih tebal berlajur-lajur; puncak gelombang roboh bergulung-gulung; percik-percik air mulai mengganggu penglihatan
10	Badai	88~ 102	48~ 55	jarang terjadi di daratan; pohon-pohon tercabut; kerusakan bangunan yang cukup parah	Gelombang sangat tinggi dengan puncak memayungi; buih yang ditimbulkan membentuk tampal-tampal buih raksasa yang didorong angin, seluruh permukaan laut memutih; gelombang ombak menjadi dahsyat; penglihatan terganggu
11	Badai kuat	103 ~117	56~ 63	sangat jarang terjadi- kerusakan yang menyebar luas	Gelombang amat sangat tinggi (kapal-kapal kecil dan sedang terganggu pandangan karenanya), permukaan laut tertutup penuh tampal-tampal putih buih karena seluruh puncak gelombang menghamburkan buih yang terdorong angin; penglihatan terganggu
12+	Topan	≥118	≥64		Udara tertutup penuh oleh buih dan percik air; permukaan laut memutih penuh oleh percik-percik air yang terhanyut angin; penglihatan amat sangat terganggu

(Sumber : Tjasyono, 2007, Tabel 1)

Untuk dapat menghasilkan daya yang dibutuhkan perlu diketahui ukuran kecepatan angin. Adapun syarat-syarat dan kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kondisi Kecepatan Angin

Kelas Angin	Kecepatan Angin m/d	Kondisi Alam di Daratan
1	0.00 ~ 0.02	
2	0.3 ~ 1.5	angin tenang,Asap lurus ke atas.
3	1.6 ~ 3.3	asap bergerak mengikuti arah angin
4	3.4 ~ 5.4	wajah terasa ada angin, daun2 bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5.5 ~ 7.9	debu jalan, kertas beterbangan, ranting pohon bergoyang.
6	8.0 ~ 10.7	ranting pohon bergoyang, bendera berkibar.
7	10.8 ~ 13.8	ranting pohon besar bergoyang, air plumpang berombak kecil
8	13.9 ~ 17.1	Ujung pohon melengkung,hembusan angin terasa di telinga
9	17.2 ~ 20.7	dpt mamatahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin
10	20.8 ~ 24.4	dpt mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24.5 ~ 28.4	dpt merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28.5 ~ 32.6	menimbulkan kerusakan parah
13	32.7 ~ 36.9	tornado

(Sumber : Habibie, 2011, 183)

Ada batas maksimum dan minimum kecepatan angin untuk memanfaatkan sumber energi angin ini, yaitu : angin kelas 3 dengan kecepatan angin rata – rata antara 1,6–3,3 m/s sebagai batas minimum dan angin kelas 8 dengan kecepatan angin rata–rata antara 13,9–17,1 m/s sebagai batas maksimum.

2.3.2. Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa energi angin dapat dikonversi menjadi energi listrik, yaitu dengan memanfaatkan energi gerak yang dihasilkan oleh turbin. Energi gerak/mekanik tersebut diubah oleh perangkat–perangkat generator listrik, yaitu : (Wagner, 2009, 29)

a. *Rotor Blade*

Alat ini berfungsi sebagai penerima energi gerak/mekanik dari angin.

b. *Gearbox*

Alat ini berfungsi sebagai pengubah putaran rendah menjadi putaran tinggi pada kincir angin.

c. *Brake System*

Digunakan untuk menjaga putaran poros setelah *gearbox* agar bekerja pada titik aman saat terdapat angin besar. Alat ini perlu dipasang agar didapatkan energi listrik yang maksimal pada saat bekerja pada titik kerja yang ditentukan. Terkadang kehadiran angin yang terlalu kencang dapat menyebabkan putaran turbin yang terlalu kencang sehingga dapat merusak generatornya karena tidak dapat mengatasi putarannya. Dampak dari kerusakan akibat putaran yang terlalu kencang diantaranya : *overheat*, *rotor breakdown*, dan kawat pada generator putus karena tidak dapat menahan arus yang cukup besar.

d. *Generator*

Komponen ini adalah komponen terpenting dalam proses konversi energi angin kedalam energi listrik. Generator merubah energi gerak yang dihasilkan oleh angin menjadi energi listrik. Prinsip kerja generator dapat dipelajari dengan menggunakan teori elektromagnetik. Poros pada generator dipasang dengan material ferromagnetik permanen yang kemudian disekeliling poros terdapat stator (kumparan) yang membentuk *loop*. Ketika poros generator berputar maka akan terjadi perubahan fluks pada stator yang akhirnya akan menghasilkan arus dan tegangan listrik. Arus dan tegangan listrik ini disalurkan melalui kabel

jaringan untuk digunakan kepada masyarakat. Tegangan yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (*Alternating Current*) atau DC (*Direct Current*).

e. Penyimpan Energi (*Battery Storage*)

Alat ini berfungsi sebagai penyimpan energi listrik. Pada pembangkit listrik tenaga angin kadang-kadang ketersediaan angin tidak menentu, sehingga jumlah energi listrik yang dihasilkan tidak konstan ada. Ketika beban penggunaan daya listrik masyarakat meningkat atau kecepatan angin yang sedang menurun, maka kebutuhan permintaan akan daya listrik tidak terpenuhi. Oleh karena itu alat ini digunakan sebagai cadangan energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin ini. Sebagai contoh referensi alat penyimpan energi adalah aki. Apabila kita menggunakan aki ada beberapa kendala yaitu pada alat ini menggunakan sumber DC (*Direct Current*) untuk bisa me-*recharge*/mengisi ulang daya, sedangkan dari generator menghasilkan catu daya AC (*Alternating Current*). Oleh karena ini diperlukan perangkat lain yaitu *Rectifier-Inverter* untuk dapat mengakomodasi permasalahan ini.

f. Rectifier – Inverter

Rectifier berarti penyearah. *Rectifier* dapat menyearahkan gelombang sinusoidal (AC) yang dihasilkan oleh generator menjadi gelombang DC. *Inverter* berarti pembalik. Ketika dibutuhkan daya dari penyimpan energi (aki/lainnya) maka catu daya yang dihasilkan oleh aki akan berbentuk gelombang DC. Pada umumnya kebutuhan rumah tangga menggunakan catu daya AC, maka diperlukan *inverter* untuk mengubah gelombang DC yang dikeluarkan oleh aki menjadi gelombang AC, agar dapat digunakan oleh rumah tangga.

2.4. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel adalah pembangkit energi listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak mula (*prime mover*). *Prime mover* merupakan peralatan yang mempunyai fungsi sebagai penghasil energi mekanik yang diperlukan untuk memutar rotor pada generator. Pada PLTD yang berfungsi sebagai *prime mover* adalah mesin diesel. Pada PLTD biasanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik dengan jumlah yang kecil, seperti pada desa kecil, daerah baru yang terpencil, atau untuk memasok kebutuhan listrik pada pabrik.

Pada PLTD ini menggunakan bahan bakar *fossil* sehingga dikhawatirkan akan habisnya sumber daya energi tersebut. Keuntungan utama penggunaan pembangkit listrik

berbahan bakar minyak atau sering disebut dengan PLTD adalah dapat beroperasi sepanjang waktu selama masih tersediannya bahan bakar. Keandalan pembangkit ini tinggi karena dalam operasinya tidak bergantung pada alam seperti halnya PLTA. Mengingat waktu start-nya yang cepat namun ongkos bahan bakarnya tergolong mahal dan bergantung dengan perubahan harga minyak dunia yang cenderung meningkat dari tahun ke tahun, PLTD disarankan hanya dipakai untuk melayani konsumen pada saat beban pada pukul 18.00 hingga 24.00. (Herlina, 2009, 22)

2.4.1. Konversi Energi dari Tenaga Diesel

Konversi listrik ini adalah dengan mesin diesel yang berbahan bakar *High Speed Diesel Oil* (HSDO). Mesin diesel bekerja berdasarkan siklus diesel. Mulanya udara dikompresi ke dalam piston, yang kemudian diinjeksi dengan bahan bakar kedalam tempat yang sama. Kemudian pada tekanan tertentu campuran bahan bakar dan udara akan terbakar dengan sendirinya. Proses pembakaran seperti ini pada kenyataannya terkadang tidak menghasilkan pembakaran yang sempurna. Hal inilah yang menyebabkan efisiensi pembangkit jenis ini rendah, lebih kecil dari 50 %. Namun apabila dibandingkan dengan mesin bensin (otto), mesin diesel pada kapasitas daya yang besar masih memiliki efisiensi yang lebih tinggi, hal ini dikarenakan rasio kompresi pada mesin diesel jauh lebih besar daripada mesin bensin.

Investasi awal pembangunan PLTD yang relatif murah, kebutuhan energi di daerah-daerah terisolasi yang mendesak dan kebutuhan energi daerah-daerah yang belum terlalu besar, pemerintah Indonesia berinisiatif membangun PLTD yang berfungsi sebagai base-supply untuk memenuhi kebutuhan listrik di daerah-daerah ini, untuk mengurangi biaya transmisi dan rugi-rugi jaringan dalam menyalurkan energi listrik dari kota terdekat.

Dengan digunakannya bahan bakar konvensional maka adanya kemungkinan pembangkit ini akan sulit dioperasikan di masa depan karena persediaan minyak bumi dunia yang semakin menipis. Harga minyak yang terus meningkat menjadi pertimbangan utama dalam menggunakan pembangkit ini.

2.4.2. Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

Komponen utama pada PLTD terdiri dari:

- a. Kompresor.
- b. Ruang bakar (*combuster*)
- c. Generator.

Secara garis besar, proses perubahan ini dimulai dari energi udara dan bahan bakar diubah menjadi energi gas. Energi gas yang dihasilkan dari proses pembakaran digunakan untuk memutar rotor generator sehingga menghasilkan energi listrik, pada step ini terjadi perubahan energi yaitu dari energi mekanik menjadi energi listrik.

Udara luar dihisap oleh *compressor* dan dialirkan ke *combuster*, demikian juga dengan bahan bakar yang dipompa oleh pompa bahan bakar menuju *combuster* juga. Pada *combuster* terjadi pertemuan antara udara, bahan bakar, dan panas yang ditimbulkan oleh *ignitor* sehingga terjadi pembakaran. Dari hasil pembakaran menghasilkan gas yang kemudian gas tersebut memutar turbin dan juga memutar generator karena satu poros sehingga timbulah listrik. Sisa gas yang digunakan untuk memutar turbin sebagian keluar menuju *Stack*.

Adapun komponen pendukung pada PLTD meliputi:

a. Air Intake

Berfungsi mensuplai udara bersih ke dalam kompresor.

b. Blow off Valve

Berfungsi mengurangi besarnya aliran udara yang masuk ke dalam kompresor utama atau membuang sebagian udara dari tingkat tertentu untuk menghindari terjadinya *stall* (tekanan udara yang besar dan tiba-tiba terhadap sudu kompresor yang menyebabkan patahnya sudu kompresor).

c. VIGV (Variable Inlet Guide Fan)

Berfungsi untuk mengatur jumlah volume udara yang akan di kompresikan sesuai kebutuhan.

d. Ignitor

Berfungsi penyalaan awal atau start up. Campuran bahan bakar dengan udara dapat menyala oleh percikan bunga api dari ignitor yang terpasang di dekat *fuel nozzle burner* dan campuran bahan bakar menggunakan bahan bakar propane atau LPG.

e. Lube Oil System

Berfungsi memberikan pelumasan dan juga sebagai pendingin bearing-bearing seperti bearing turbin, kompresor, generator. Memberikan minyak pelumas ke *jacking oil system*. Memberikan suplai minyak pelumas ke *power oil system*. Sistem pelumas didinginkan oleh air pendingin siklus tertutup.

f. Hydraulic Rotor Barring

Rotor bearing system terdiri dari : *DC pump, Manual pump, Constant pressure valve, pilot valve, hydraulic piston rotor barring*. Rotor barring beroperasi pada saat unit stand by dan unit *shutdown* (selesai operasi). *Rotor barring on* < 1 rpm. Akibat yang timbul apabila *rotor barring* bermasalah ialah rotor bengkok dan saat *start up* akan timbul vibrasi yang tinggi dan dapat menyebabkan gas turbin trip.

g. Exhaust Fan Oil Vapour

Berfungsi utama membuang gas-gas yang tidak terpakai yang terbawa oleh minyak pelumas setelah melumasi bearing-bearing turbin, kompresor dan generator. Fungsi lain adalah membuat *vaccum* di lube oil tank yang tujuannya agar proses minyak kembali lebih cepat dan untuk menjaga kerapatan minyak pelumas di bearing-bearing (*seal oil*) sehingga tidak terjadi kebocoran minyak pelumas di sisi bearing.

h. Power Oil System

Berfungsi mensuplai minyak pelumas ke :

1. *Hydraulic piston* untuk menggerakkan VIGV
2. *Control valve* (CV untuk bahan bakar dan CV untuk air)
3. *Protection and safety system* (*trip valve staging valve*)
4. Terdiri dari 2 buah pompa yang digerakkan oleh 2 motor AC.

i. Jacking Oil System

Berfungsi mensuplai minyak ke journal bearing saat unit *shut down* atau *stand by* dengan tekanan yang tinggi dan membentuk lapisan film di bearing. Terdiri dari 6 silinder piston-piston yang mensuplai ke line-line:

1. 2 line mensuplai minyak pelumas ke journal bearing.
2. 2 line mensuplai minyak pelumas ke *compressor journal bearing*.
3. 1 line mensuplai minyak pelumas ke *drive end* generator journal bearing.
4. 1 line mensuplai minyak pelumas ke *non drive end* generator journal bearing.

2.5. Sistem Hibrid pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

Sistem hibrid pada PLTD dan Pembangkit Listrik tenaga Angin ini digunakan untuk meningkatkan sumber daya di Karimun Jawa sehingga dapat menyokong suplai daya dari PLTD dalam penggunaan 12 jam dan membantu mengurangi pemakaian bahan bakar *fossil* pada PLTD.

2.5.1. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Fungsi probabilitas kerapatan kecepatan angin menurut distribusi Weibull dijelaskan pada persamaan berikut : (Nurhalim, 2007, 36)

$$f(v) = \frac{k}{c} \left[\frac{v}{c} \right]^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{v}{c} \right)^k \right] \dots \dots \dots (2-5)$$

dengan :

c = faktor skala (m/s)

k = faktor bentuk distribusi kecepatan angin

Daya keluaran turbin angin (P_{TB}) dipengaruhi oleh kecepatan angin yang terdapat dilokasi dan secara matematis diformulasikan sebagai berikut :

$$P_{TB} = \int_0^v P_{TB}(v) f(v) dv \dots \dots \dots (2-6)$$

$P_{TB}(v)$ adalah daya keluaran turbin angin sebagai fungsi kecepatan angin, sedangkan $f(v)$ adalah fungsi probabilitas kecepatan angin pada ketinggian rumah turbin, besar daya keluaran turbin angin dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$P_{TB}(v) = 0 ; v < v_{cut-in}$$

$$P_{TB} = P_{nom} ; \frac{v^k - v_{cut-in}^k}{v_{nom}^k - v_{cut-in}^k} v_{cut-in} \leq v \leq v_{nom} \dots \dots \dots (2-7)$$

$$P_{TB}(v) = P_{nom} ; v_{nom} \leq v \leq v_{cut-off}$$

$$P_{TB}(v) = 0 ; v > v_{cut-off}$$

dengan :

v_{cut-in} = kecepatan angin minimum saat turbin angin mulai menghasilkan daya listrik (m/s)

$v_{cut-off}$ = kecepatan angin maksimum saat turbin berhenti menghasilkan daya listrik (m/s)

v_{nom} = kecepatan angin nominal saat turbin angin mulai menghasilkan daya listrik nominal (m/s)

persamaan diatas dapat diubah menjadi persamaan sebagai berikut :



$$P_{TB} = P_{nom} \left\{ \frac{\exp \left[- \left(\frac{v_{cut-in}}{C} \right)^k \right] - \exp \left(\frac{v_{nom}}{C} \right)^k}{\left(\frac{v_{nom}}{C} \right)^k - \left(\frac{v_{cut-in}}{C} \right)^k} - \exp \left[- \left(\frac{v_{cut-off}}{C} \right)^k \right] \right\}$$

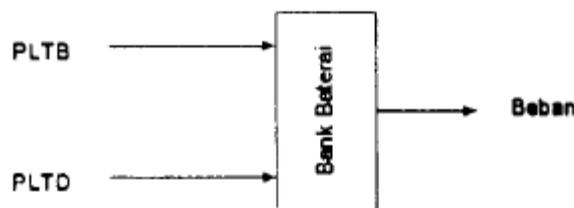
2.5.2. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

Pada PLTD ini merupakan pembangkit energi listrik yang menggunakan bahan bakar *fossil* yang biayanya relatif tinggi, untuk jangka panjang bahkan sudah tidak ekonomis lagi. Pada PLTD ini beroperasi selama 12 jam untuk mensuplai beban. Sumber energi listrik dengan daya keluaran 500 kVA untuk mensuplai 844 pelanggan yang ada di Pulau Karimun Jawa. Dengan biaya bahan bakar yang berkisar kurang lebih antara Rp 11.000 – Rp 12.000 per liternya maka diharapkan ada pemanfaatan sumber daya alternatif guna membantu pengoptimalan sumber energi listrik dan pengurangan penggunaan bahan bakar *fossil* yang ada di pulau Karimun Jawa, dimana dalam penulisan ini akan dianalisa pembangkit hibrida (Diesel-Angin).

2.5.3. Perencanaan Sistem Hibrid pada PLTD dan PLTAngin

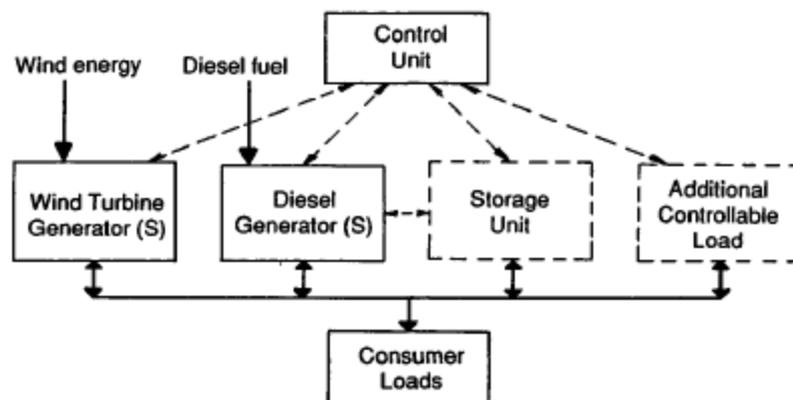
Pada sistem ini skema sederhana pembangkit hibrid dapat diasumsikan seperti pada Gambar 2.1. Energi yang dihasilkan pada subsistem pembangkit hibrid ini tidak disalurkan langsung ke beban melainkan digunakan untuk mengisi bank baterai. Beban besar energi total (E_{LT}) yang harus disuplai oleh kedua subsistem harus sama dengan energi beban itu sendiri (E_L) ditambah dengan rugi – rugi yang terdapat pada baterai (E_{LB}) maupun jaringan (E_{LJ}), sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$E_{LT} = E_L + E_{LB} + E_{LJ} \dots\dots\dots(2-8)$$



Gambar 2.1 .Skema Pembangkit Hibrid Sederhana PLTAngin dan PLTD

(Sumber : Nurhalim, 2007, 37)



Gambar 2.2 Sistem Pembangkit Hibrid PLTAngin dan PLTD
(Sumber : Hunter, 1994, 15)

Jika energi beban total tersebut disuplai oleh masing–masing subsistem pembangkit hibrid tersebut, maka besar energi yang diproduksi adalah : (Nurhalim, 2007, 37)

$$E_{TB} = E_{LT} = N_{TB} \cdot P_{TB}(v) \cdot t_{TB}$$

$$E_{TD} = E_{LT} = \eta_{TD} \cdot N_{TD} \cdot P_{TD} \cdot t_{TD} \dots \dots \dots (2-9)$$

dengan :

E_{TB} = energi sebesar energi beban total yang diproduksi PLTAngin (Wh)

E_{TD} = energi sebesar energi beban total yang diproduksi PLTD (Wh)

η_{TD} = efisiensi PLTD

N_{TB} = jumlah unit turbin angin

N_{TD} = jumlah unit PLTD

$P_{TB}(v)$ = daya unit turbin angin sebagai fungsi kecepatan angin (W)

P_{TD} = daya unit PLTD

t_{TB} = lama pengoperasian PLTAngin (jam)

t_{TD} = lama pengoperasian PLTD (jam)

2.5.3.1 Tipe –Tipe Sistem Hibrid pada PLTD dan PLTAngin

Untuk menggabungkan kedua jenis pembangkitan ini perlu juga diketahui tentang tipe–tipe penggabungannya berdasarkan tentang kebutuhan daya yang diperlukan untuk didistribusikan ke pelanggan, arsitektur, dan konfigurasi. Tipe–tipe penggabungan tersebut adalah : (Hunter, 1994, 15)

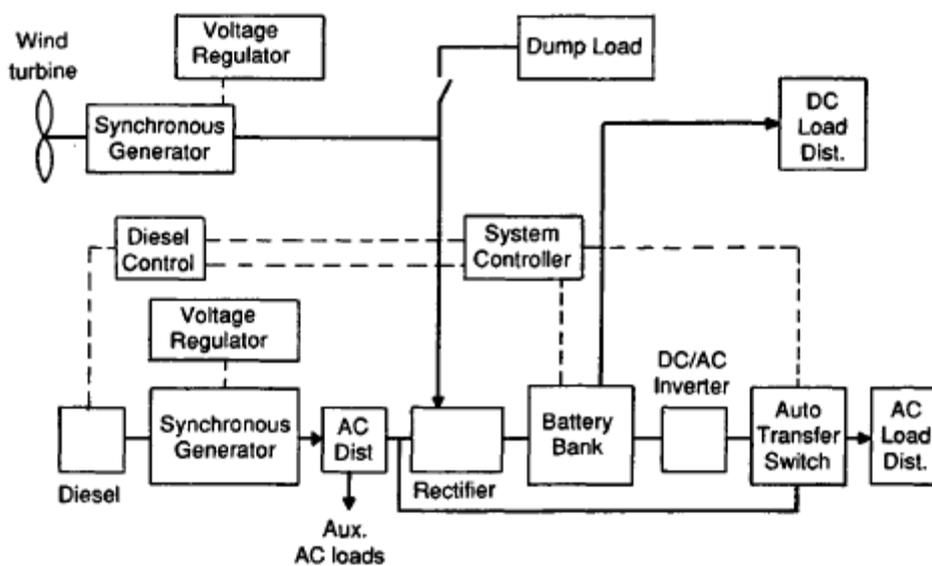


a. *Battery Storage / Cycle Charge*

Pada tipe ini sistem digunakan untuk pengaplikasian yang lebih kecil. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3 , yaitu menggabungkan generator diesel dan turbin angin yang keduanya memakai generator sinkron. Sebagian besar daya yang dihasilkan disuplai menuju bank baterai. Daya yang bercatu daya DC langsung disearahkan dengan penyearah menuju bank baterai. Daya yang bercatu daya AC diubah melalui inverter dan kemudian menuju bank baterai. Generator diesel disini digunakan untuk mengisi bank baterai, tidak untuk mensuplai ke beban secara langsung. Sistem ini bisa digunakan untuk waktu yang relatif lama. Penggunaan bahan bakar pada PLTD dalam menghasilkan daya bisa lebih optimal.

Keuntungan pada sistem ini adalah kesederhanaan sistem, keandalan, dan menggunakan komponen-komponen yang mudah. Kelemahan dari sistem ini adalah memerlukan biaya tambahan untuk baterai dan penurunan efisiensi karena rugi-rugi pada baterai dan komponen lainnya.

Sistem ini sering digunakan pada daerah yang tidak memerlukan banyak daya. Contoh penggunaan sistem ini adalah di stasiun-stasiun telekomunikasi.



Gambar 2.3. Skema Cycle Charge/Battery Storage

(Sumber : Hunter, 1994, 18)

b. **Basic System with No Storage**

Sistem ini salah satu pembangkit lebih bekerja ekstra dan pembangkit lainnya sebagai cadangan. Pada sistem ini mesin Diesel konvensional dengan menggunakan generator sinkron memasok daya ke beban. Turbin angin disini hanya digunakan untuk penghematan bahan bakar pada mesin diesel, karena apabila besar daya yang dihasilkan oleh turbin angin kecil daya yang dihasilkan akan dibuang. Sedangkan apabila daya yang dihasilkan besar, daya akan digunakan. Sekilas memang tampak turbin angin disini tidak berguna, tetapi masih bisa membuat penggunaan bahan bakar pada PLTD lebih efisien. Contoh penggunaan sistem ini adalah di sebuah hotel di Sal, Cape Verde (Hansen, Madsen, and Lundsager, 1986) dan pada sebuah pabrik limbah di Mrtigny, Swiss.

c. **Basic System with Flywheel**

Pada sistem ini prinsipnya hampir sama dengan *basic system with no storage*, kecuali pada mesin diesel yang menggunakan generator sinkron dipisahkan oleh kopling dan roda gila (*flywheel*). Apabila daya yang dihasilkan oleh turbin angin besar maka PLTD akan berhenti dan terputus tidak bekerja. Turbin angin memberikan daya reaktif kepada diesel yang kemudian berputar menggerakkan *flywheel* yang berputar inersia mengkompensasi fluktuasi listrik pada turbin angin dan dapat digunakan untuk menyalakan kembali Diesel ketika diperlukan. Pada sistem ini *flywheel* menyimpan energi selama beberapa saat. Contoh penggunaan sistem ini adalah sistem ekperimental di Netherlands Energy Research Foundation, ECN (De Bonte, et al, 1985) dan di RISØ National Laboratory, Denmark (Madsen and Greisen, 1987, Lundsager and Norgaard, 1988)

d. **Basic System with Batteries**

Sistem ini hampir sama dengan *basic system with no storage* kecuali pada sistem ini menggunakan baterai penyimpanan dan konverter daya. Penyearah digunakan untuk mengisi baterai apabila ada kelebihan daya dari turbin angin.

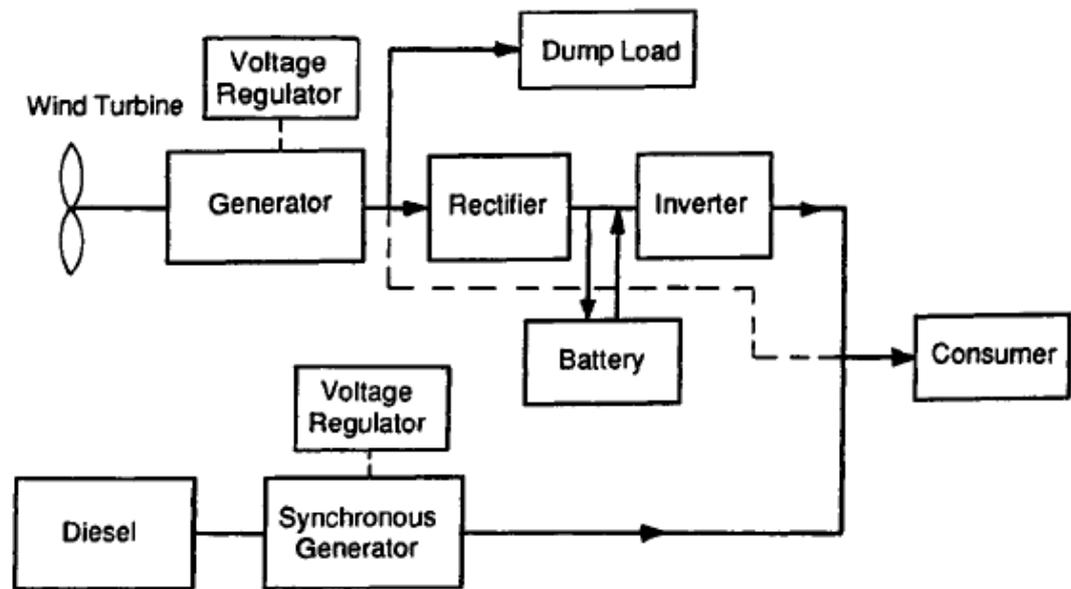
e. **Basic System with Flywheel and Batteries**

Pada sistem ini adalah penggabungan antara *basic system with flywheel* dan *basic system with flywheel*. Contoh penggunaan sistem ini adalah pada

proyek Cape Verde, bagian dari United Nation/DANIDA untuk mengkonfigurasi tentang penggunaan mekanikal dan elektrikal sebagai penyimpanan listrik. (Hansen, Madsen, and Lundsager, 1986)

f. Integrated Wind – Diesel System

Sistem ini adalah penggabungan dari sistem–sistem yang telah dijelaskan sebelumnya. Seperti yang dijelaskan pada Gambar 2.4, sistem ini dirancang dimana pada turbin angin bisa langsung mensuplai energi ke beban atau menyimpan sementara ke bank baterai. Karena baterai dipasang paralel diantara *rectifier* dan *inverter*, maka daya yang dihasilkan oleh turbin angin bisa langsung didistribusikan ke konsumen dan apabila ada kelebihan daya bisa disimpan pada baterai dan langsung didistribusikan ke beban dari baterai. Pengembangan pada sistem ini telah dikembangkan di Chalmer University, Swedia (Linders, et al, 1987) dan di Netherlands Energy Research Foundation, ECN (De Bonte, et al, 1985). Pengembangan lebih lanjut pada sistem ini adalah integrasi dari *flywheel* dengan rotor pada turbin angin, yang menggabungkan operasi kecepatan variabel dengan rotor inersia tinggi. Sistem ini telah dikembangkan di Dutch Company HOLEC.



Gambar 2.4. Skema *Integrated Wind – Diesel System*

(Sumber : Hunter,1994, 20)

2.5.2.2 Parameter – Parameter Tentang Sistem Konfigurasi Hibrid (Diesel-Angin)

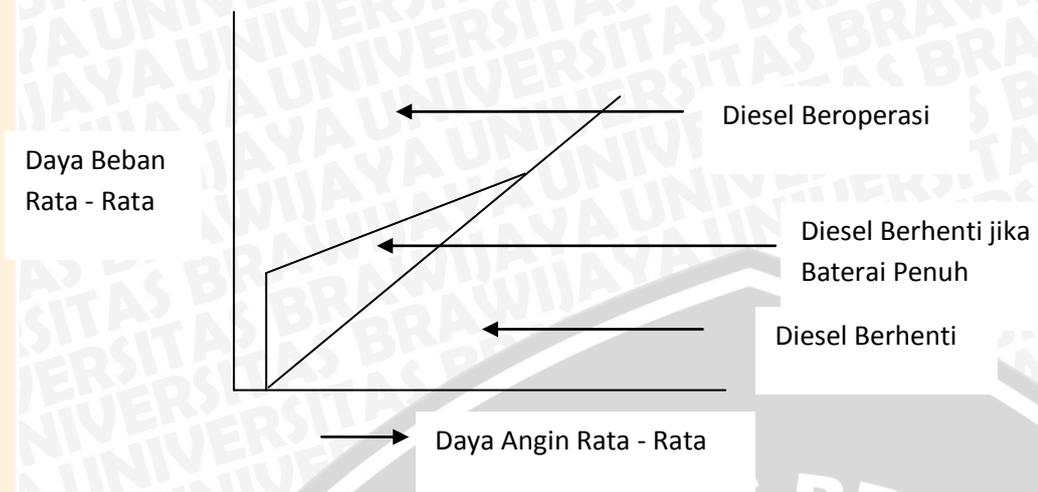
Dalam melakukan perencanaan untuk permodelan dalam sistem hibrid tentu ditinjau dari beberapa parameter agar perencanaan tersebut bisa tepat sesuai dengan yang dibutuhkan dalam penggunaannya. Adapun parameter-parameter untuk perencanaan sistem hibrid (Diesel-Angin) adalah sebagai berikut : (Pakpahan, 2006, 22)

a. Menentukan Modus Operasi pada Genset

Pada pemilihan modus operasi pada genset ini dibagi menjadi 2 (dua), yaitu :

1. Pengoperasian secara kontinu, pengoperasian pada mode ini lebih sederhana dan handal dikarenakan lebih mudahnya menjamin pasokan listrik yang kontinu ke beban, tetapi apabila menggunakan pada banyak genset apabila sebagian genset mati maka genset yang hidup tidak boleh terbebani lebih. Kekurangan pada mode kontinu ini adalah kontribusi turbin angin yang lebih rendah dengan penghematan bahan bakar yang kecil karena genset beroperasi secara kontinu.
2. Pengoperasian secara bergantian (*intermittent*), tipe ini bertujuan untuk penghematan bahan bakar yang lebih besar dengan cara mengoperasikan genset pada saat angin rendah atau pada saat kebutuhan beban tinggi, namun konsekuensinya adalah strategi kontrol yang lebih rumit. Untuk sistem pada unit tanpa penyimpanan hal ini menyangkut pada pengalihan pasokan listrik dari turbin angin ke genset dan apabila surplus turbin angin ke beban turun dibawah suatu batas yang aman untuk diperhitungkan fluktuasi yang diakibatkan oleh turbulensi angin. Dalam prakteknya pendekatan ini menghasilkan diesel yang berputar selama periode yang diperpanjang bila outputnya ternyata tidak diperlukan.

Berikut adalah grafik filosofi penggunaan genset untuk daya beban dan turbin angin.



Gambar 2.5 Grafik Filosofi Beban

(Sumber : Pakpahan, 2006, 23)

b. Menentukan Ukuran Mesin Diesel dan Generator Untuk Genset

Secara umum ukuran genset dapat dipilih tidak bergantung dengan subsistem lainnya karena biasanya dianggap bahwa dalam kondisi yang paling buruk genset tetap harus bisa memasok kebutuhan konsumen pada waktu tidak ada angin atau unit penyimpanan (baterai) kosong. Pengecualian utama adalah sistem yang didasarkan pada pendekatan *cycle charge* yaitu diesel beroperasi secara periodik untuk menghasilkan unit penyimpanan. Dalam hal ini nilai nominal (*rating*) genset harus lebih besar daripada permintaan (*demand*) rata-rata atau kebutuhan yang berkesinambungan.

Pada dasarnya, pemilihan ukuran genset dapat dilakukan menurut cara yang konvensional terkait dengan sifat-sifat alamiah beban yaitu : beban untuk pengasutan motor diesel, karakteristik frekuensi dan tegangan yang diperlukan. Pertimbangan juga harus dilakukan dalam memilih ukuran genset di lokasi yang memiliki kerapatan udara yang rendah dikarenakan peningkatan daya dan kemampuan pendingin dapat dipengaruhi oleh tekanan atmosfer yang rendah atau temperatur iklim yang tinggi.

Generator yang digunakan sebagai pembangkit listrik genset yang digabungkan ke motor diesel adalah :

1. Generator Arus Searah (DC), digunakan untuk permintaan yang rendah dengan beban yang secara fisik dekat dengan turbin angin. Generator tipe

ini biasanya digunakan untuk mengisi baterai dan pemanas resistif yang beroperasi pada kecepatan variabel.

2. Generator Arus Bolak–Balik (AC), yaitu fungsi generator arus searah saat ini telah banyak digantikan oleh generator arus bolak–balik atau alternator yang umumnya dieksitasi oleh magnet permanen dan kemudian diubah menjadi arus searah dengan menggunakan rangkaian *rectifier*. Generator AC dengan magnet permanen yang beroperasi pada kecepatan variabel dan menghasilkan tegangan variabel memungkinkan untuk pengontrolan agar menghasilkan daya maksimum pada kecepatan angin tinggi dengan menggunakan perubahan reaktansi induktif gulungan stator untuk membatasi keluaran arus.
3. Generator Sinkron, generator ini digandeng dengan mesin diesel melalui kopling. Fungsi dari generator tipe ini adalah mengubah daya mekanik yang dihasilkan oleh mesin diesel menjadi listrik, memasok daya reaktif ke sistem yaitu beban ke turbin angin dan mengontrol level tegangan jaringan, menghasilkan tegangan sinusoida yang sama dengan jaringan, menghasilkan arus hubung singkat untuk memutus sekring, melakukan komutasi *thyristor* dalam hal konverter terkomutasi jaringan dihubungkan ke jaringan dan memasok arus masuk ke mesin induksi dalam sistem.

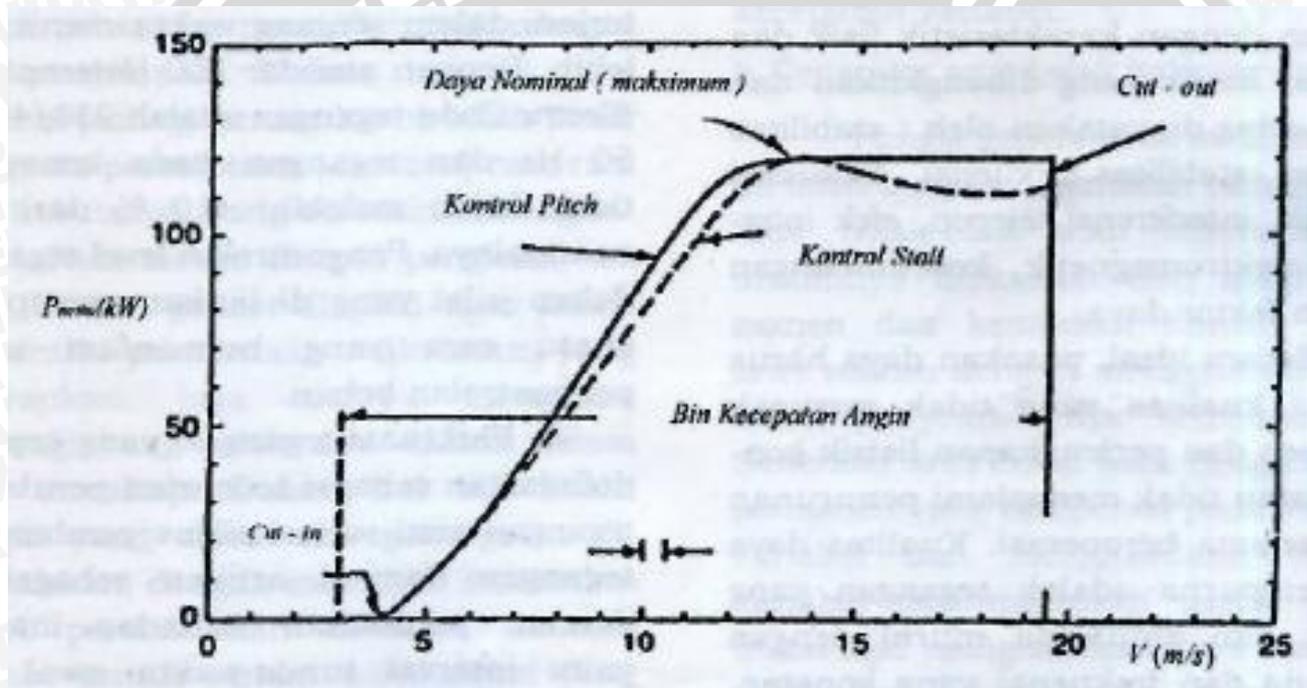
c. Pemilihan Turbin Angin

Prestasi sebuah turbin angin dinyatakan oleh kurva daya yang memberikan hubungan antara daya yang dihasilkan pada berbagai kecepatan angin dan daya bermanfaat berada antara kecepatan *cut-in* dan *cut-out*. Diatas kecepatan *cut-in* (kecepatan minimal agar turbin dapat menghasilkan listrik), daya bertambah secara cepat sampai nominal rata–rata (*rated speed*) dan selanjutnya dari kecepatan nominal hingga *cut-out* daya yang dihasilkan akan dipertahankan pada nilai yang konstan yang disebut daya nominal. Pada kecepatan angin yang melebihi *cut-out* daya keluaran akan dibatasi agar memproteksi kerusakan atau menghentikan turbin angin.

Karena kecepatan dan arah angin selalu berubah, hal ini akan mengakibatkan turbulensi yaitu variasi kecepatan dan arah angin dalam waktu yang sangat singkat dalam orde beberapa detik hingga beberapa menit dan hal ini akan mengubah daya yang dihasilkan selama interval tersebut. Akibatnya apabila dibandingkan dengan rata–rata selama suatu interval waktu misalnya 10 menit hingga 1 jam, daya sesaat terkadang akan jauh lebih besar

daripada nilai rata – rata atau malah terkadang lebih rendah. Hal ini merupakan faktor yang sangat penting dalam perencanaan sistem PLTHybrid (Diesel–Angin) yang efektif.

Pada lokasi yang baik, keluaran daya jangka panjang dari sebuah turbin angin hanya sama hingga $\pm 30 \%$ dari daya nominal generator, namun demikian pada lokasi terpencil nilai faktor beban yang lebih rendah dari 20 % masih dapat ekonomis tetapi sangat tergantung pada lokasi. Dengan demikian dalam perencanaan diperlukan estimasi potensi produksi energi angin lokasi dan juga sifat–sifat alamiah beban serta tersedianya daya guna memungkinkan memperoleh rating yang optimal. Kriteria dalam memilih turbin angin adalah kapasitas/diameter rotor, posisi rotor (*up wind* atau *down wind*), jumlah sudu, tipe generator untuk turbin angin, subsistem kontrol, tipe dan tinggi menara, level tegangan dan frekuensi. Berikut adalah kurva yang memperlihatkan hubungan antara daya dan kecepatan angin.



Gambar 2.6 . Kurva Karakteristik Daya dan Kecepatan Turbin Angin

(Sumber : Pakpahan, 2006, 23)

Dalam pemilihan turbin angin ada parameter–parameter yang menjadi acuan. Berikut adalah parameter pemilihan turbin angin.

Tabel 2.3 Parameter Pemilihan Turbin Angin

Parameter Pilihan	Keterangan
<i>Up wind</i> atau <i>Down wind</i>	a. Menghindari turbulensi bayangan menara (+) b. Kebisingan rendah c. Rotor harus dipertahankan dalam posisi <i>up wind</i> sehingga memerlukan komponen yang lebih banyak dan menjadi lebih mahal (-) d. Menambah beban pada menara (-)
Rotor dengan <i>pitch</i> tetap atau variabel	e. Tidak memerlukan mekanisme pengontrolan <i>pitch</i> (+) f. Komponen lebih sederhana daripada tipe variabel sehingga lebih murah
Rotor kaku (<i>rigid</i>) atau dapat diarahkan (<i>teetered</i>)	g. Tidak memerlukan alat menghentikan <i>teeter</i> dan bantalan <i>teeter</i> (+) h. Lebih murah (+) i. Menerima beban yang lebih besar (-)

(Sumber : Pakpahan, 2006, 27)

Tipe generator, konfigurasi rotor dan pengontrolan akan mempengaruhi variabilitas daya yang dihasilkan oleh turbin angin, oleh karena itu harus diperhitungkan sewaktu perencanaan strategi pengontrolan. Pentunjuk umum adalah bahwa nilai nominal (*rating*) turbin angin tidak secara signifikan lebih besar dari penjumlahan beban konsumen maksimum dan rugi – rugi sistem kecuali bila sistem pembangkit dilengkapi dengan unit penyimpanan energi yang besar. Kecepatan nominal turbin angin secara ideal harus lebih kecil daripada turbin angin tersebut diinterkoneksi dengan *grid*. Pengontrolan sebuah turbin angin dimaksudkan agar mengontrol keluaran daya dan putaran (rpm) turbin angin. Sistem dengan sudut *pitch* berubah–ubah (*variable pitch*) dapat mengontrol kecepatan lebih, menghentikan turbin angin dan menghasilkan pembatasan daya yang maksimum. Sedangkan turbin angin dengan sudut *pitch* tetap mempertahankan sudut yang sama antara garis kord dan bidang rotor sehingga dalam hal ini digunakan pengontrolan *stall* (*aerodynamic stall control*) yang dilengkapi dengan rem untuk menghentikan rotor.

a. Pemilihan Unit Penyimpanan

Untuk sistem PLTH (Diesel–Angin) yang tidak bergantung dengan *grid*, fungsi atau pemakaian unit penyimpan mencakup menghasilkan fluktuasi jangka pendek yang lebih lembut dalam daya turbin angin dan beban untuk menyempurnakan kualitas *grid*, mengurangi siklus *start/stop* genset (penyimpanan jangka pendek hingga menengah), mengurangi konsumsi daya, mempertahankan kesetimbangan daya turbin angin untuk jangka menengah dan panjang atau surplus beban konsumen (penyimpanan jangka panjang) dan meminimumkan waktu *start-up* diesel yang berarti memperpanjang waktu diam (*stand-still*) mesin diesel (penyimpanan jangka pendek). Berbagai tipe unit penyimpanan yang digunakan adalah baterai, *flywheel*, *hydraulic pressure vessels* dan hidro. Tipe baterai yang digunakan adalah asam timbal (*Lead Acid*), nikel kadmium, dan sodium sulfur dengan kelebihan dan kekurangan masing–masing.

b. Pemilihan Unit Kontrol

Sebuah genset umumnya sudah memiliki *governor* untuk mengatur kecepatan, urutan pengasutan proteksi, dan pengaturan tegangan. Demikian juga turbin angin guna mengontrol penyambungan dan pemutusan daya ke sebuah jaringan dandalam beberapa hal melakukan pengontrolan daya. Dengan demikian, sebagai bagian sistem PLTH (Diesel Angin), kelengkapan sistem kontrol tersebut harus memungkinkan untuk beroperasi dalam sistem walaupun beberapa modifikasi mungkin diperlukan misalnya untuk pembatasan frekuensi dan tegangan yang lebih teliti. Dua hal penting yang harus diperhatikan dalam merancang sistem kontrol adalah :

1. Pengontrolan frekuensi dengan cara surplus daya dan bila diesel memerlukan pembebanan minimum, hal ini biasanya diperoleh dengan menggunakan *dump-load* atau elemen penyimpan yang dikontrol agar menghasilkan kesetimbangan daya. Pengontrolan cara ini berdasarkan pada daya atau frekuensi yang terukur atau keduanya dan memiliki peranan kritis dengan stabilitas sistem.
2. Menghidupkan dan mematikan diesel, pada sistem ini berguna untuk mencegah siklus *off/on* yang berlebihan dan kondisi ini akan bervariasi bergantung pada lokasi khususnya intensitas turbulensi. Pada sistem dengan unit penyimpanan contohnya minimal yang dapat mencakup beban sementara diesel dihidupkan, maka keputusan untuk menghidupkan diesel dapat diambil berdasarkan frekuensi minimum yang diterima, sedangkan yang paling rumit adalah keputusan untuk mematikan diesel. Sejumlah

kondisi berbeda berdasarkan pada : waktu minimum diesel untuk beroperasi, surplus daya yang dibutuhkan, peratan atau penapisan (*filtering* surplus daya angin) dan dalam prakteknya ketiga hal tersebut dapat digabungkan.

c. Pemodelan Sistem

Model simulasi untuk sistem Diesel–Angin diperlukan untuk membantu rancangan teknis dan analisis ekonomi. Aplikasi selain hal tersebut adalah sebagai berikut.

1. Interpretasi semua jenis data eksperimental baik di laboratorium maupun di lokasi.
2. Optimasi sistem sebelum menetapkan komponen atau perangkat keras. Hal ini akan sangat mengurangi biaya pengadaan dibandingkan dengan cara uji coba.
3. Dalam waktu singkat dapat mengidentifikasi sifat–sifat Diesel–Angin terhadap perubahan angin dan beban ekstrim.
4. Sebagai referensi atau pembandingan terhadap pemasangan di lokasi lain yang memiliki pola angin dan beban yang berbeda.
5. Mempermudah mempelajari efek pemodelan dengan menggunakan skala dimensi (*scaling*) terhadap sifat–sifat dan prestasi keseluruhan.

Dalam hal ini perencanaan sistem juga mempunyai berbagai macam model sistem. Model – model yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Model deret waktu (*time series*), yaitu pemodelan yang mempelajari respon sistem terhadap gangguan (sebagai fungsi waktu) dalam data masukan yang umumnya dijelaskan oleh sekumpulan persamaan diferensial biasa dengan waktu sebagai variabel bebas.
2. Model Dinamik, yaitu pemodelan yang menganalisis kualitas daya, ukuran komponen dan stabilitas sistem dalam hubungannya dengan tegangan dan frekuensi. Model dinamik juga menjelaskan transien listrik dan mekanik, mewakili level–level rincian tertinggi karena harus mampu mensimulasikan berbagai fenomena transien dalam komponen listrik. Aplikasi lainnya adalah untuk subsistem kontrol daya/tegangan reaktif dan daya /frekuensi reaktif.
3. Model Prestasi jangka Pendek dan Jangka Panjang, yaitu pemodelan yang mempelajari kesesuaian daya antara turbin angin, diesel, dan beban

dalam jangka pendek (sampai beberapa menit) hingga jangka panjang. Secara khusus model jangka panjang dimaksudkan untuk menentukan prestasi sistem secara keseluruhan dengan sasaran utama menaksir penghematan bahan bakar dibandingkan bila sistem pembangkit hanya menggunakan genset. Pemodelan ini mencakup turbin angin (hubungan antara daya dan kecepatan angin), genset (konsumsi bahan bakar sebagai data masukan dan keluaran daya yang umumnya dianggap linear atau kuadratik), penyimpanan energi, pengalihan atau pembuangan energi dan unit kontrol.

2.5.4 Software HOMER

Software HOMER adalah suatu perangkat lunak yang digunakan untuk operasi model sistem pembangkit listrik skala kecil (micropower), perangkat lunak ini mempermudah evaluasi disain 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 untuk setiap konfigurasi sistem yang akan dipertimbangkan. Kemudian menentukan konfigurasi yang layak, apakah dapat memenuhi kebutuhan listrik di bawah kondisi yang ditentukan, perkiraan biaya modal, penggantian, operasi dan pemeliharaan, bahan bakar, dan bunga.

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 (NPC) terendah, dan bisa menggunakan parameter sensitifitas untuk hasil yang lebih bagus dan akurat.

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. (Nugroho, 2011, 4)

2.5.5 Peninjauan dari Segi Ekonomis

2.5.5.1 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 berdasarkan nilai NPC terendah. Total NPC dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut. (Herlina, 2009, 33)

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

Dengan :

$C_{ann, tot}$ = total biaya tahunan (\$/tahun)

$CRF ()$ = faktor penutupan modal

i = suku bunga (%)

R_{proj} = lama waktu suatu proyek

N = jumlah tahun

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

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

Dalam metode ini terdapat i atau suku bunga. Seperti yang diketahui sebelumnya bahwa uang memiliki nilai waktu dan besarnya ditentukan oleh suku bunga. Di Indonesia standard suku bunga yang berlaku adalah suku bunga yang ditetapkan oleh Bank Indonesia atau BI rate. Besarnya berubah-ubah menurut kondisi keuangan di Indonesia. Nilai BI rate untuk tahun 2013–2014 berkisar antara 6–7% seperti yang terlihat pada Tabel 2.7 berikut ini.

Tabel 2.4 BI Rate dalam Satu Tahun Terakhir

Tanggal	BI Rate
13 Juni 2013	6,00 %
11 Juli 2013	6,50 %
29 Agustus 2013	7,00 %
12 September 2013	7,25 %
8 Oktober 2013	7,25 %
12 November 2013	7,50 %
12 Desember 2013	7,50 %
9 Januari 2014	7,50 %
13 Februari 2014	7,50 %
13 Maret 2014	7,50 %
8 April 2014	7,50 %
8 Mei 2014	7,50 %

Sumber : www.bi.go.id

Dari tabel diatas tampak bahwa suku bunga di Indonesia pada Juni 2013 adalah 6,00% dan kemudian naik menjadi 7,50% pada Mei 2014, maka dapat disimpulkan bahwa BI Rate di Indonesia cenderung naik, sehingga dalam perhitungan nanti dapat kita gunakan suku bunga terakhir sebagai acuan, yaitu 7,50%.

2.5.5.2 Syarat Batas Biaya Energi (*Levelized Cost of Energy*)

Levelized Cost of Energy (COE) didefinisikan sebagai biaya rata-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. Berikut adalah persamaannya. (Prityatomo,A , 2009, 34)

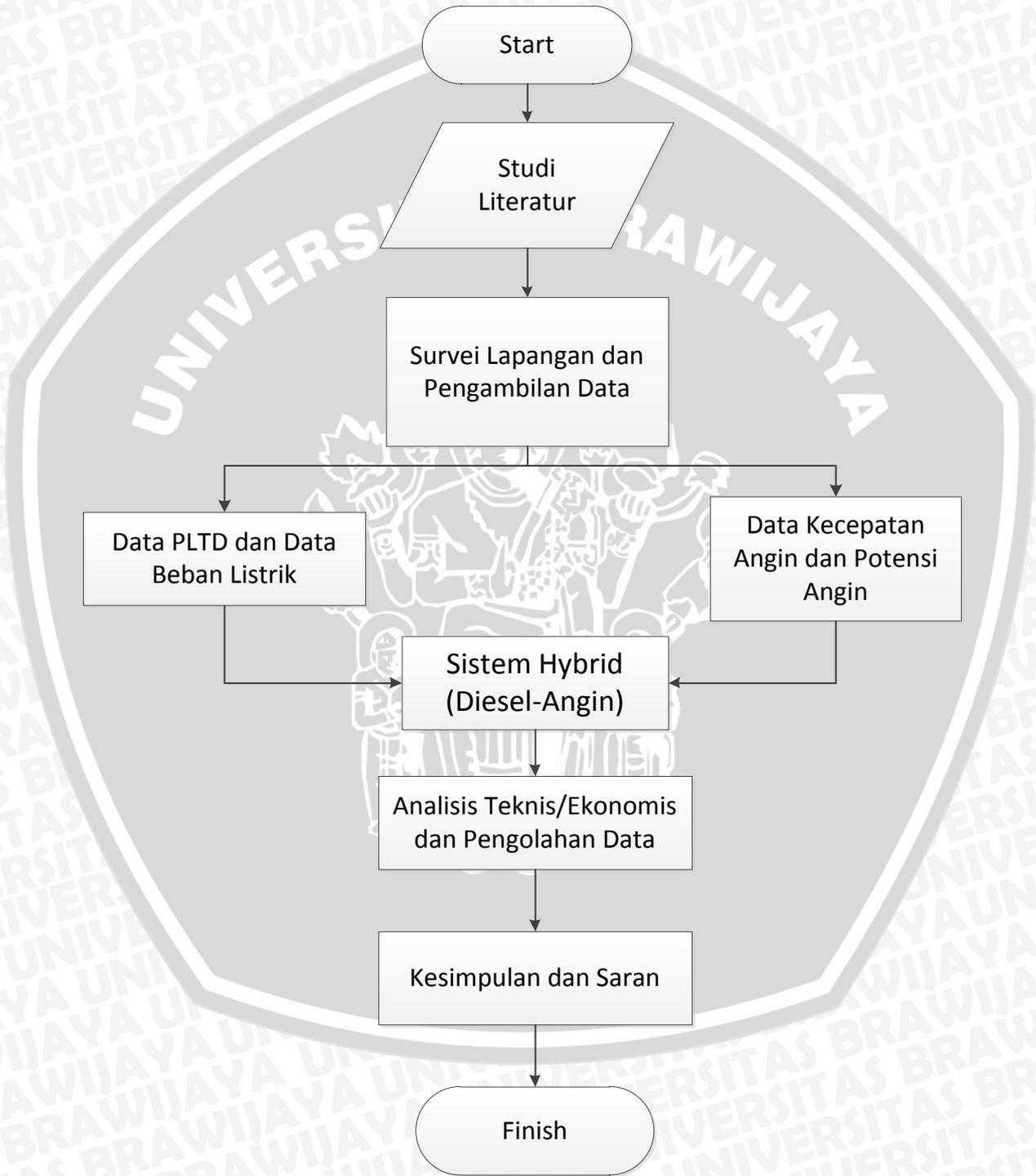
$$\text{COE} = \frac{\text{total annualized cost}}{\text{consumption energy} \left(\frac{\text{kw h}}{\text{year}} \right)}$$



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metodologi Penelitian

Kerangka umum metodologi penelitian pada skripsi ini adalah sebagai berikut :



3.2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari buku–buku dan literatur yang menunjang penulisan skripsi ini, antara lain sebagai berikut :

1. Mempelajari teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Diesel.
2. Mempelajari konversi energi pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Diesel.
3. Mempelajari teknik sistem hibrid pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Diesel.

3.3. Survei Lapangan dan Pengambilan Data

Pengambilan data yang dilakukan adalah untuk memudahkan proses pengerjaan skripsi ini. Dilakukannya pengukuran besar konsumsi daya per hari pada pembangkit tenaga diesel yang ada sekarang, penggunaan bahan bakar, dan pengukuran potensi energi angin yang ada di daerah Karimun Jawa yang kemudian dilakukan proses penggabungan pada kedua jenis pembangkitan tersebut. Data–data yang diambil adalah data–data tentang besar konsumsi daya per hari dari generator diesel, kecepatan angin, pemakaian bahan bakar, faktor biaya dan lain – lain yang menunjang yang dapat membantu untuk pembuatan skripsi ini. Data–data yang didapat nantinya berfungsi untuk menentukan efisiensi bahan bakar sehingga didapatkan angka dari sistem hibrid ini dari faktor teknis maupun ekonomis. Jenis data yang digunakan ada 2, yaitu :

1. Data Primer

Data primer adalah data yang langsung diambil di lokasi atau lapangan, atau data yang masih asli dan masih memerlukan analisis lebih lanjut. Dalam hal ini , data tersebut adalah :

a. Kecepatan Angin

Data ini didapat melalui data yang didapat dari BMKG Semarang sehingga dapat diketahui potensi angin yang ada di daerah Karimun Jawa.

b. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

Data ini didapat melalui Dinas Kelurahan Pulau Karimun Jawa yang meliputi tentang besar daya yang dihasilkan, biaya bahan bakar dan perawatan PLTD tersebut.

c. Kondisi Fisik

Data ini didapat dari pengukuran langsung di lapangan sehingga diketahui berapa penggunaan daya di Pulau Karimun Jawa, kecepatan angin, besar daya yang dihasilkan oleh PLTD.

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari bahan perpustakaan dan penelitian secara tidak langsung melalui media perantara. Data sekunder yang digunakan adalah :

- a. Jenis-jenis pembangkit listrik tenaga angin yang sesuai dengan spesifikasi teknis, harga, dan kebutuhan.
- b. Rumus-rumus yang digunakan untuk dapat menghitung atau mengolah data primer yang telah didapatkan.

Sedangkan untuk sumber data pada penelitian ini, adalah :

- a. Informan, yaitu orang yang digunakan untuk memberikan informasi tentang situasi dan kondisi latar penelitian.
- b. Dokumen yang ada kaitannya dengan penelitian, yaitu data yang berupa arsip, jurnal, artikel yang berhubungan dengan proses perancangan pembangkit listrik tenaga angin dan sistem hibrid pada PLTD dan PLTAngin.

3.4. Analisa dan Pengolahan Data

Dalam tahapan ini setelah diketahui data yang akan dianalisis untuk mengetahui hasil yang mendekati sebenarnya dilakukan dengan metode manual maupun dengan *software* HOMER. Pada analisa ini ditinjau dari dua sisi, yaitu sisi teknis dan sisi ekonomis.

3.4.1. Sisi Teknis

Pada sisi teknis pengolahan dan analisa data dapat dihitung tentang besar potensi daya yang dapat dibangkitkan oleh pembangkit angin dan besar daya yang dibangkitkan oleh pembangkit Diesel di Pulau Karimun Jawa, menentukan pemodelan sistem hibrid pada kedua pembangkitan tersebut. Kemudian *software* HOMER membantu mensimulasikan perencanaan sistem PLTH yang akan dibuat dan sistem PLTD yang sudah ada dengan mempertimbangkan tentang pembagian daya pada sistem PLTH, *excess electricity* atau kelebihan energi listrik, dan faktor-faktor lainnya.

3.4.2. Sisi Ekonomi

Dalam hal analisis ekonomi, yang nanti akan dibandingkan pada kedua model sistem kelistrikan tersebut menyangkut tentang nilai *Initial Cost* yang mana dalam analisa ini menyangkut tentang modal awal dalam pemasangan sistem tenaga listrik yang akan direncanakan, NPC (*Net Present Cost*) yang dalam hal ini berhubungan dengan biaya investasi, serta biaya penggunaan bahan bakar yang mana data-data ini akan dianalisa oleh *software* HOMER.

Setelah mengetahui hasil analisa dari kedua sisi tersebut, maka dibandingkanlah kedua sistem konfigurasi yang akan dibuat berdasarkan hasil analisa yang ditinjau dari kedua sisi itu dan kemudian dapat diambil kesimpulannya.

3.5. Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan ini dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan teori, pengujian, hasil perhitungan serta analisis. Selain kesimpulan, akan dicantumkan saran-saran kepada pembaca yang akan melakukan studi terkait dengan penelitian ini. Meliputi hal-hal yang menjadi kendala dalam penelitian ataupun hal-hal yang masih memerlukan kajian lebih dalam lagi.

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1. Data Pendukung yang Digunakan untuk Perancangan Sistem

Data pendukung yang dimaksud disini adalah data yang diperlukan untuk mendukung atau melengkapi perhitungan dan analisis agar dapat dilakukan dengan baik dan benar sesuai dengan kondisi dan keadaan yang ada. Data pendukung juga sering disebut dengan data sekunder yang artinya bukan data utama yang didapat secara langsung melalui pengukuran oleh penulis, tetapi data-data yang didapatkan dari sumber-sumber yang terpercaya. Tanpa adanya data ini analisis tidak dapat dilakukan. Data-data ini terdiri dari data kecepatan angin pada tahun 2011–2012 di pulau Karimun Jawa, data spesifikasi komponen turbin angin yang ada dipasaran, data komponen pendukung sistem hibrid.

4.1.1. Data Mesin Diesel di Pulau Karimun Jawa

Kelistrikan di Pulau Karimun Jawa dibangkitkan oleh PLTD dan untuk menganalisa kita membutuhkan data-data. Data mesin diesel di pulau Karimun Jawa ini diperoleh dari kantor PLTD Karimun Jawa. Terdapat 1 (satu) mesin diesel milik PLTD Karimun Jawa yang berfungsi memasok sistem kelistrikan di pulau Karimun Jawa. Adapun data mesin diesel milik PLTD Karimun Jawa dan kemampuannya dapat dilihat dari tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Data Aset PLTD Karimun Jawa

Unit	Pembangkit
	Karimun Jawa
Tipe Genset	Deutz Stamford HCI534D1 500 kVA no.seri X12391622
Putaran Mesin Rata - Rata	1500 rpm
Tekanan Minyak Rata - Rata	3,5 kg/cm ²
Suhu Air Rata - Rata	95 °C
Pemakaian Minyak Pelumas/Oli	80 liter
Pemakaian BBM (Solar)	21.550 liter
Pemakaian Filter Oli	2 buah
Pemakaian Filter Solar	2 buah
Jam Kerja	12 jam

Jumlah Pelanggan	844
------------------	-----

Dari data pada tabel 4.1 terlihat bahwa PLTD memiliki 1 buah genset, yaitu genset dengan tipe Deutz Stamford HCI534D1 500 kVA no.seri X12391622 bekerja penuh memasok seluruh sistem kelistrikan di pulau Karimun Jawa yang bekerja 12 jam saja yaitu pada pukul 17.00 hingga 05.00.

4.1.2. Data Beban PLTD di Karimun Jawa

Data beban ini dibutuhkan untuk menentukan berapa besar pemakaian kapasitas daya yang diperlukan untuk menggantikan peranan mesin diesel yang saat ini digunakan untuk memasok beban terpasang pada pulau Karimun Jawa. Penentuan beban yang mana akan disuplai oleh energi terbarukan dilihat dari data yang didapatkan dari PLTD Karimun Jawa.

Beban yang akan disalurkan oleh energi terbarukan bergantung dengan besarnya dan waktu beroperasinya. Karena untuk energi terbarukan ini membutuhkan angin sebagai sumber pembangkit dan sisanya bisa dipasok dengan menggunakan baterai yang telah di-*charging*. Berikut adalah data beban dari PLTD Karimun Jawa pada bulan Desember 2013.

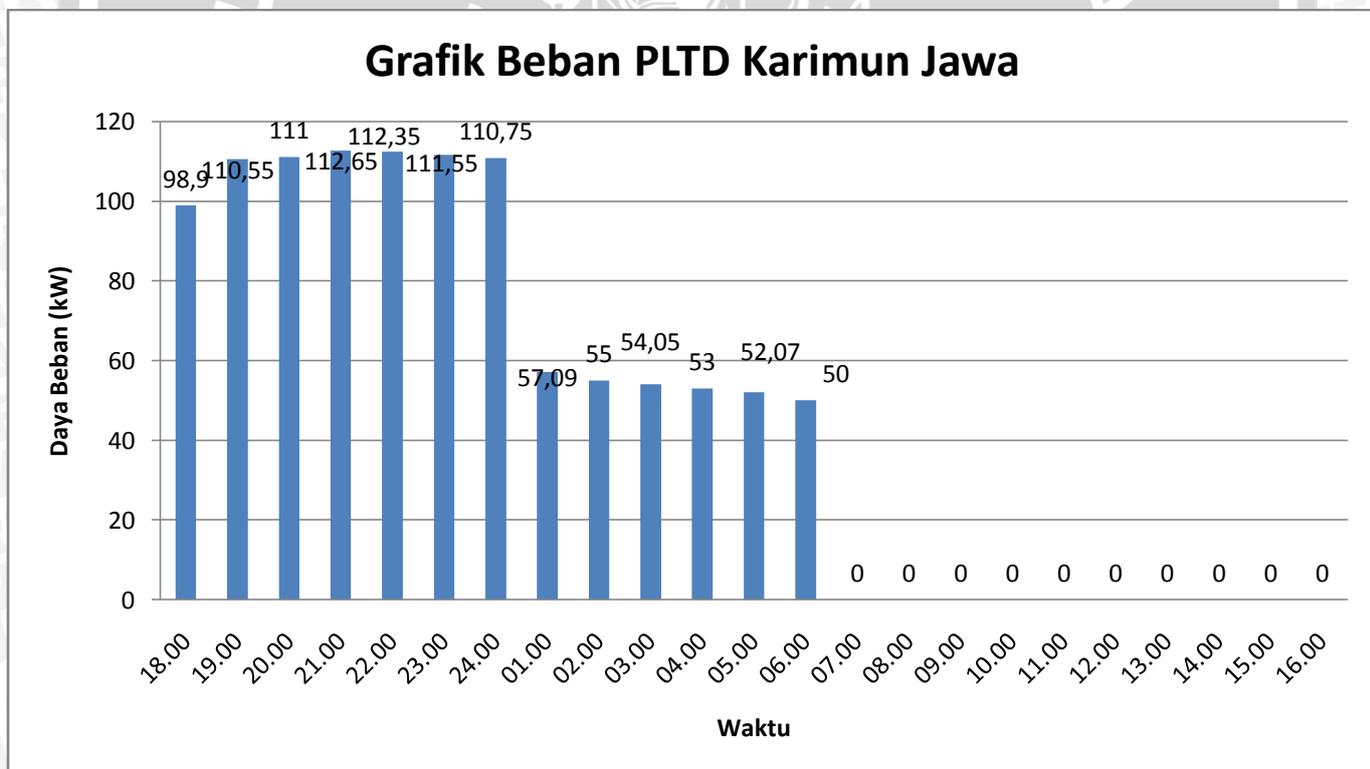
Tabel 4.2 Data Beban PLTD Karimun Jawa

Waktu (per jam)	Total Beban (kW)
18.00	98,90
19.00	110,55
20.00	111,00
21.00	112,65
22.00	112,35
23.00	111,55
24.00	110,75
01.00	57,09
02.00	55,00
03.00	54,05
04.00	53,00
05.00	52,07
06.00	50,00

07.00	0,00
08.00	0,00
09.00	0,00
10.00	0,00
11.00	0,00
12.00	0,00
13.00	0,00
14.00	0,00
15.00	0,00
16.00	0,00
17.00	0,00

Sumber : PLTD Karimun Jawa

Atau bisa diimplementasikan ke dalam bentuk grafik sebagai berikut.

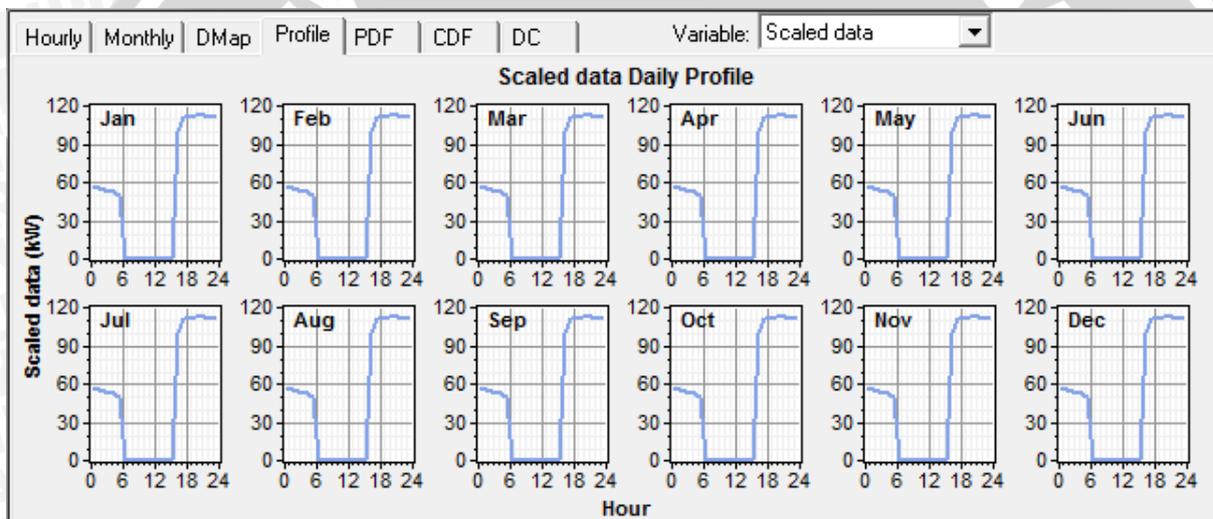


Sumber : PLTD Karimun Jawa

Gambar 4.1 Grafik Data Beban PLTD Karimun Jawa

Dari data pada Gambar 4.1 diatas dapat diketahui bahwa karakteristik beban berbeda dengan listrik pedesaan pada umumnya, yaitu hanya hidup 12 jam saja. Pada saat pukul 18.00 hingga pukul 24.00 besar beban berada pada titik tertinggi yaitu 112,65 kW, kemudian pada pukul 01.00 hingga pukul 05.00 besar beban berada pada titik terendah yaitu 57,09 kW, dan pada pukul 06.00 hingga pukul 17.00 sistem kelistrikan di pulau tersebut mati dikarenakan penghematan bahan bakar yang relatif mahal.

Karena data beban pemakaian diatas adalah pada bulan Desember dan kita perlu tahu untuk pola pemakaian beban bulanan untuk menentukan beban mana yang perlu disuplai dengan PLTH dan diasumsikan pola beban tiap bulan adalah sama, maka dari data diatas dapat disimpulkan bahwa pemakaian beban harian pada tiap bulannya adalah seperti grafik sebagai berikut.



Gambar 4.2 Contoh Grafik Harian pada PLTD Karimun Jawa

4.1.3. Data Kecepatan Angin di Pulau Karimun Jawa

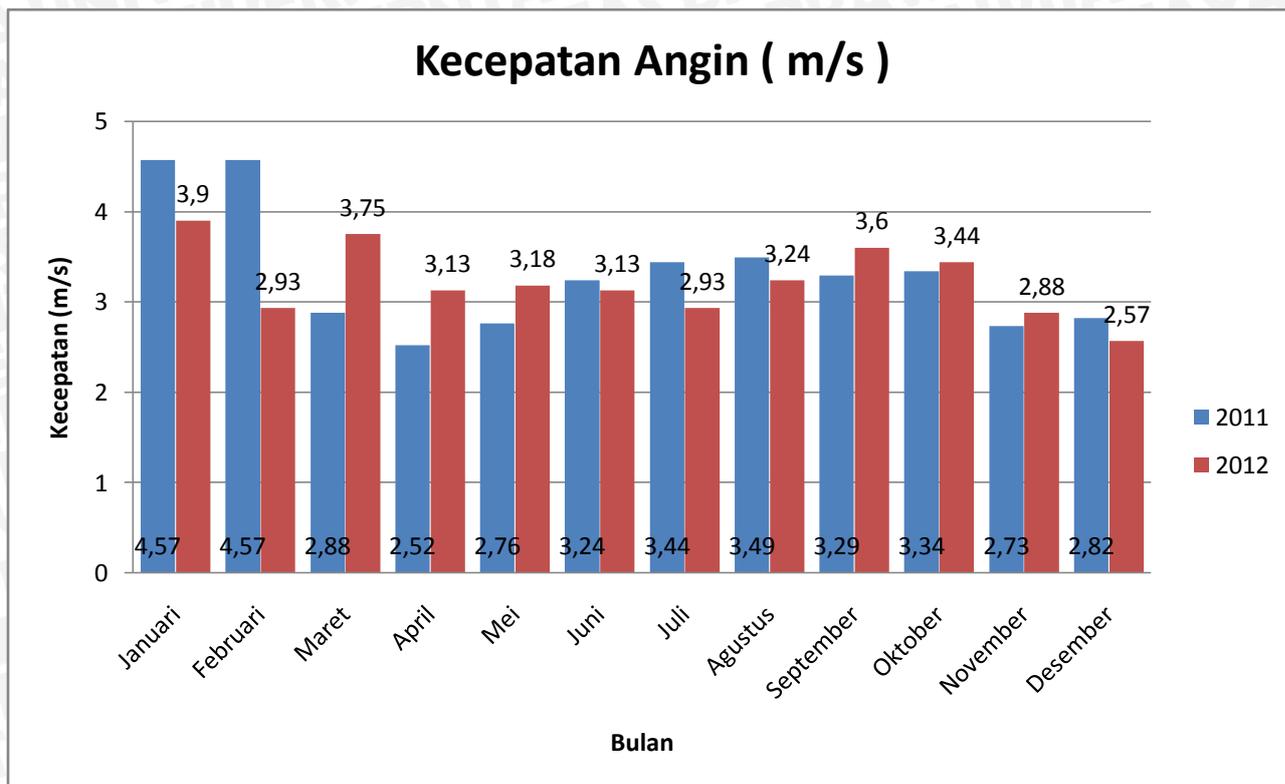
Data kecepatan angin ini diperoleh dari hasil pengukuran yang dilakukan oleh BMKG Semarang dengan lingkup data adalah rata-rata data bulanan pada tahun 2011 dan 2012. Data inilah yang nanti digunakan untuk dapat menentukan besar kapasitas daya listrik yang dapat dihasilkan oleh turbin angin. Adapun data kecepatan angin yang diperoleh pada tahun 2011 dan 2012 adalah sebagai berikut.

Tabel 4.3 Data Kecepatan Angin Rata-Rata di Pulau Karimun Jawa

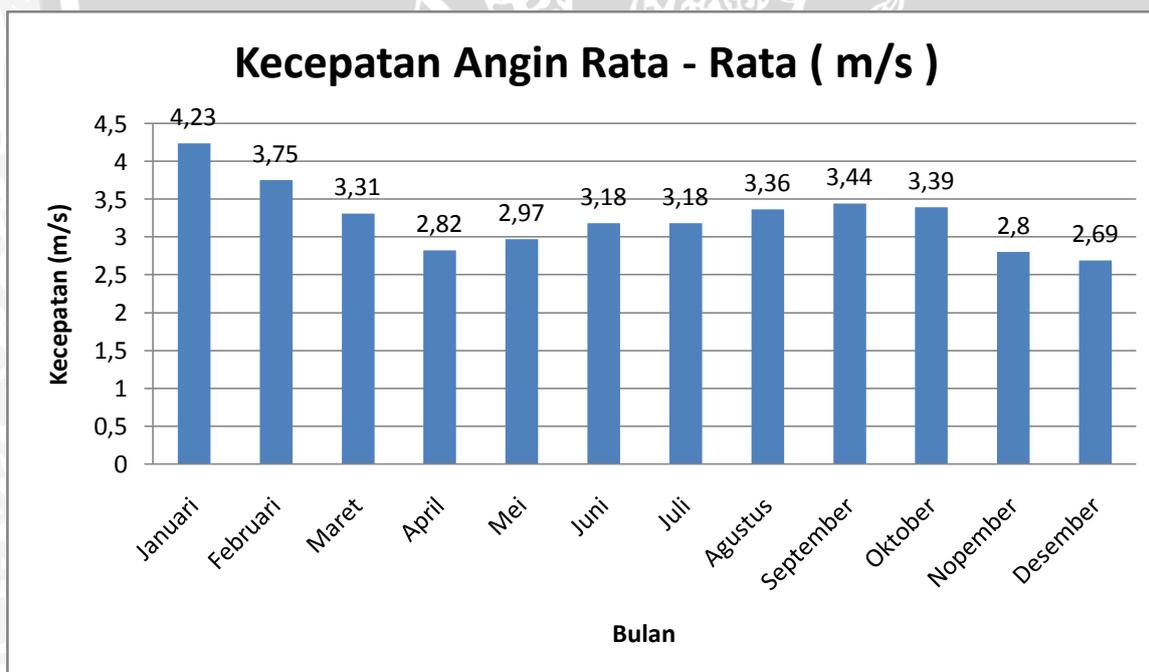
Bulan	2011	2012	Rata – Rata Kec. Angin 2011 dan 2012
	m/s	m/s	m/s
Januari	4,57	3,90	4,23
Februari	4,57	2,93	3,75
Maret	2,88	3,75	3,31
April	2,52	3,13	2,82
Mei	2,76	3,18	2,97
Juni	3,24	3,13	3,18
Juli	3,44	2,93	3,18
Agustus	3,49	3,24	3,36
September	3,29	3,60	3,44
Oktober	3,34	3,44	3,39
November	2,73	2,88	2,80
Desember	2,82	2,57	2,69

Sumber : BMKG Kota Semarang

Atau dapat dinyatakan juga dalam bentuk grafik.



Gambar 4.3 Grafik Kecepatan Angin Tahun 2011 dan 2012



Sumber : BMKG Kota Semarang

Gambar 4.4 Grafik Kecepatan Angin Rata-Rata Tahun 2011 dan 2012

Dari Gambar 4.3 dapat diketahui bahwa pulau Karimun Jawa memiliki kecepatan angin yang bervariasi mulai dari tahun 2011 dan 2012. Pada tahun 2011 puncak tertinggi kecepatan angin berada pada bulan Januari yaitu sebesar 4,57 m/s dan posisi terendah pada bulan April yaitu 2,52 m/s. Sedangkan pada tahun 2012 puncak tertinggi kecepatan angin berada pada bulan Januari yaitu sebesar 3,75 m/s dan posisi terendah berada pada bulan Desember yaitu sebesar 2,57 m/s.

Dari perbandingan tahun 2011 dan 2012 dapat dirata-rata kecepatan angin dan disimpulkan bahwa pada bulan Januari kecepatan angin berada pada kecepatan tertinggi adalah 4,23 m/s. Sedangkan kecepatan terendah ada pada bulan Desember adalah 2,69 m/s.

4.1.4. Data Spesifikasi Komponen Sistem yang Ada di Pasaran

Dalam perancangan ini juga dibutuhkan data spesifikasi komponen yang ada di pasaran, yaitu turbin angin, baterai, dan konverter. Maka dari itu setelah spesifikasi yang dibutuhkan selesai dihitung, dapat dianalisis langkah apa saja yang harus diambil agar sistem yang direncanakan dapat berjalan.

Spesifikasi utama dari turbin angin adalah dinyatakan dengan satuan daya Watt (W), yaitu daya maksimal yang mampu dibangkitkan oleh turbin, berdasarkan dengan kecepatan angin. Berikut adalah spesifikasi turbin angin yang berada di pasaran.

Tabel 4.4 Contoh Spesifikasi *Wind Turbine* yang Ada di Pasaran

Daya Nominal	200 W	600 W	800 W
Tegangan Output	12 V		
Kecepatan Angin Minimum	1,5 m/s	2,5 m/s	2,5 m/s
Kecepatan Angin Standar	5 m/s	13,5 m/s	11 m/s
Jumlah Bilah Kincir	6	5	3
Diameter Bilah Kincir	100 cm	150 cm	230 cm
Tipe Generator	Magnet Permanen		
Rekomendasi Baterai	50-100 Ah (12 VDC)	50-100 Ah x 2 Unit (Seri 24 VDC)	

Spesifikasi utama dari baterai adalah kapasitas baterai yang dinyatakan dengan satuan ampere.hour (Ah). Berikut adalah contoh baterai yang berada di pasaran.

Tabel 4.5 Contoh Spesifikasi Baterai yang Ada di Pasaran

Tegangan Nominal	12 V				
Kapasitas Nominal	40 Ah	55 Ah	60 Ah	100 Ah	150 Ah
Umur Pemakaian	10 tahun				
Suhu Operasi	-20 ⁰ C s/d 60 ⁰ C				
Dimensi	197x465x170 mm	239x132x205 mm	258x166x206 mm	330x171x215 mm	482x170x240 mm
Berat	14,7 kg	17,3 kg	24 kg	29 kg	48,4 kg

Spesifikasi utama dari konverter 3 fasa adalah kapasitas daya yang dapat disalurkan oleh konverter daya tersebut. Berikut adalah contoh konverter 3 fasa yang ada di pasaran.

Tabel 4.6 Contoh Konverter 3 Fasa yang Ada di Pasaran

Daya Output Kontinu	50 kW	75 kW	85 kW	100 kW	150 kW
Tegangan AC Nominal	208, 240, 480, atau 800 VAC, 3Phase, (3 wire standard, 4 wire option)				
Tegangan Masukan Maksimum	600 VDC				
Range Tegangan Input	300 – 500 VDC				
Frekuensi Nominal	50 Hz				
Batas Frekuensi Output	50 Hz – 60 Hz				
Arus Output DC Nominal	176 A	211 A	264 A	299 A	351 A
Arus Output AC Nominal :					
208 VAC	139 A	167 A	208 A	236 A	278 A
240 VAC	120 A	144 A	180 A	205 A	240 A
480 VAC	60 A	72 A	90 A	102 A	120 A

600 VAC	48 A	58 A	72 A	82 A	96 A
Efisiensi	97,70 %	97,80 %	97,10 %	96,70 %	96,90 %
Batas Suhu	40 ⁰ C s/d 50 ⁰ C				
Berat	659 kg	852 kg	941 kg		
Dimensi	1986 mm x 1270 mm s/d 1346 mm x 838 mm				

4.1.5 Data Karakteristik Indeks Bunga di Indonesia

Data ini diperlukan dalam analisis ekonomis. Seperti yang diketahui sebelumnya bahwa uang memiliki nilai waktu yang besarnya ditentukan oleh suku bunga suatu negara. Di Indonesia standard suku bunga yang berlaku adalah suku bunga yang ditetapkan oleh Bank Indonesia atau BI rate. Besarnya berubah-ubah menurut kondisi keuangan di Indonesia. Nilai BI rate untuk tahun 2013–2014 berkisar antara 6–7% seperti yang terlihat pada Tabel 2.5.

Dari Tabel 2.5 tampak bahwa suku bunga di Indonesia pada Juni 2013 adalah 6,00% dan kemudian naik menjadi 7,50% pada Mei 2014, maka dapat disimpulkan bahwa BI Rate di Indonesia cenderung naik, sehingga dalam perhitungan nanti dapat kita gunakan suku bunga terakhir sebagai acuan, yaitu 7,50%.

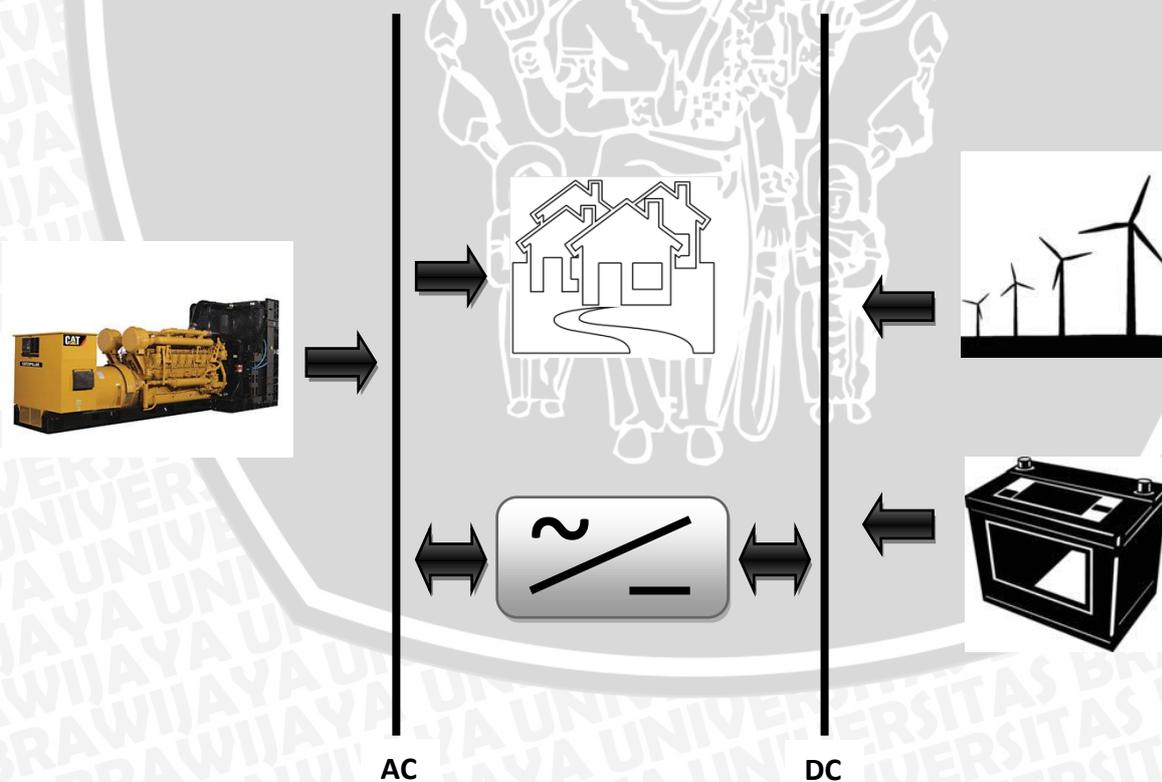
4.2 Perencanaan Sistem

Penentuan kebutuhan total beban merupakan langkah awal dalam perencanaan sistem hibrid antara PLTD dengan turbin angin. Pada sistem hibrid yang direncanakan adalah dengan tipe penggabungan *cycle charging/battery storage*. Dikarenakan mengantisipasi tidak adanya angin untuk menggerakkan turbin angin dan membantu pengisian daya baterai apabila turbin angin tidak bergerak.

Pada bab ini akan dibahas tentang penentuan karakteristik dari komponen-komponen pembangkit listrik hibrid berdasarkan beban yang ada, yaitu terdiri dari perencanaan turbin angin, perencanaan baterai dan konverter tiga fasa yang akan digunakan. Untuk menentukan komponen-komponen yang dibutuhkan, terlebih dahulu kita harus menentukan seberapa besar daya yang akan dipasok oleh sistem yang dirancang.

Dari Tabel 4.2 dapat ditentukan bahwa perencanaan turbin angin digunakan sebagai pembangkit listrik yang membantu peran PLTD karena besarnya biaya bahan bakar. Ada dua konfigurasi dalam PLTH yang akan dibuat berdasarkan data beban dan data mesin diesel

yang ada di Pulau Karimun Jawa. Konfigurasi pertama adalah konfigurasi PLTD *Existing* yaitu dengan hanya melibatkan PLTD dalam menyokong seluruh beban yang ada di pulau tersebut. Dimana dalam konfigurasi tersebut akan dibandingkan dengan sistem PLTHybrid. Konfigurasi kedua adalah konfigurasi PLTHybrid yang mana PLTD masih beroperasi dan menghibridkan dengan PLTAngin dan baterai dengan pembagian beban PLTD bekerja pada saat beban relatif tinggi yaitu 112,65 kW dan PLTAngin bekerja pada beban relatif rendah yaitu 57,09 kW. Pada konfigurasi ini PLTD masih menjadi penghasil energi utama dan PLTAngin sebagai sumber energi penyokong. Dengan mempertimbangkan keadaan terekstrim dimana angin tidak ada dan turbin angin tidak dapat menghasilkan daya yang bisa digunakan untuk mengisi baterai, maka energi lebih pada PLTD pada saat penyuplaian beban besar yaitu pada pukul 18.00-24.00 digunakan untuk mengisi daya baterai sehingga pada pukul 24.01-06.00 sumber daya dapat disuplai oleh sumber energi terbarukan dan juga perlu penentuan pola penjadwalan operasi generator agar didapat sistem yang optimal dikarenakan penggunaan bahan bakar pada PLTD yang menjadi faktor terbesar dalam hal pengeluaran biaya. Konfigurasi sistem secara umum yang akan dibentuk adalah sebagai berikut.



Gambar 4.5 Sistem Konfigurasi PLTHybrid

(Sumber : Penulis)

Dari Gambar 4.5 dapat dilihat komponen-komponen apa saja yang akan digunakan dalam sistem konfigurasi PLTH. Dimulai dari pemilihan spesifikasi alat yang sesuai dengan kebutuhan beban yang akan dipasok dan ketersediaannya dipasaran. Meninjau turbin listrik yang berdaya kecil dan sumber angin yang tidak menentu tiap harinya, maka diasumsikan pembagian operasi PLTD dan PLTAngin adalah berdasarkan besar beban tinggi dan beban rendah. Beban tinggi pada pukul 18.00 hingga 24.00 ini akan disuplai oleh PLTD dan kemudian beban rendah pada pukul 24.01 hingga 06.00 ini akan disuplai oleh PLTAngin.

Berdasarkan teori bahwa potensi angin ideal untuk dapat membangkitkan listrik adalah sebagai berikut.

- Angin kelas 3 hingga kelas 8, yaitu kecepatan angin antara 3,4 m/s hingga 20,7 m/s.
- Rata-rata *cut-in wind speed* atau minimal kecepatan angin untuk dapat memutar baling-baling dan membangkitkan daya adalah 2,5 m/s hingga 3 m/s.

Dari data yang kecepatan angin bulanan yang diperoleh di Karimun Jawa, maka dapat dihitung potensi daya yang dapat dibangkitkan. Jenis turbin angin yang dipakai adalah tipe Kestrel 800W dengan mempertimbangkan besar kecepatan angin yang ada. Adapun spesifikasi sebagai berikut.

Peak Output Power	= 850 W
Power Output	= 800 W
Cut-in Wind Speed	= 2,5 m/s
Rotor Diameter	= 2,5 m
Swept Area	= 4,15 m ²
Jumlah Sudu	= 3
Tinggi Tower	= 10 meter
Jenis Generator	= Generator DC
Daya Output	= 12, 24,48,110, dan 200 V _{DC}

Dan berikut adalah gambar dan grafik daya Output dari Kestrel 800W.



Gambar 4.6 Wind Turbine Kestrel e230i 800 W

Sumber : <http://www.kestrelwind.co.za/>



Gambar 4.7 Grafik Daya Output pada Kestrel e230i 800 W

Sumber : <http://www.kestrelwind.co.za/>

Maka dari itu dengan menggunakan jenis turbin diatas dapat dihitung potensi daya. Sebagai contoh kecepatan angin rata-rata yang dipakai adalah pada bulan Januari yaitu sebagai berikut.

Kecepatan angin rata-rata pada bulan Januari = 4,23 m/s

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho_a \cdot v^3 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 1,215 \cdot 4,23^3 \\
 &= 188,46 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan potensi energi listrik mulai bulan Januari hingga Desember dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Potensi Daya

Bulan	Daya yang Dihasilkan (Watt)
Januari	188,46
Februari	131,30
Maret	90,29
April	55,84
Mei	65,23
Juni	80,07
Juli	80,07
Agustus	94,45
September	101,36
Oktober	97,00
November	54,66
Desember	48,46

Data-data tersebut akan dimasukkan ke dalam *software* HOMER dan kemudian didapatkan jumlah turbin angin yang akan dipakai. Jumlah ini dihitung berdasarkan jumlah beban daya yang akan disuplai oleh turbin angin yaitu 57,09 kW. Dengan daya nominal satu turbin angin adalah 800 W, maka dengan membagi besar beban dengan daya nominal satu turbin angin didapat 72 buah dengan jumlah total daya yang dihasilkan adalah 57,60 kW.

Dalam penentuan konverter menyesuaikan dengan daya yang akan disuplai oleh *wind turbine* yaitu sebesar 57,60 kW, jadi minimal daya konverter yang dipakai adalah 57,60 kW. Untuk penentuan baterai yang digunakan adalah menggunakan baterai dengan kapasitas 100

Ah. Tegangan kerja pada baterai ini harus sesuai dengan tegangan kerja keluaran turbin angin yaitu 200 V_{DC}. Karena ketersediaan sel-sel baterai dipasaran adalah 12 V, maka sel-sel baterai tersebut harus diseri hingga mendapat nilai yang sesuai. Dalam hal ini jumlah sel-sel baterai yang digunakan adalah 17 sel. Selain itu dengan mempertimbangkan baterai tidak boleh sampai dengan keadaan habis, maka ada faktor lain yang diperhitungkan, yaitu *deep of discharge* (DOD). Faktor DOD adalah suatu ketentuan yang membatasi tingkat kedalaman *discharge* maksimum yang dapat diberlakukan pada baterai tersebut dan berhubungan dengan usia pemakaian baterai. DOD yang diberlakukan pada baterai yang akan digunakan adalah sebesar 20 %. Sehingga nilai perhitungan kapasitas baterai adalah sebagai berikut.

$$\text{Kapasitas Baterai} = \frac{E_B}{V_B \times DOD} = \frac{57090 \text{ Wh}}{200 \times 0,2} = 1427,25 \text{ Ah}$$

Menganggap kapasitas baterai 1400 Ah dan baterai yang digunakan dengan kapasitas 100 Ah, maka baterai harus diparalel sebanyak 14 buah, maka total baterai adalah 238 buah.

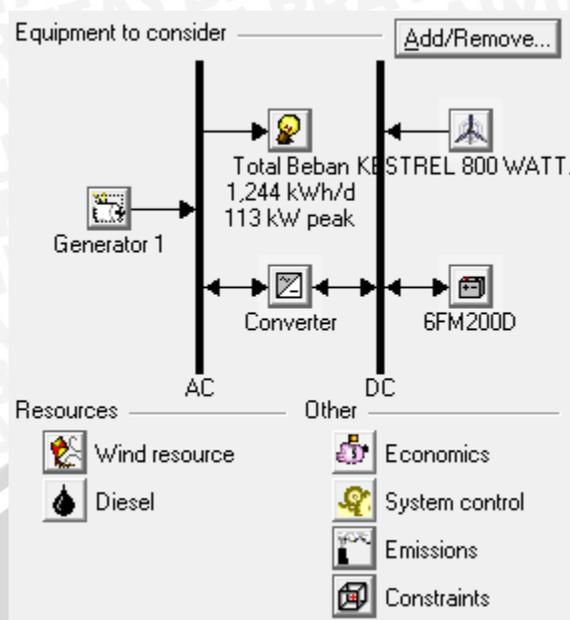
Berikut adalah spesifikasi komponen yang digunakan dan dimasukkan ke dalam HOMER dengan melihat ketersediaan komponen yang ada di pasaran. Dimulai dari kapasitas komponen, harga masing-masing komponen, biaya pengganti dari masing-masing komponen serta umur pakai dari komponen tersebut seperti yang ada pada tabel berikut ini.

Tabel 4.8 Komponen Input *Software* HOMER

Komponen	Kapasitas	Harga	Biaya Pengganti	Minimal Umur Pakai
Generator Diesel	400 kW	\$0,00	\$5000,00	15000 jam
Turbin Angin	800 W	\$2341,00	\$2341,00	15 tahun
Baterai	100 Ah	\$1145,00	\$1145,00	3 tahun
Konverter	120 kW	\$77,03	\$77,03	15 tahun

Berdasarkan komponen-komponen yang akan dimasukkan ke dalam *software* HOMER tersebut, maka didapatkan konfigurasi secara umum pada HOMER adalah sebagai berikut.





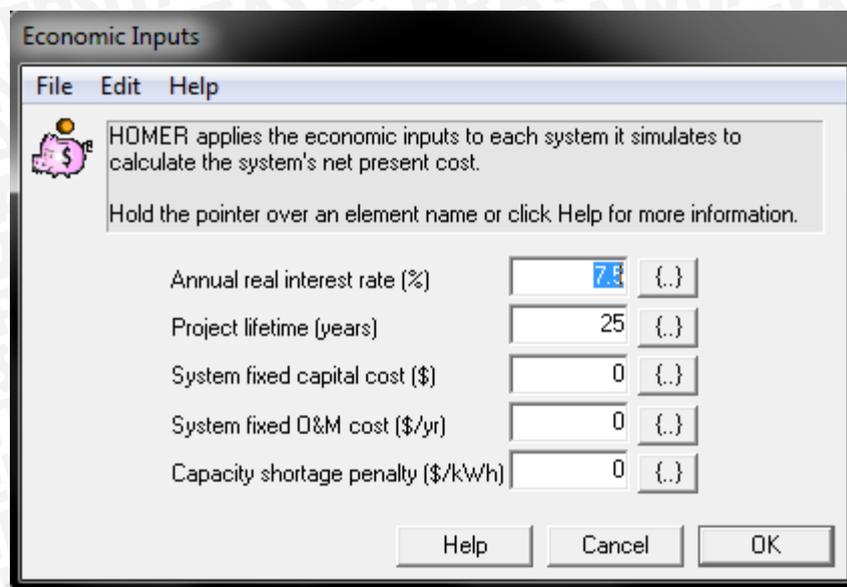
Gambar 4.8 Konfigurasi Sistem PLTHybrid

Pada Gambar 4.8 terlihat beberapa komponen pendukung yang harus dimasukkan seperti pada *icon* Diesel, *Economics*, dan lain-lain. Untuk data kecepatan angin dapat dilihat pada Tabel 4.3, sedangkan untuk data lainnya adalah sebagai berikut.

The 'Diesel Inputs' dialog box is shown with the following details:

- Title:** Diesel Inputs
- Menu:** File Edit Help
- Instructions:** 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):** 0.99
- Limit consumption to (L/yr):** 5000
- Fuel properties:**
 - Lower heating value: 43.2 MJ/kg
 - Density: 820 kg/m³
 - Carbon content: 88 %
 - Sulfur content: 0.33 %
- Buttons:** Help, Cancel, OK

Gambar 4.9 Data Pendukung Diesel



Gambar 4.10 Data Pendukung *Economics*

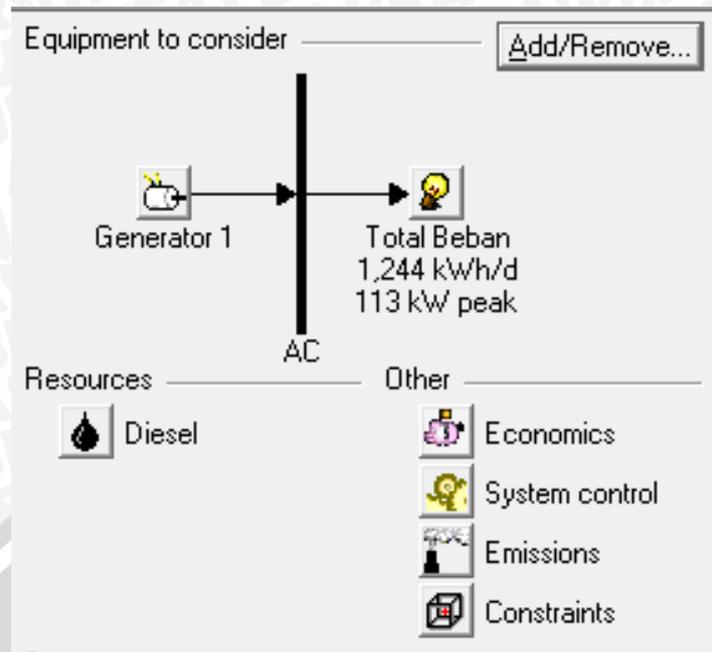
Pada data pendukung ini dibutuhkan harga bahan bakar yang digunakan. Sesuai data yang didapatkan bahwa generator diesel ini menggunakan bahan bakar solar dengan harga industri adalah sebesar Rp 11.600,-/Liter atau sebesar \$ 0,99/Liter berdasarkan kurs Dollar pada 8 Mei 2014 sebesar Rp 11.700,- yang dapat dilihat pada situs Bank BI www.bi.go.id.

Sedangkan pada data pendukung *Economics* pada Gambar 4.10 adalah berisi tentang indeks bunga yang berlaku. Untuk Indonesia pada 8 Mei 2014 indeks bunga adalah 7,50% sesuai dengan Tabel 2.5 yang dapat dilihat juga pada situs resmi Bank BI.

4.3. Hasil Simulasi

4.3.1 Konfigurasi PLTD *Existing*

Simulasi pada konfigurasi ini dimaksudkan untuk menjadi acuan perbandingan dengan hasil simulasi pada konfigurasi kedua. Konfigurasi ini berisi dari generator yang sudah tersedia di Pulau Karimun Jawa. Dengan asumsi generator ini mampu menyuplai beban untuk perhitungan selama 25 tahun mendatang, maka akan menghasilkan konfigurasi dan hasil simulasi seperti pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 sebagai berikut.



Gambar 4.11 Konfigurasi Sistem PLTD *Existing*

	Label (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)
	400	\$ 0	375,362	\$ 4,184,135	0.856	0.00	316,820	5,110

Gambar 4.12 Konfigurasi Sistem PLTD *Existing*

Pada Gambar 4.11 dapat terlihat bentuk konfigurasi PLTD yang ada di Pulau Karimun Jawa. Dengan memasukkan data komponen dan sensitivitas yang berlaku di Indonesia seperti harga bahan bakar diesel dan indeks bunga dan menganggap mesin diesel tersebut selesai *overhaul* dan sistem mampu bertahan untuk 25 tahun ke depan, maka didapatkan hasil simulasi seperti yang terdapat pada Gambar 4.12. Hasil simulasi ini nantinya akan dibandingkan dengan konfigurasi PLTH yang akan dimasukkan ke dalam konfigurasi sistem sebagai acuan apakah konfigurasi PLTH yang dirancang dapat mengoptimasi kerja dari PLTD *Existing*.

4.3.1.1 Analisis Kelistrikan

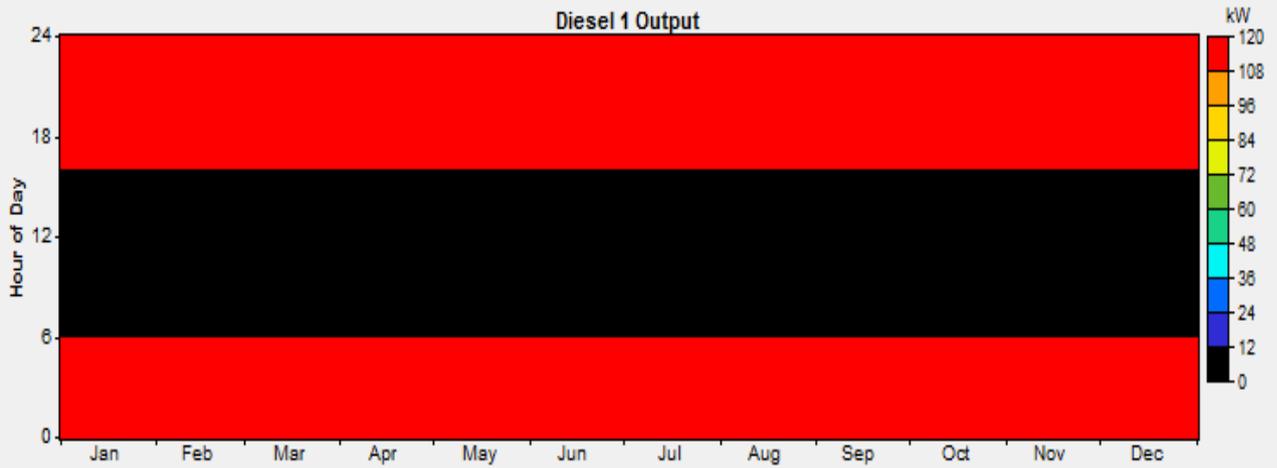
Dalam analisis ini akan ditampilkan hasil simulasi dari generator dalam memenuhi kebutuhan listrik dalam kurun waktu tahunan. Berikut juga dengan kelebihan energi listrik yang mungkin dihasilkan oleh konfigurasi sistem yang akan dibuat. Lebih lanjut akan ditampilkan pada Gambar 4.13 sebagai berikut.



Gambar 4.12 Hasil Simulasi pada PLTD Existing (Electrical)

Pada Gambar 4.13 memperlihatkan tentang operasi pada mesin diesel dalam menghasilkan kelistrikan yang dibutuhkan oleh beban. Dari total daya yang dibangkitkan dan dibutuhkan sebesar 613.200 kWh/tahun dengan kapasitas daya 400 kW dan PLTD disini mensuplai 100 % dari kebutuhan beban. Hal ini juga dapat dilihat pada grafik yang ada pada Gambar 4.12, bahwa generator mensuplai semua kebutuhan beban yang ada di Pulau Karimun Jawa tiap bulan dalam kurun waktu satu tahun.

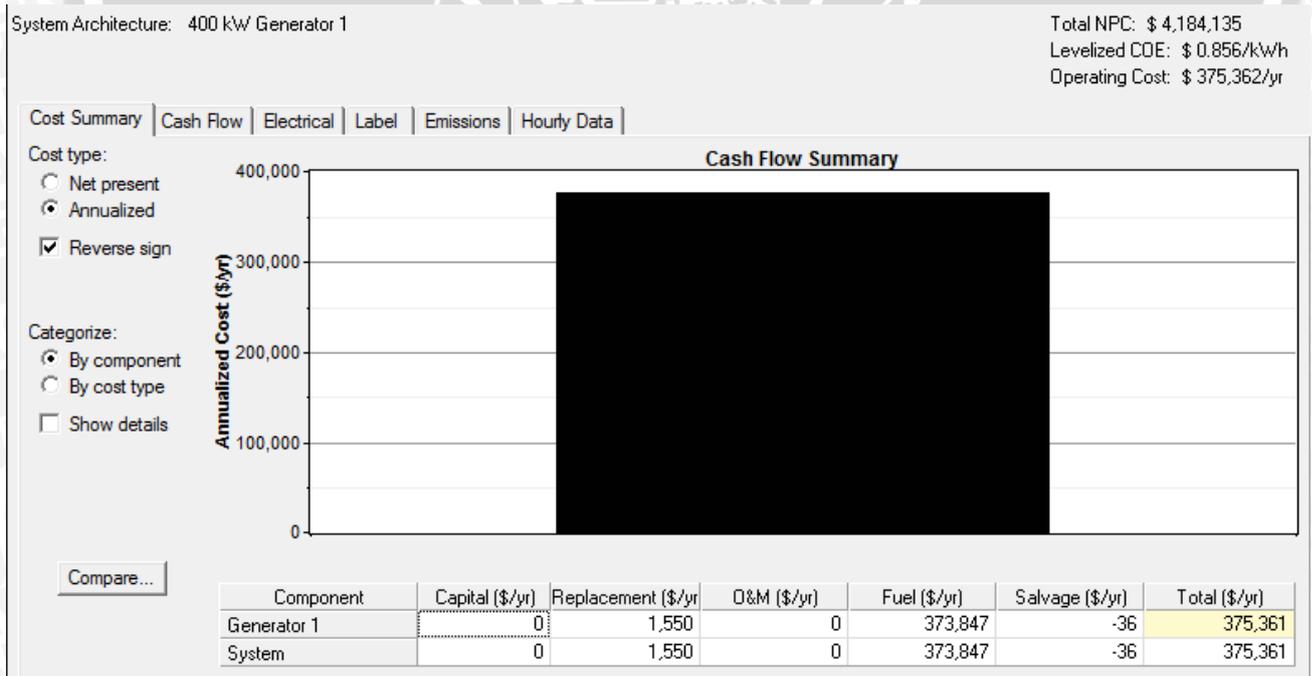
Pada Gambar 4.14 di bawah ini menampilkan tentang pengoperasian generator diesel tiap jam pada rata-rata perharinya. Seperti yang terlihat pada gambar tersebut generator bekerja antara pukul 17.00 hingga pukul 06.00 (ditandai dengan grafik warna merah) per hari dalam kurun waktu satu tahun. Sedangkan pada pukul 06.01 hingga 16.59 generator mati (ditandai dengan grafik warna hitam).



Gambar 4.14 Jam Pengoperasian Generator pada Sistem PLTD Existing

4.3.1.2 Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi disini beracuan pada beberapa hal, yaitu besar modal awal pemasangan sistem (*Initial Capital*), besar nilai NPC (*Net Present Cost*), dan beberapa besar biaya yang digunakan untuk bahan bakar pada konfigurasi sistem PLTD *Existing*. Berikut adalah hasil dari simulasi ekonomi yang dihasilkan HOMER pada konfigurasi sistem PLTD *Existing*.



Gambar 4.15 Hasil Simulasi pada PLTD Existing (Economics)

Pada Gambar 4.15 ini menampilkan tentang hasil ekonomi rata-rata per tahun yang dihasilkan oleh sistem PLTD *Existing*. Biaya-biaya tersebut antara lain adalah biaya rata-rata

O&M (*Operational and Maintenance*) yang harus dikeluarkan per tahun dan biaya bahan bakar yang harus dikeluarkan tiap tahunnya. Dan dapat dilihat juga bahwa besar total NPC pada sistem konfigurasi ini selama 25 tahun mencapai \$ 4,184,135 dengan penggunaan bahan bakar mencapai \$ 373,847 liter/tahun atau seperti yang terlihat pada Gambar 4.15 dengan rincian penggunaan bahan bakar pada konfigurasi PLTD *Existing*.

Cost Summary			Cash Flow			Electrical			Gen 1			Emissions			Hourly Data		
Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units
Hours of operation	5,110	hr/yr	Electrical production	613,200	kWh/yr	Fuel consumption	316,820	L/yr									
Number of starts	366	starts/yr	Mean electrical output	120	kW	Specific fuel consumption	0.517	L/kWh									
Operational life	2.94	yr	Min. electrical output	120	kW	Fuel energy input	3,117,509	kWh/yr									
Capacity factor	17.5	%	Max. electrical output	120	kW	Mean electrical efficiency	19.7	%									
Fixed generation cost	37.8	\$/hr															
Marginal generation cost	0.295	\$/kWh															

Gambar 4.16 Hasil Simulasi Generator PLTD *Existing*

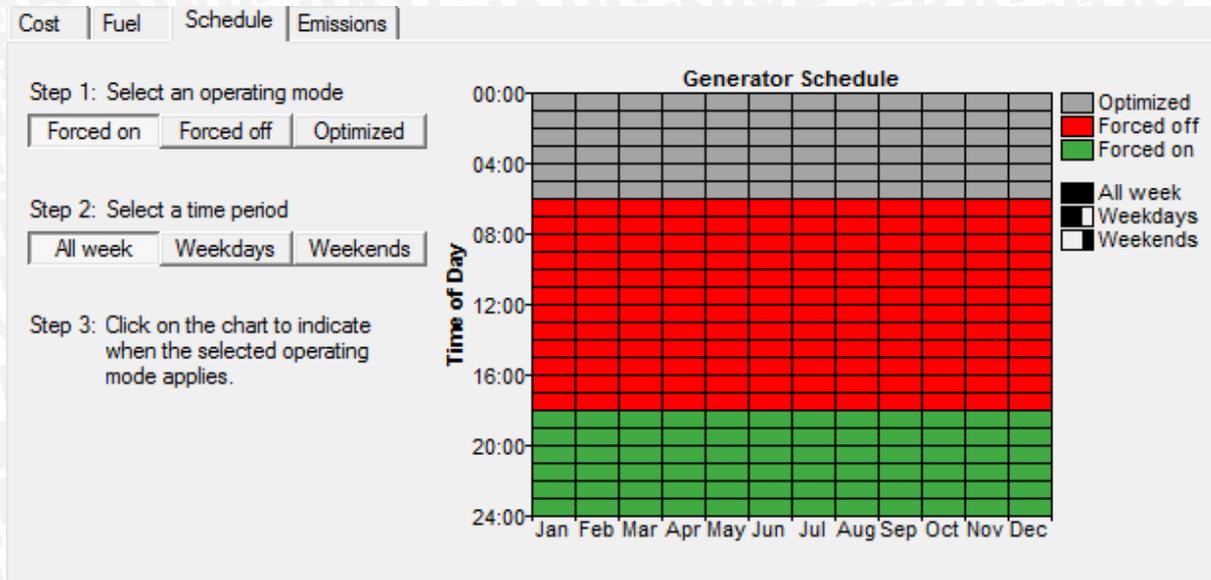
Pada Gambar 4.16 menunjukkan hasil simulasi yang beraneka macam, seperti jam kerja pengoperasian generator dan berapa konsumsi BBM yang dihabiskan generator pada saat jam kerja tersebut berlangsung. Generator diesel ini memiliki konsumsi bahan bakar dan jam kerja yang tinggi karena mengingat hanya ada 1 (satu) generator yang bekerja untuk memenuhi kebutuhan beban di pulau tersebut. Bahan bakar yang dikonsumsi oleh generator tersebut adalah sebesar 316,820 liter/tahun. Dengan ini generator mengkonsumsi 100 % dari total bahan bakar yang ada tiap tahunnya.

Untuk biaya *Initial Capital* pada konfigurasi ini dianggap adalah \$ 0, dikarenakan tidak diketahuinya biaya pemasangan awal seperti penyediaan alat dan pemasangan alat. Untuk biaya perawatan dan penggantian komponen-komponen yang rusak selama pemakaian adalah sebesar \$1,550 per tahunnya.

4.3.2 Konfigurasi PLTHybrid (Diesel–Angin)

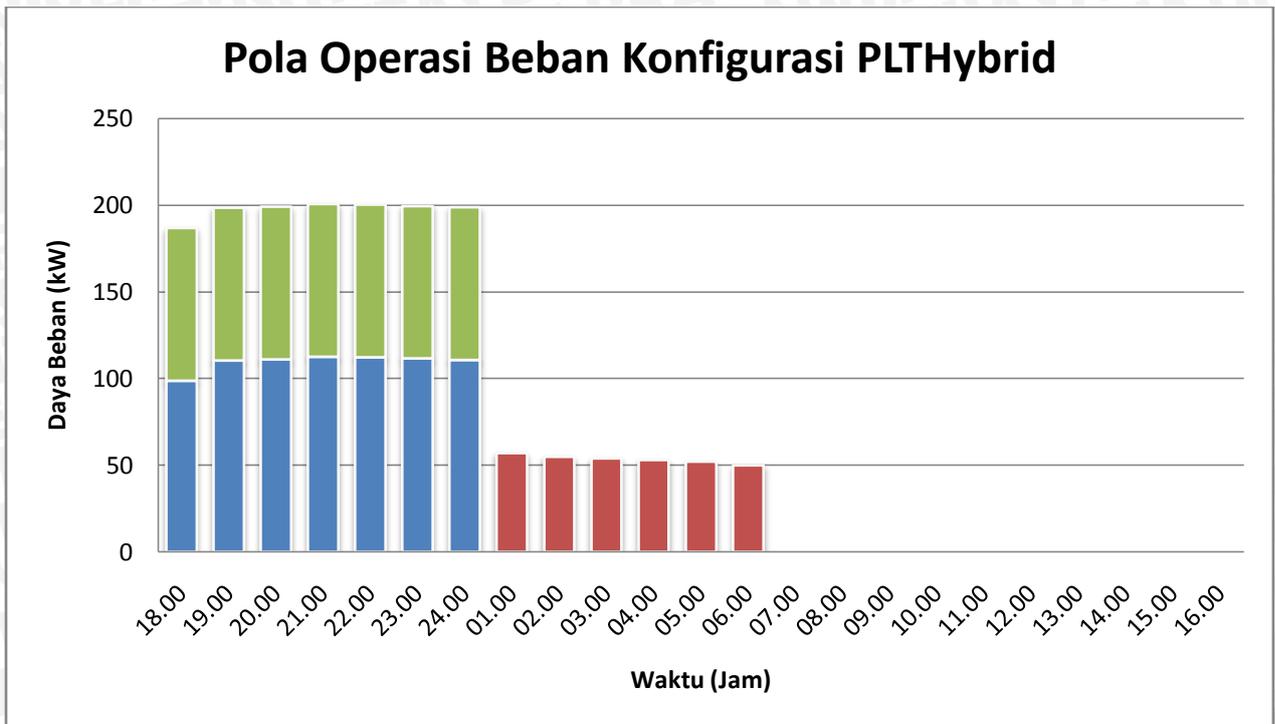
Pada konfigurasi ini adalah menggabungkan kedua buah sistem pembangkit yaitu sistem pembangkit diesel dan sistem turbin angin. Pada beban pelanggan didapat data bahwa pada pukul 18.00 hingga 24.00 besar beban berada pada nilai 112,65 kW dan pada pukul 24.01 hingga 06.00 besar beban berada pada nilai 57,09 kW sedangkan pada pukul 06.01 hingga 17.59 tidak ada pemakaian beban atau beban pada nilai 0 kW. Berdasarkan pola beban pada Gambar 4.2 perencanaan pada konfigurasi PLTHybrid adalah *men-cover* beban yang

berada pada pukul 24.01 hingga 06.00, sehingga dapat disimpulkan bahwa generator diesel akan beroperasi hanya 8 jam yaitu pada pukul 18.00 hingga 24.00 dan pada pukul 24.01 hingga 06.00 suplai beban disuplai oleh PLTA Angin. Maka dapat direncanakan pola penjadwalan kerja PLTD pada *software* HOMER adalah sebagai berikut.



Gambar 4.17 Penjadwalan Generator

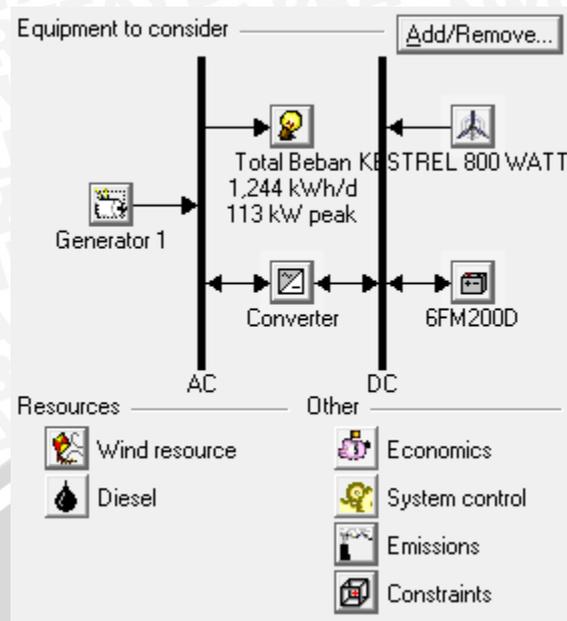
Sistem konfigurasi PLTHybrid ini menggunakan penggabungan *cycle charging/battery storage*. Pada penjadwalan generator diatas dapat dilihat bahwa pada pukul 18.00 hingga 24.00 (ditandai dengan warna hijau) PLTD diatur bekerja mensuplai beban dan sebagian sisa energi yang dihasilkan PLTD digunakan untuk mengisi baterai, pada pukul 24.01 hingga 06.00 PLTD *stand by* (ditandai dengan warna abu-abu) dan pada saat ini besar beban disuplai oleh PLTA Angin, sedangkan pada pukul 06.01 hingga 17.59 PLTD dan PLTA Angin mati dikarenakan pemakaian beban pada saat ini adalah 0 kW (ditandai dengan warna merah).



Gambar 4.18 Pola Operasi Beban Konfigurasi PLTHybrid

Pada Gambar 4.18 diatas adalah pola operasi beban pada konfigurasi PLTHybrid. Pada Grafik berwarna biru adalah beban dasar yang harus ditanggung oleh PLTD 400 kW yaitu 28% dari total daya beban yang dihasilkan PLTD. Dengan mempertimbangkan nilai SFC (*Specific Consumption Fuel*) yaitu semakin besar kapasitas pembebanan semakin optimal dan hemat pemakaian bahan bakar, dalam hal ini SFC bernilai $\geq 50\%$. Pada sistem ini PLTD bekerja hanya pada saat pukul 18.00-24.00. Karena sistem menggunakan penggabungan *cycle charging* dimana PLTD juga menyuplai daya baterai dengan mempertimbangkan kondisi terekstrim turbin angin tidak dapat mengisi daya baterai, maka penambahan beban daya sebesar 22% agar SFC dapat terpenuhi dan PLTHybrid dapat bekerja optimal yaitu sebesar 88 kW (grafik warna hijau) dari total jumlah baterai berkapasitas 100Ah yaitu 238 buah yang mana nantinya akan digunakan untuk mensuplai beban pada pukul 01.00-06.00 (grafik warna merah).

Dari penjadwalan generator diatas, pada *software* HOMER dapat dibuat simulasi konfigurasi PLTHybrid adalah sebagai berikut.



Gambar 4.19 Konfigurasi Sistem PLTHybrid

Double click on a system below for simulation results.

Icons	W800	gen1 (kW)	6FM200D	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Diesel (L)	gen1 (hrs)
[Wind][Diesel][Battery][Converter]			238	120	\$ 1,222	68	\$ 1,975	0.666	0.00	1.00		
[Wind][Diesel][Battery][Converter]	72		238	120	\$ 3,563	127	\$ 4,979	0.015	1.00	1.00		
[Wind][Diesel][Battery][Converter]	72	400	238	120	\$ 3,563	214,055	\$ 2,389,624	0.494	0.07	0.01	214,456	2,821
[Wind][Diesel][Battery][Converter]		400	238	120	\$ 1,222	227,727	\$ 2,539,684	0.520	0.00	0.00	228,248	2,920

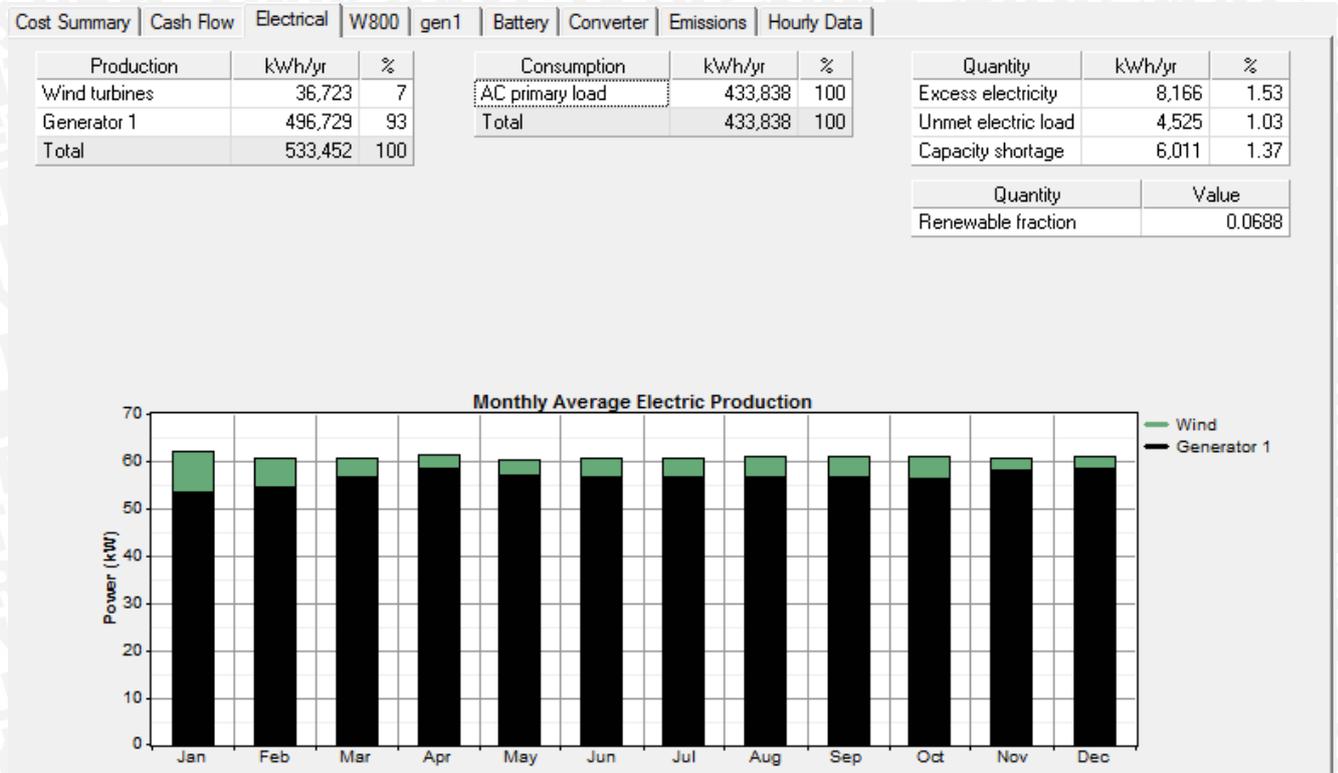
Gambar 4.20 Hasil Simulasi dari Konfigurasi Sistem PLTHybrid

Pada Gambar 4.19 dapat dilihat bahwa konfigurasi ini menggunakan semua komponen yang dibutuhkan untuk sistem PLTHybrid. Disini untuk PLTAngin menggunakan Kestrel e230i dengan daya 800 W. Pada konfigurasi ini banyaknya *wind turbine* yang dibutuhkan adalah sebanyak 72 buah. Banyaknya pemakaian jumlah *wind turbine* ini berdasarkan oleh jumlah beban pelanggan pada pukul 24.01 hingga 06.00 dan *wind turbine* ini yang akan mensuplai besar beban tersebut. Sehingga besar total daya yang dapat dihasilkan oleh *wind turbine* adalah 57,60 kW.

Pada Gambar 4.20 menjelaskan tentang hasil simulasi pada konfigurasi yang telah dilakukan oleh HOMER. Konfigurasi ini melibatkan penggunaan komponen yang diperlukan dan yang mana menurut HOMER memiliki tingkat efisiensi yang maksimal berdasarkan nilai total NPC yang dihasilkan.

4.3.2.1 Analisis Kelistrikan

Analisis kelistrikan disini akan membahas hasil simulasi yang dihasilkan oleh HOMER mengenai peran masing-masing komponen dalam menyuplai beban. Berikut adalah tampilan dari hasil simulasi yang dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4.21 Hasil Simulasi Konfigurasi PLTHybrid (*Electrical*)

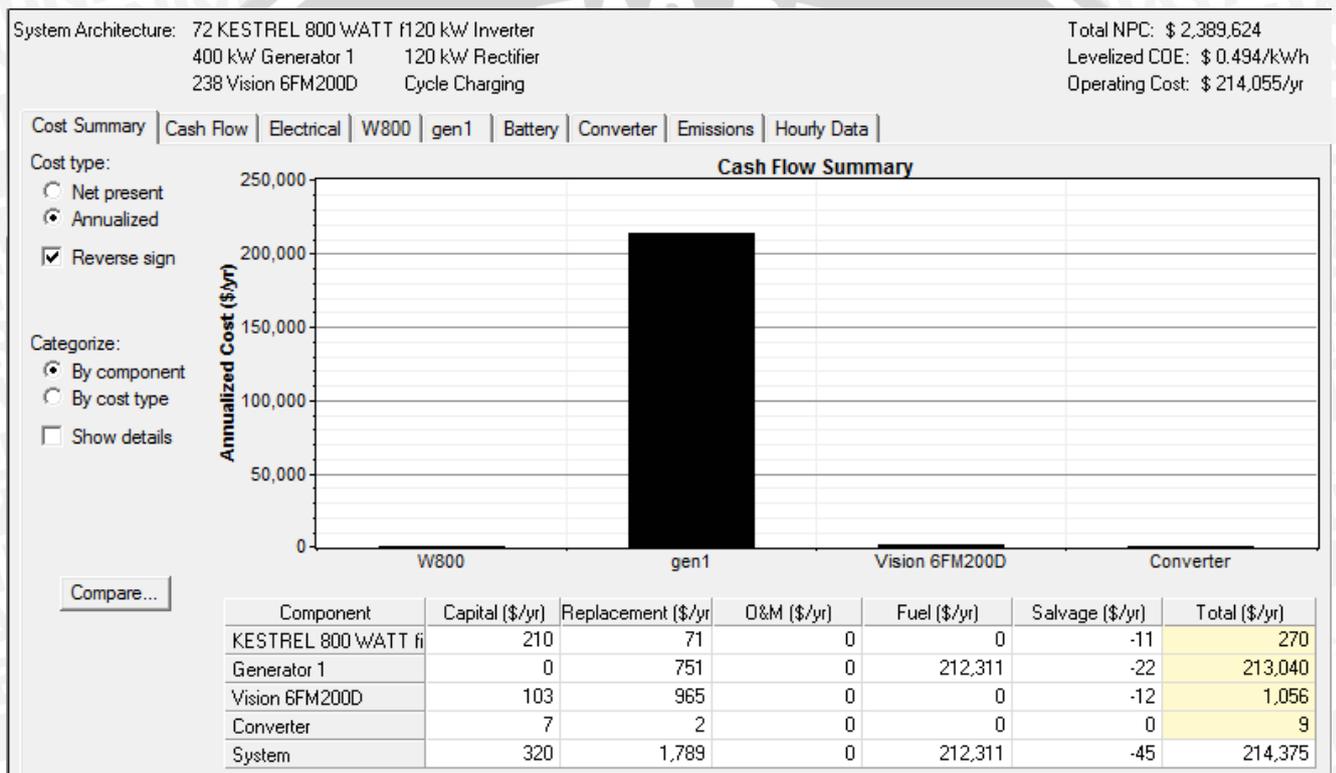
Pada Gambar 4.21 ini memperlihatkan tentang operasi pada PLTH dalam menghasilkan listrik yang dibutuhkan oleh beban. Peranan turbin angin disini adalah 7% dari total beban yang dihasilkan dalam kurun waktu satu tahun yaitu sebesar 36,723 kWh/tahun. Sedangkan pada PLTD yang sebelumnya mensuplai beban penuh menurun menjadi 93% yaitu sebesar 538,874 kWh/tahun. Penurunan pada PLTD ini terjadi karena adanya turbin angin yang membantu pensuplaian beban dan juga dikarenakan penjadwalan pemakaian generator diesel.

Kelebihan energi listrik selalu menjadi perhatian yang cukup penting apabila kita menggunakan sumber energi terbarukan ke dalam konfigurasi sistem. Kelebihan energi atau *excess electricity* pada konfigurasi ini hanya sebesar 8,166 kWh/tahun. Yang mendapat perhatian juga adalah pada kolom *capacity shortage* atau kekurangan kapasitas yang berarti semakin tinggi nilai *capacity shortage* maka semakin tinggi pula beban yang tidak terlayani,

namun apabila nilai dari *capacity shortage* ini kecil maka sistem termasuk berkualitas bagus. Pada sistem konfigurasi ini nilai dari *capacity shortage* adalah sebesar 6,011 kWh/tahun atau sebesar 1,37%.

4.3.2.2 Analisis Ekonomi

Pada konfigurasi ini analisis ekonomi juga masih pembahasan terkait biaya *initial capital*, total NPC, dan penggunaan bahan bakar terkait dengan segi jumlah yang digunakan maupun biaya yang dihasilkan dari penggunaan tersebut. Berikut adalah hasil simulasi yang dilakukan oleh HOMER untuk sistem konfigurasi PLTHybrid ini.



Gambar 4.22 Hasil Simulasi pada Konfigurasi PLTHybrid (*Economics*)

Dari Gambar 4.22 diatas dapat dilihat bahwa pada konfigurasi PLTHybrid ini nilai dari Total NPC mengalami penurunan dibanding dengan konfigurasi PLTD *existing*. Nilai total NPC pada konfigurasi ini adalah sebesar \$ 2.389.624 dengan perhitungan selama 25 tahun. Namun dibalik berkurangnya nilai total NPC, sistem konfigurasi ini memiliki biaya tambahan yaitu pada biaya penyedia komponen awal sistem atau *Initial Capital*. Biaya ini cenderung cukup mahal karena komponen yang digunakan cukup banyak dan jika kita bandingkan dengan penurunan Total NPC, memang cenderung tidak seimbang dan masih lebih besar biaya yang dikeluarkan untuk penyediaan komponen pada PLTHybrid. Namun



jika dilihat dari tujuan awal berupa kebijakan pemerintah untuk mengurangi penggunaan bahan bakar *fossil*, konfigurasi ini merupakan solusi terbaik.

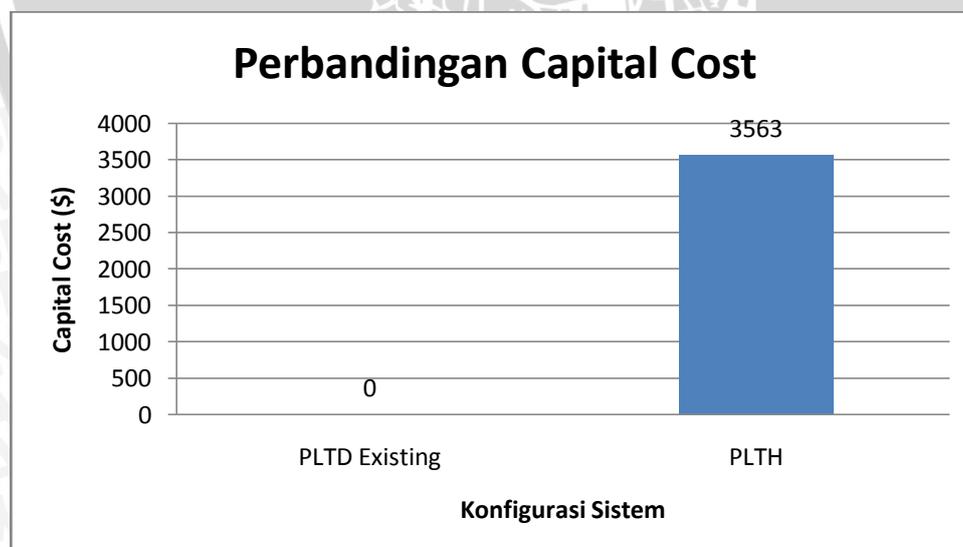
Terbukti dilihat pada Gambar 4.20 sistem konfigurasi PLTHybrid ini jumlah penggunaan bahan bakar cenderung turun menjadi 214.456 liter/tahun atau biaya bahan bakar sebesar \$212.311/tahun. Biaya bahan bakar ini adalah salah satu aspek tertinggi dalam penggunaan konfigurasi yang ditentukan.

4.3.3 Analisis Parameter

Dari hasil simulasi yang dilakukan HOMER pada masing-masing konfigurasi yang ditentukan untuk mengoptimasi PLTD *existing* yang ada di Pulau Karimun Jawa, maka didapat nilai parameter yang berbeda untuk masing-masing konfigurasi sistem yang dibuat. Berikut adalah analisis yang dibuat untuk menentukan konfigurasi yang optimal berdasarkan parameter yang ada.

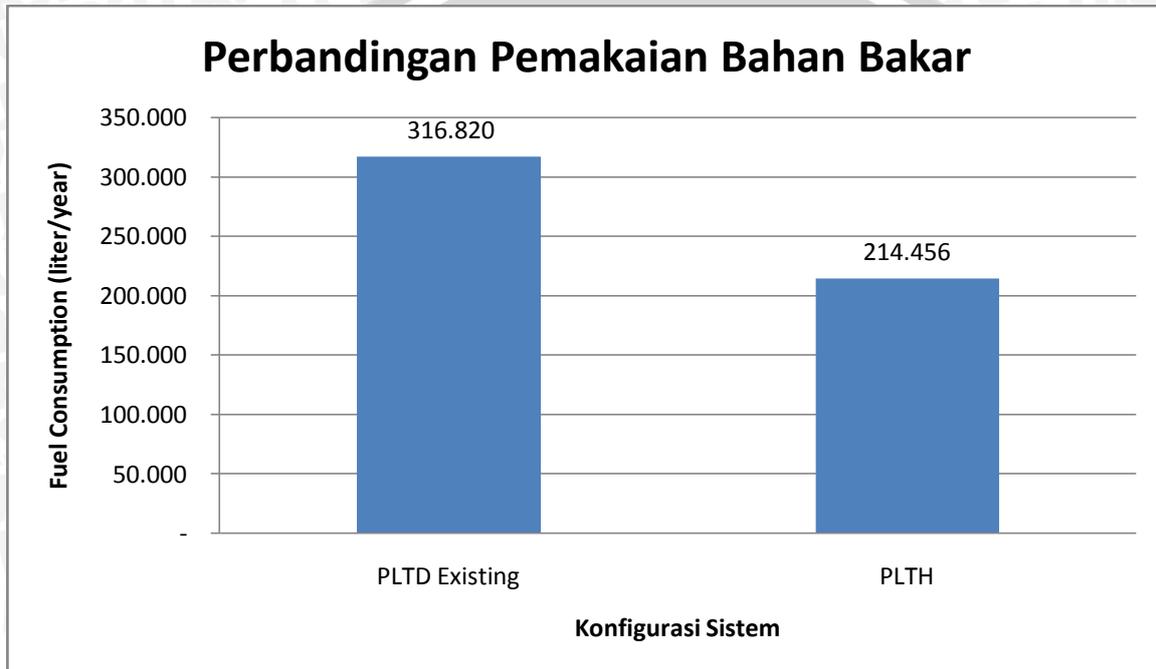
4.3.3.1 Perbandingan Parameter

Dalama analisis ini dilakukan perbandingan parameter yang menjadi hal penting dari hasil simulasi yang dibuat oleh HOMER. Parameter ini nantinya akan dibandingkan dengan kedua jenis konfigurasi sistem yang telah disimulasi. Berikut adalah beberapa perbandingan parameter pada kedua konfigurasi tersebut.



Gambar 4.23 Perbandingan *Capital Cost*

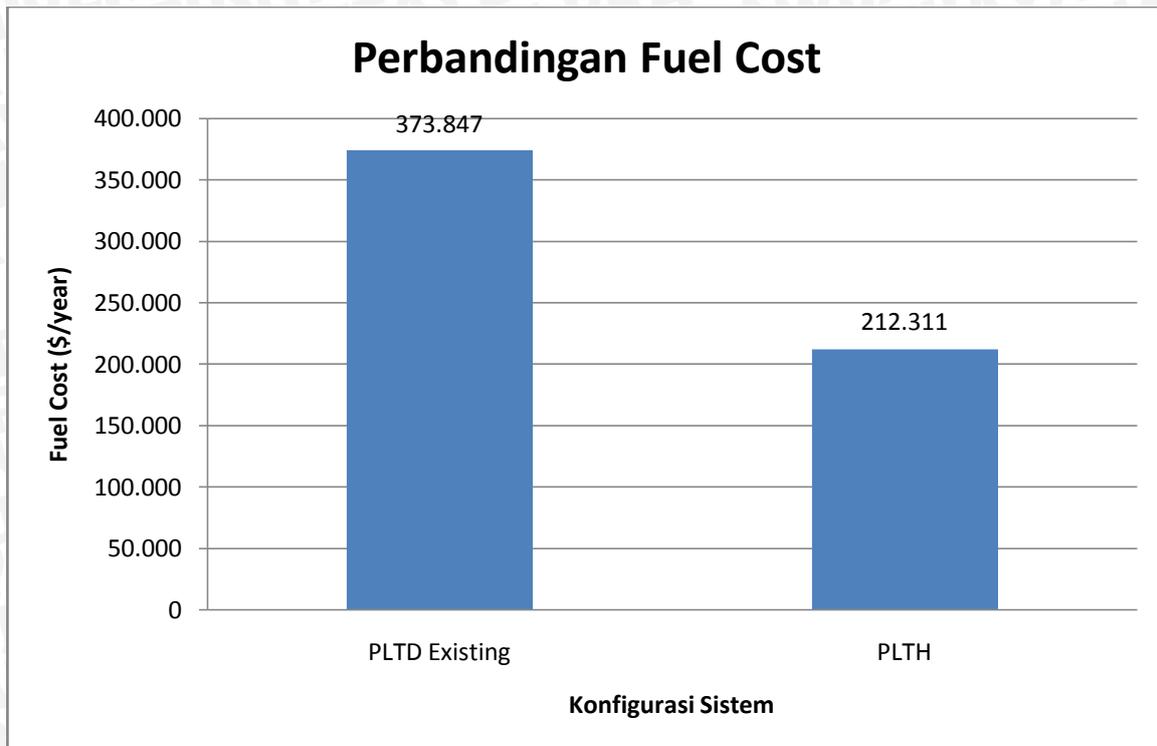
Dari Gambar 4.23 dapat diketahui bahwa biaya awal paling tinggi adalah pada konfigurasi PLTHybrid dengan komponen energi terbarukan adalah turbin angin. Hal ini disebabkan peran dari energi terbarukan adalah digunakan untuk mengkompensasi beban pelanggan sebesar 57,09 kW. Maka dari itu dibutuhkan sumber energi terbarukan yang dapat mengganti besar beban tersebut dan hal ini akan meningkatkan *capital cost* karena kapasitas turbin angin yang digunakan adalah 800 W. Meskipun begitu, konfigurasi dengan biaya awal yang besar belum tentu merupakan konfigurasi paling buruk untuk diterapkan.



Gambar 4.24 Perbandingan Pemakaian Bahan Bakar

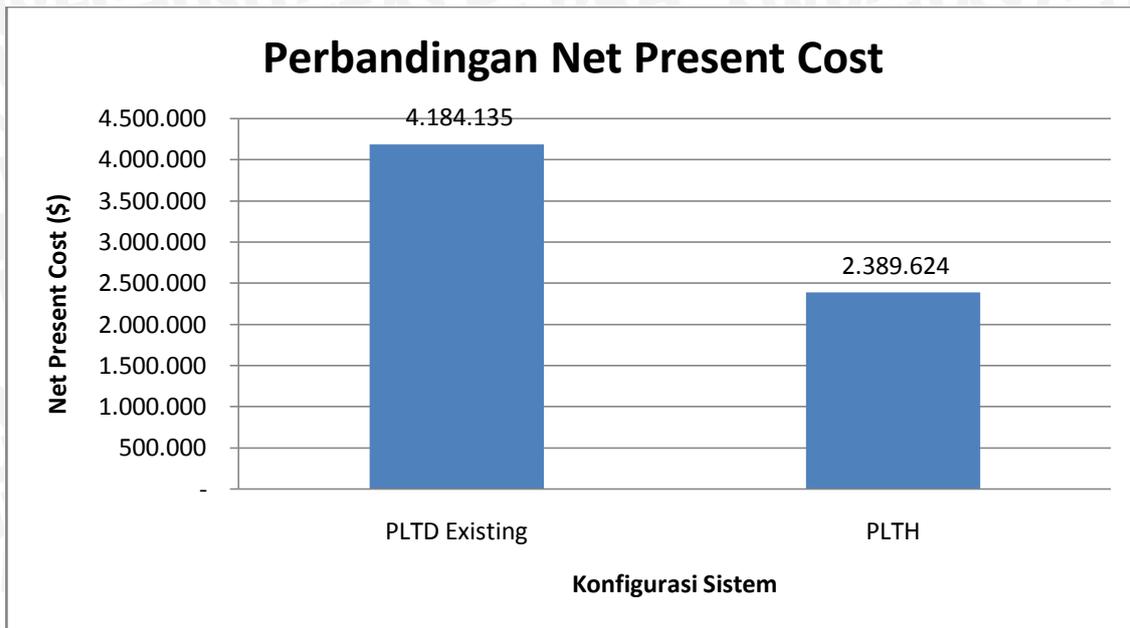
Penggunaan bahan bakar adalah bagian dari pembangkitan listrik yang tidak menggunakan sumber energi terbarukan. Dalam hal ini, pembangkitan listrik tenaga diesel adalah salah satu pembangkit yang menggunakan bahan bakar agar dapat bekerja memproduksi listrik dengan jumlah besar.

Dari Gambar 4.24 dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan sumber energi terbarukan dapat mengurangi jumlah penggunaan bahan bakar pada generator diesel. Konfigurasi PLTHybrid tampak pada nilai 214.456 liter/tahun dalam penggunaan bahan bakarnya. Hal ini berarti dengan adanya sumber energi terbarukan penggunaan bahan bakar generator berkurang hingga sebesar 67,69% atau 102.364 liter/tahun dari generator diesel yang sebelumnya memakai bahan bakar sebesar 316.820 liter/tahun.



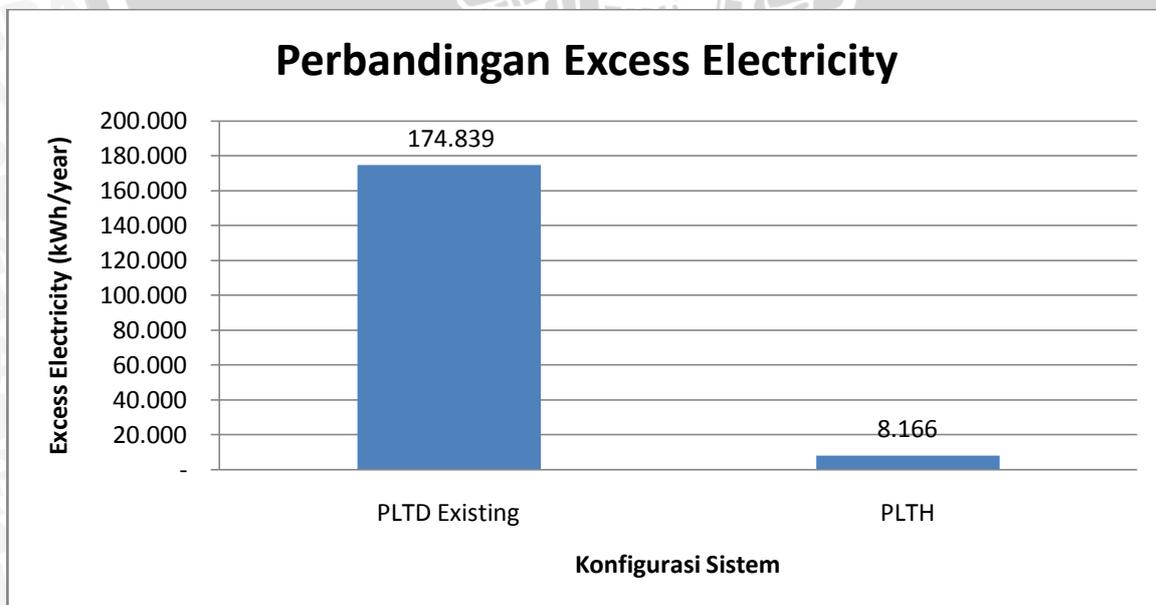
Gambar 4.25 Perbandingan *Fuel Cost*

Perbandingan biaya bahan bakar pada Gambar 4.25 ini berdasarkan pada pemakaian bahan bakar untuk masing-masing konfigurasi. Sama seperti perbandingan sebelumnya, konfigurasi PLTHybrid memiliki tingkat biaya paling rendah yaitu sebesar \$ 212.311/tahun atau 5,67% dari biaya bahan bakar yang digunakan oleh konfigurasi PLTD *Existing*. Biaya ini adalah biaya yang dikeluarkan oleh sistem untuk perhitungan selama 25 tahun.



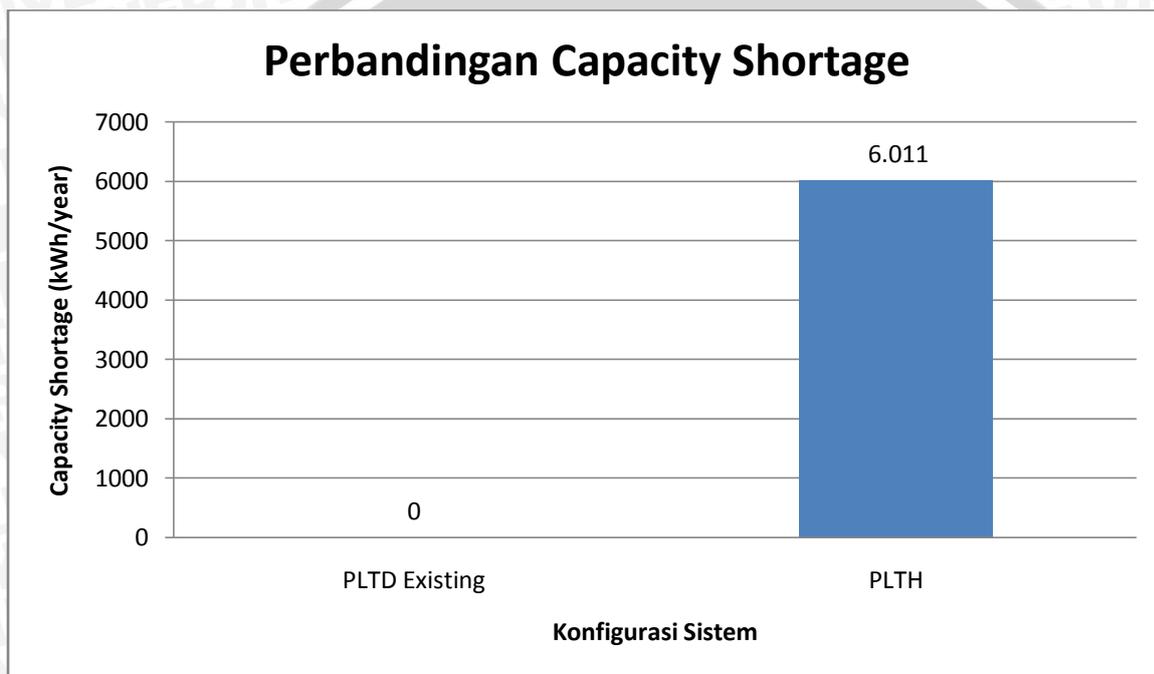
Gambar 4.26 Perbandingan *Net Present Cost*

Nilai NPC (*Net Present Cost*) didapatkan dari total biaya yang dibutuhkan dari awal hingga akhir perhitungan selama 25 tahun. Berdasarkan rumus perhitungan NPC ada pada Bab 2, HOMER mendapatkan besar nilai NPC pada tiap-tiap konfigurasi. Melihat pada Gambar 4.26, pada konfigurasi PLTD nilai NPC yang didapatkan cukup tinggi yaitu sebesar \$4.184.135 dibanding dengan konfigurasi PLTHybrid yaitu sebesar \$2.389.624. Dari perbandingan di atas terbukti bahwa dengan menambahkan turbin angin nilai NPC dapat berkurang sebesar \$1.794.511 atau sebesar 57,11%.



Gambar 4.27 Perbandingan *Excess Electricity*

Pada Gambar 4.26 terlihat bahwa pada konfigurasi PLTD nilai dari *excess electricity* cenderung besar yaitu 174.839 kWh/tahun dan pada konfigurasi PLTHybrid nilai *excess electricity* sebesar 8.166 kWh/tahun. Nilai pada *excess electricity* atau kelebihan energi ini berguna untuk pengisian baterai. Karena sistem pada PLTHybrid strategi pengisian baterai menggunakan mode *cycle charging*, yaitu cara pengisian baterai dimana generator bekerja dengan kapasitas maksimal sehingga energi lebih yang dihasilkan generator akan dihasilkan untuk mengisi baterai. Mode ini digunakan karena sistem pada PLTHybrid ini menggunakan sedikit tenaga hybrid.



Gambar 4.28 Perbandingan *Capacity Shortage*

Pada Gambar 4.28 diatas melihat berdasarkan nilai *capacity shortage* atau banyaknya beban yang tidak tersuplai sumber energi oleh sistem. Besar nilai ini beracuan apabila semakin tinggi nilai *capacity shortage* maka kelayakan suatu sistem pembangkit ini semakin berkurang. Dengan asumsi batasan *capacity shortage* maksimal adalah 2%, dalam hal ini berarti sistem yang *capacity shortage* melebihi dari 2% dinyatakan tidak layak untuk dibuat. Pada sistem konfigurasi diatas nilai *capacity shortage* dari PLTD adalah 0%, dikarenakan konfigurasi PLTD *Existing* besar beban yang harus disuplai dapat terpenuhi seluruhnya. Berbeda dengan konfigurasi PLTHybrid nilai *capacity shortage* adalah 6.011 kWh/tahun atau sebesar 1,37%. Pada konfigurasi PLTHybrid ada beban yang tidak terpenuhi kebutuhannya, tetapi kembali keacuan sebelumnya bahwa ada toleransi 2% untuk konfigurasi itu disebut

layak atau tidak layak, dengan besar prosentase *capacity shortage* pada konfigurasi PLTHybrid sebesar 1,37% maka konfigurasi ini disebut layak untuk dibuat.

4.3.3.2 Variabel Sensitivitas

Pada analisis ini ditujukan untuk mengetahui pengaruh dari beberapa parameter terhadap berjalannya sistem. Sensitivitas yang diberikan berupa kemungkinan terjadinya beberapa hal pada tahun-tahun mendatang. Berikut akan dilakukan penambahan sensitivitas terhadap konfigurasi sistem agar dapat melihat pengaruhnya terhadap keandalan sistem. Sensitivitas yang akan dilakukan adalah terkait dengan beban yang terus bertambah dengan perkiraan kenaikan bahan bakar.

1. Sensitivitas Harga BBM terhadap NPC (*Net Present Cost*)

Pada sensitivitas ini dilihat pengaruh perubahan suku bunga terhadap konfigurasi sistem. Parameter yang akan dilihat disini adalah NPC dari tiap-tiap konfigurasi sistem. Melihat *track record* harga bahan bakar yang tiap 10 tahun mengalami kenaikan, dengan asumsi harga BBM di Indonesia mengalami kenaikan sebesar 5% dan 10% maka hasil sensitivitas terhadap parameter terkait dapat dilihat pada Tabel 4.9 dibawah ini.

Tabel 4.9 Sensitivitas Harga BBM terhadap Nilai NPC

Konfigurasi Sistem	PLTD <i>Existing</i>	PLTHybrid
Net Present Cost (\$)	4.184.135	2.381.496
Net Present Cost (\$) dengan kenaikan 5%	4.393.341	2.500.570
Net Present Cost (\$) dengan kenaikan 10%	4.602.548	2.619.645

Secara umum nilai NPC akan naik dengan meningkatnya proporsi penggunaan PLTD. Begitu juga dengan meningkatnya harga bahan bakar yang digunakan untuk pengoperasian generator Diesel. Sehingga sedikit kenaikan harga BBM dapat mempengaruhi nilai NPC yang dihasilkan. Kenaikan harga BBM disini bisa saja terjadi dikarenakan sumber daya fosil yang semakin lama semakin menipis. Maka, dilihat dari nilai NPC pada konfigurasi energi terbarukan yang cenderung kecil, disinilah peran dari sumber energi terbarukan untuk mengatasi pengurangan pemakaian bahan bakar fosil.

2. Sensitivitas Kenaikan Beban terhadap *Capacity Shortage*

Capacity Shortage adalah hal yang sering terjadi di dalam penggunaan energi terbarukan sebagai sumber listrik baik dalam mode *stand-alone* atau dihibridkan dengan generator. Sangat menjadi perhatian juga bahwa semakin tinggi nilai dari *capacity shortage* maka kelayakan suatu sistem pembangkit menjadi berkurang. Pada hal ini sistem akan diberi sensitivitas berupa kenaikan beban 5% dan 10% dari beban nominal. Berikut adalah hasil sensitivitas dengan parameter *capacity shortage*.

Tabel 4.10 Sensitivitas Kenaikan Beban terhadap *Capacity Shortage*

Konfigurasi Sistem	PLTD <i>Existing</i>	PLTH
Capacity Shortage (\$)	0	1,370
Capacity Shortage (\$) dengan kenaikan 5%	0	1,430
Capacity Shortage (\$) dengan kenaikan 10%	0	1,507

Dari Tabel 4.10 diatas dapat dilihat bahwa dengan bertambahnya beban maka nilai dari *capacity shortage* akan bertambah pula. Dengan catatan tidak ada penambahan komponen pembangkit lainnya seperti sumber energi listrik dan juga penambahan baterai.

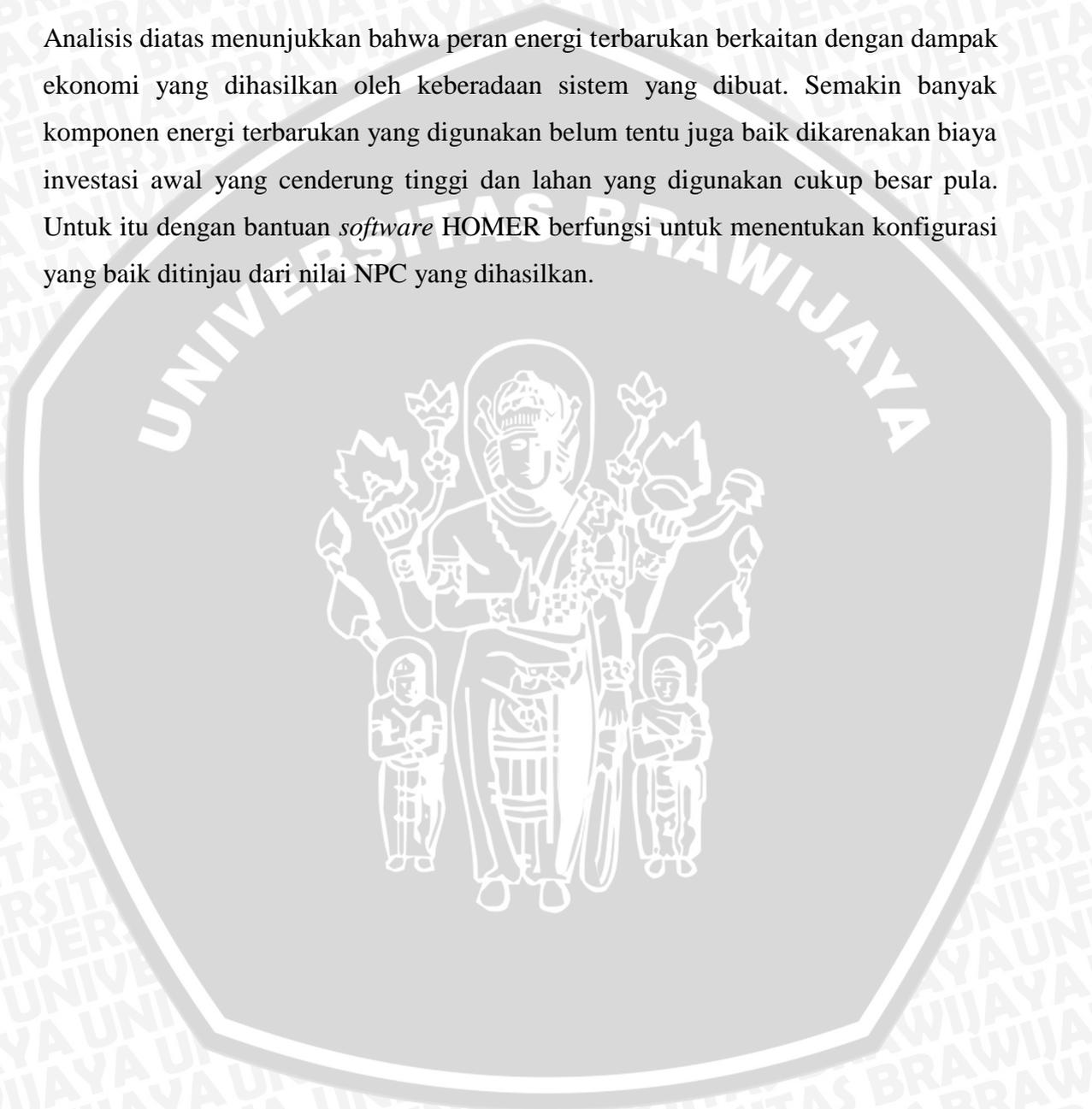
Dari batasan *capacity shortage* yang telah ditentukan sebelumnya, maka kedua konfigurasi memiliki tingkat kualitas pelayanan energi yang cukup baik dikarenakan tidak ada salah satu konfigurasi yang melebihi batas yang telah ditentukan. Dengan kenaikan 5% dan 10% tidak begitu berpengaruh terhadap kenaikan konfigurasi yang telah ditentukan. Hal ini akan sangat berbeda hasilnya jika penambahan beban diiringi oleh penurunan sistem dalam memenuhi kebutuhan beban akan energi listrik.

Dari masing-masing konfigurasi sistem dengan mempertimbangkan *capital cost*, *net present cost*, *fuel consumption and cost* yang telah dibahas sebelumnya serta dengan pemberian variabel sensitivitas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Semakin besar energi terbarukan yang digunakan ke dalam sistem, semakin besar pula nilai dari *Capital Cost* dari sistem tersebut.

2. Semakin rendah nilai NPC yang dihasilkan oleh sistem, maka semakin efisien sistem itu bekerja dikarenakan biaya terbesar dari pengoperasian sistem adalah biaya bahan bakar.
3. Semakin banyak energi terbarukan yang digunakan, maka penggunaan bahan bakar dan biaya untuk pembelian bahan bakar semakin kecil pula.

Analisis diatas menunjukkan bahwa peran energi terbarukan berkaitan dengan dampak ekonomi yang dihasilkan oleh keberadaan sistem yang dibuat. Semakin banyak komponen energi terbarukan yang digunakan belum tentu juga baik dikarenakan biaya investasi awal yang cenderung tinggi dan lahan yang digunakan cukup besar pula. Untuk itu dengan bantuan *software* HOMER berfungsi untuk menentukan konfigurasi yang baik ditinjau dari nilai NPC yang dihasilkan.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Besar daya PLTD *Existing* yang tersambung di Pulau Karimun Jawa adalah 500 kVA atau sebesar 400 kW dan jumlah pemakaian energi yang ada di pulau Karimun Jawa dengan total 844 pelanggan adalah 234,236 kVA atau 187,388 kW
2. Pada sistem perencanaan PLTHybrid (Diesel-Angin) di pulau Karimun Jawa ini adalah dengan penggabungan *cycle charging/battery storage* yaitu PLTD juga mengisi daya pada baterai dengan kelebihan energi yang dihasilkannya. Dengan penjadwalan operasi PLTD maka dengan adanya PLTAngin dapat membantu penyuplaian daya sebesar 7% dari total beban yang ada.
3. Pada analisis segi ekonomis, penggunaan konfigurasi PLTHybrid (Diesel-Angin) semakin banyak energi terbarukan yang digunakan, maka Capital Cost juga sangat besar. Tetapi, berdasarkan nilai NPC yang rendah yaitu \$2.381.496 atau berkurang 56,91% dari konfigurasi PLTD yaitu sebesar \$4.184.135 dan pemakaian BBM yang rendah yaitu \$214.456 /tahun atau berkurang 67,69% dari pemakaian sebelumnya, maka penggunaan BBM semakin berkurang mengingat BBM adalah salah satu aspek terbesar pada pengeluaran biaya.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian, disarankan untuk dapatnya dilakukan dalam penelitian selanjutnya :

1. Mengembangkan penelitian pada daerah pesisir yang memiliki kecepatan dan periode angin yang lebih merata pada setiap waktu.
2. Mengembangkan penelitian untuk meningkatkan efisiensi pada komponen-komponen PLTH (Diesel-Angin) lebih spesifik.
3. Meneliti lebih jauh tentang energi terbarukan khususnya energi angin.

DAFTAR PUSTAKA

Habibie, M dkk, 2011, *Kajian Potensi Energi Angin di Wilayah Sulawesi dan Maluku*. Jakarta : BMKG

Herlina, 2009, *Analisa Dampak Lingkungan dan Biaya Pembangkitan Listrik Tenaga Hibrida di Pulau Sebesi Lampung*. Jakarta : Universitas Indonesia

Hunter, R and Elliot, G , 1994, *Wind Diesel Systems*. Australia : Cambrige University

Nugroho,D, 2011, *Optimisasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dan Diesel Generator Menggunakan Software HOMER*. Surabaya : ITS

Nurhalim, *Studi Analisis Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Pembangkit Hibrida*, [http // jst.eng.unri.ac.id/index.php/jst](http://jst.eng.unri.ac.id/index.php/jst). (Diakses 5 November 2013)

Mc.Gowan, J.G, Wright, S, Manwell, J.F, and Abdulwahid, U, 2004, *A Hybrid Wind-Diesel for The US Navy at Guantanamo Naval Base Using an Energy Savings Performance Contract*.USA : University of Massachusetts

Olsen, T and McKenna, E, 1996, *Hybrid Energy System Cost Analysis: San Nicolas Island, California*. USA : NREL

Pakpahan, S, 2006, *Sistem Wind-Diesel untuk Pembangkit Listrik di Lokasi dengan Kecepatan Angin Menengah di Indonesia*. Bandung : LAPAN

Prityatomo, A, 2009, *Analisa Hasil Simulasi HOMER untuk Perancangan Sistem Energi Terbarukan pada BTS (Base Transceiver Station) Pecatu Bali*. Jakarta : Universitas Indonesia

Togan, P (tanpa tahun), *Perencanaan Sistem Penyimpanan Energi dengan Menggunakan Battery pada Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL) di Desa Ketapang, Kabupaten Lombok Timur, NTB*.Surabaya : ITS

Tjasyono, B, 2007, *Sistem Angin*. Bandung : ITB

Wagner, H J and Mathur, J, 2009, *Introduction to Wind Energy Systems : Basic, Technology, and Operation*. Germany : Springer

Wibawa, U, 2001, *Sumber Daya Energi Alternatif*. Malang : Universitas Brawijaya



Lampiran 1 : Data Kecepatan Angin di Pulau Karimun Jawa



BADAN METEOROLOGI KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA (BMKG)

STASIUN KLIMATOLOGI SEMARANG

Jl. Siliwangi No. 291 Semarang 50145 Telp. 024 - 76632712, 7609016, Fax 024 - 7612394

DATA KECEPATAN DAN ARAH ANGIN BULANAN TAHUN 2011 - 2012
LOKASI : STASIUN KLIMATOLOGI SEMARANG, KODYA SEMARANG

TAHUN	JANUARI			FEBRUARI			MARET			APRIL			MEI			JUNI		
	ARAH	KEC.MAX	KEC.RATA-RATA	ARAH	KEC.MAX	KEC.RATA-RATA	ARAH	KEC.MAX	KEC.RATA-RATA	ARAH	KEC.MAX	KEC.RATA-RATA	ARAH	KEC.MAX	KEC.RATA-RATA	ARAH	KEC.MAX	KEC.RATA-RATA
2011	BL	20.0	8.9	BL	16.0	8.9	BL	12.0	5.6	U	15.0	4.9	T	12.0	5.3	T	15.0	6.3
2012	BL	25.0	7.6	BL	18.0	5.7	BL	30.0	7.3	T	18.0	6.1	T	14.0	6.2	T	12.0	6.1

TAHUN	JULI			AGUSTUS			SEPTEMBER			OKTOBER			NOVEMBER			DESEMBER		
	ARAH	KEC.MAX	KEC.RATA-RATA	ARAH	KEC.MAX	KEC.RATA-RATA	ARAH	KEC.MAX	KEC.RATA-RATA	ARAH	KEC.MAX	KEC.RATA-RATA	ARAH	KEC.MAX	KEC.RATA-RATA	ARAH	KEC.MAX	KEC.RATA-RATA
2011	T	12.0	6.7	T	12.0	6.8	BL	12.0	6.4	BL	12.0	6.5	BL	10.0	5.3	BL	20.0	5.5
2012	T	16.0	5.7	BL	14.0	6.3	BL	15.0	7.0	BL	15.0	6.7	BL	16.0	5.6	BL	16.0	5.0

Keterangan :

- U : Utara
- T : Timur
- BL : Barat Laut
- Kec angin dalam knot, 1 knot = 1.8 km/jam
- ARAH : Arah dari Kec. Rata-Rata
- Arah dan Kec Angin wilayah Semarang mewakili wilayah KarimunJawa Jepara

Semarang, 11 Nopember 2013

Mengetahui,
Kepala Seksi Data dan Informasi
Stasiun Klimatologi Semarang



REN KRATINGTYAS, S.P, M.Si
NIP. 197402031997032001

Sumber : BMKG Kota Semarang



Lampiran 2 : Data Aset Generator di Pulau Karimun Jawa

NO.	Uraian	Pembangkit						
	Unit	Karimun Jawa	Nyamuk	Parang	Kemojan	Genting	Nyamplungan	Jumlah
1	Genset	500 KVA	60 KVA	100 KVA	95 KVA	30 KVA	100 KVA	11 buah
		500 KVA	30 KVA	100 KVA	100 KVA			
					250 KVA			
		Baik	Baik	Baik	Baik	Baik	Baik	
2	Putaran Mesin Rata-Rata	1500 rpm	1500 rpm	1500 rpm	1500 rpm	1500 rpm	1500 rpm	
3	Tekanan Minyak Rata-Rata	3,5 kg/cm ²	3 kg/cm ²	3 kg/cm ²	3,5 kg/cm ²	3,5 kg/cm ²	3,5 kg/cm ²	
4	Suhu Air Rata-Rata	95 C	90 C	90 C	90 C	85 C	85 C	
5	Pemakaian Minyak Pelumas/Oli	80 Liter	15 Liter	20 Liter	55 Liter	15 Liter	20 Liter	205 Liter
6	Pemakaian BBM (Solar)	21.550	1.750	2.850	5.600	750	1.800	34.200
7	Pemakaian Filter Oli	2 buah	1 buah	1 buah	4 buah	1 buah	2 buah	11 buah
8	Pemakaian Filter Solar	2 buah	2 buah	2 buah	4 buah	2 buah	2 buah	14 buah
9	Pemakaian Filter Udara		1 buah					1 buah

- Keterangan :
- Cetak tebal mesin yang dipakai.
 - Karimun Jawa hidup 12 jam
 - Unit Nyamuk, Parang, Kemojan, Nyamplungan hidup 6 jam
 - Unit Genting hidup 5,5 jam
 - Mulai September 2013 Unit Kemojan hidup 2 genset (95 kVA dan 100 kVA) di dua tempat
 - Mulai bulan April Karimun Jawa menggunakan Genset Deuhz 500 kVA

Sumber : PLTD Karimun Jawa

Lampiran 3 : Data Komponen PLTHybrid (Diesel-Angin)

1. Data *Wind Turbine Kestrel e230i 800 W*



KESTREL 800 WATT 200 VOLT DC WIND TURBINE

Application: Grid Tie

Accessories Included: Voltage Limiter

Manufacturer Part Number: e230i (Grid-Tie)

The e230i is a distinctive 3 blade turbine that has a low start up torque, increasing its efficiency. The axial flux permanent magnet brushless alternator is powered by an optimised three blade rotor, with patented pitch control. The e230i maintains rated output in excess wind speeds, optimising the potential power output and energy yield.

The e230i is used predominantly on farms and rural installations for power where there is no grid connection available.

Features

- Off-grid electricity supply
- Charging batteries
- Power water pumps
- Supply the national grid
- Boost hybrid systems for increased energy efficiency

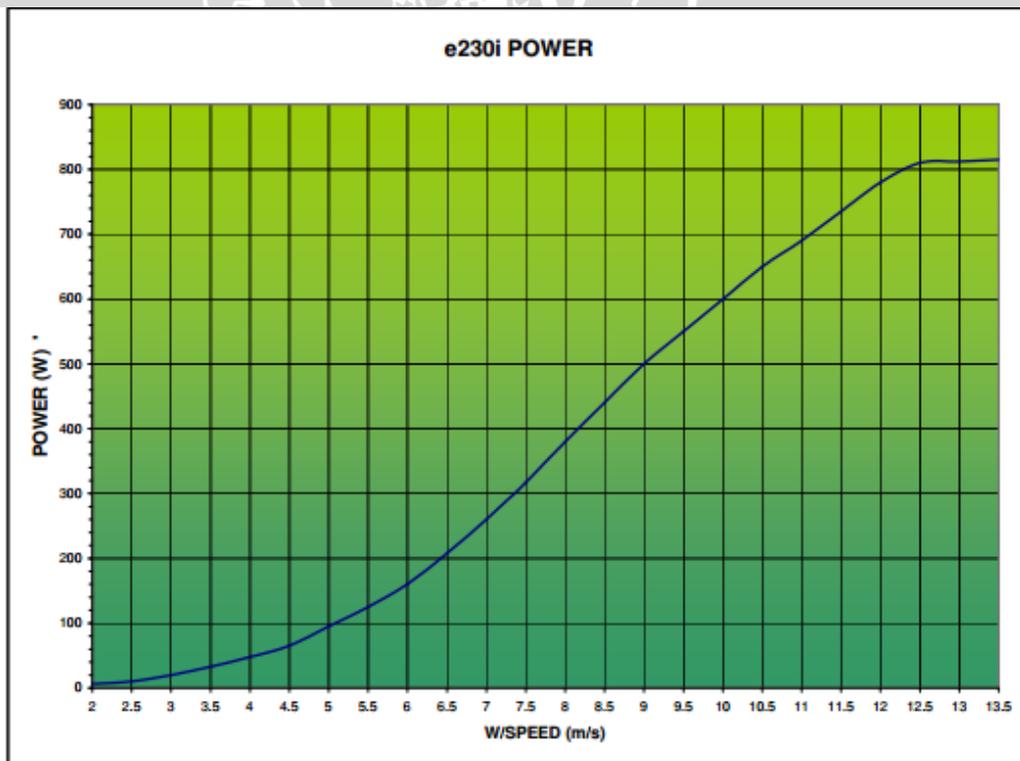
Specifications

Peak Output Power	850W
Power Output	800W
Rated Power at 11m/s	650W
Rotational Speed	950rpm

Cut in Wind Speed	2.5m/s
Cut out Wind Speed	N/A
Rotor Diameter	2.3m
Swept Area	4.15sq m
Number of Blades	3
Blade Type	Aerofoil
Lateral Thrust	450N
Passive Speed Control	1000rpm
Tower Top Mass	45kg
Rated Sound Level	<40dB
Protection	IP55
Generator Type	PM 6ph
Output Voltage	12,24,48, 110 and 200Vdc
Warranty	2 years (extendable)
Routine Maintenance	Periodic visual inspection

Performance Curve

W/speed (m/s)	Power (W)
2	6.5
2.5	10
3	20
3.5	33
4	48
4.5	65
5	95
5.5	125
6	160
6.5	208
7	260
7.5	317
8	380
8.5	440
9	500
9.5	550
10	600
10.5	650
11	690
11.5	735
12	780
12.5	810
13	812
13.5	815



2. Data Komponen Baterai

Vision 6FM100 12 V 100Ah

6FM100 12V 100Ah(20hr)



The rechargeable batteries are lead-lead dioxide systems. The dilute sulfuric acid electrolyte is absorbed by separators and plates and thus immobilized. Should the battery be accidentally overcharged producing hydrogen and oxygen, special oneway valves allow the gases to escape thus avoiding excessive pressure build-up. Otherwise, the battery is completely sealed and is, therefore, maintenance-free, leak proof and usable in any position.

Battery Construction

Component Positive plate Negative plate Container Cover Safety valve Terminal Separator Electrolyte
Raw material Lead dioxide Lead ABS ABS Rubber Copper Fiberglass Sulfuric acid

General Features

- Absorbent Glass Mat (AGM) technology for efficient gas recombination of up to 99% and freedom from electrolyte maintenance or water adding.
- Not restricted for air transport-complies with IATA/ICAO Special Provision A67.
- UL-recognized component.
- Can be mounted in any orientation.
- Computer designed lead, calcium tin alloy grid for high power density.
- Long service life, float or cyclic applications.
- Maintenance-free operation.
- Low self discharge.

Dimensions and Weight

Length(mm / inch)	330 / 12.99
Width(mm / inch)	171 / 6.73
Height(mm / inch)	214 / 8.43
Total Height(mm / inch)	220 / 8.66
Approx. Weight(Kg / lbs)	32 / 70.5

Performance Characteristics

Nominal Voltage	12V
Number of cell	6
Design Life	10 years
Nominal Capacity 77°F(25°C)	
20 hour rate (5A, 10.5V)	100Ah
10 hour rate (9.6A, 10.5V)	96Ah
5 hour rate (17A, 10.5V)	85Ah
1 hour rate (63.5A, 9.6V)	63.5Ah
Internal Resistance	
Fully Charged battery 77°F(25°C)	5mOhms
Self-Discharge	
3% of capacity declined per month at 20°C(average)	
Operating Temperature Range	
Discharge	-20~60°C
Charge	-10~60°C
Storage	-20~60°C
Max. Discharge Current 77°F(25°C)	900A(5s)
Short Circuit Current	2100A
Charge Methods: Constant Voltage Charge 77°F(25°C)	
Cycle use	14.4-14.7V
Maximum charging current	30A
Temperature compensation	-30mV/°C
Standby use	13.6-13.8V
Temperature compensation	-20mV/°C