

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Menurut Aris Sudarto dan Budiman Saragih (2010) menyatakan bahwa di Indonesia energi angin dengan potensi yang baik dapat digunakan sebagai penyediaan energi listrik. Misalnya, pada wilayah Nusa Tenggara Barat maupun Timur, wilayah Sulawesi Selatan, dan Pantai Selatan Jawa memiliki energi angin cukup besar. Oleh karena itu, dengan adanya potensi seperti ini maka sangat baik untuk pengembangan energi alternatif dan terbarukan.

Akbar Rachman (2012) mengenai Analisis dan Pemetaan Potensi Angin di Indonesia, skripsi Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, menjelaskan tentang analisa potensi sumber daya angin yang ada di Indonesia dan pemetaan potensi yang dapat dioptimalkan sumber daya angin sebagai pembangkit listrik dengan menggunakan metode distribusi probabilitas. Energi spesifik yang dihasilkan dari tiap-tiap Provinsi di Indonesia yaitu kurang dari 50 KW.hr/m², 50 sampai dengan 100 KW.hr/m² serta lebih dari 100 KW.hr/m².

Menurut Ramadoni Syahputra (2017) mengenai Model Pembangkit Listrik Tenaga Angin, Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta menyatakan bahwa metode pembuatan model pengendalian DFIG pada pembangkit listrik tenaga angin menggunakan tehnik neoru-fuzzy dalam perangkat lunak Matlab Simulink dengan pembangkit listrik tenaga angin berkapasitas 9 MW yang terdiri dari 6 turbin angin berkapasitas 1,5 MW. Hasil penelitian memberikan pengendalian laju sehingga walaupun laju angin yang menerpa angin sangat minim, tetapi putaran generator induksi sebagai pembangkit energi listrik masih dapat normal dan masih dapat menghasilkan energi listrik.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Fachreza Noor Bagaskara (2017) mengenai Analisis Potensi Sumber Daya Angin sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dan Energi alternatif dalam Penyediaan Energi Listrik di Pantai Samas Bantul, skripsi Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, menjelaskan tentang analisa potensi sumber daya angin yang ada di Pantai Samas sebagai PLTB. Menggunakan aplikasi Homer sebagai metode penelitian mengukur laju angin dan pembangunan 30 turbin angin jenis whisper 200, sehingga menghasilkan daya yang keluar dari turbin sebesar 85,466 kWh/tahun.

Jika dilihat dari letak geografis Indonesia memiliki potensi tenaga angin yang besar. Berdasarkan data yang diperoleh dari Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) di mana dengan laju angin 4 meter per detik mampu menghasilkan 60.647,0 MW untuk laju angin 4 meter per detik atau lebih (Lampiran Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017). Berikut adalah tabel lokasi potensi angin di Indonesia:

Tabel 2.1 Lokasi Potensi Angin Di Indonesia

No.	Provinsi	Potensi (MW)
1	Nusa Tenggara Timur	10.188
2	Jawa Timur	7.907
3	Jawa Barat	7.036
4	Jawa Tengah	5.213
5	Sulawesi Selatan	4.193
6	Maluku	3.188
7	Nusa Tenggara Barat	2.605
8	Bangka Belitung	1.787
9	Banten	1.753
10	Bengkulu	1.513
11	Sulawesi Tenggara	1.414

Tabel 2.2 Lokasi Potensi Angin Di Indonesia (Lanjutan)

No	Provinsi	Potensi (MW)
12	Papua	1.411
13	Sulawesi Utara	1.214
14	Lampung	1.137
15	DI. Yogyakarta	1.079
16	Bali	1.019
17	Kalimantan Selatan	1.006
18	Kepulauan Riau	922
19	Sulawesi Tengah	908
20	Aceh	894
21	Kalimantan Tengah	681
22	Kalimantan Barat	554
23	Sulawesi Barat	514
24	Maluku Utara	504
25	Papua Barat	437
26	Sumatera Barat	428
27	Sumatera Utara	356
28	Sumatera Selatan	301
29	Kalimantan Timur	212
30	Gorontalo	137
31	Kalimantan Utara	73
32	Jambi	37
33	Riau	22
34	DKI Jakarta	4
TOTAL		60.647,0

(Sumber : Rencana Umum Energi Nasional)

2.2. Dasar Teori

2.2.1 Energi Alternatif dan Terbarukan

Energi alternatif merupakan pengganti dari energi berbahan konvensional. Energi terbarukan ialah energi yang tidak di khawatirkan jumlahnya karena energi ini berasal dari alam yang berkelanjutan. Semakin berkurangnya bahan bakar konvensional dimasa kini tentu saja energi alternatif dan terbarukan sangatlah diperlukan. Apalagi dengan meningkatnya kebutuhan akan energi semakin melonjak, serta berkurangnya jumlah yang berasal dari minyak maupun batu bara. Oleh sebab itu, muncul berbagai alternatif sebagai substitusi dari energi minyak dan batu bara tersebut. Energi alternatif di antaranya adalah energi surya, energi angin, energi air, energi panas bumi, dan energi ombak.

2.2.2 Definisi Angin

Menurut Kadir (1995) Angin merupakan udara yang bergerak dengan pergerakan dari udara tersebut maka akan menghasilkan laju, tenaga, serta arah pergerakan. Pemanasan bumi yang disebabkan oleh radiasi dari matahari inilah yang menyebabkan terjadinya pergerakan udara. Pergerakan dari angin ini menghasilkan energi kinetik, oleh karenanya energi kinetik yang bersumber dari pergerakan udara tersebut dapat di rubah menjadi bentuk energi lain contohnya energi listrik yang di rubah dengan menggunakan kincir angin maupun turbin angin yang terpasang generator.

2.2.3 Proses dari Terjadinya Angin

Proses terjadinya angin berawal dari perbedaan tekanan dari udara ataupun suhu udara pada daerah. Proses ini berhubungan dari besar energi panas matahari yang akan diterima permukaan bumi. Daerah yang akan menerima energi panas matahari lebih besar memiliki suhu lebih panas serta tekanan dari udaranya lebih rendah.

2.2.4 Angin Menurut Jenisnya

Angin adalah fenomena keseharian yang selalu dirasakan. Secara sederhana, angin atau massa udara dimana bergerak dari suatu tempat menuju tempat lain. Dari mana dan menuju ke manakah angin itu bergerak? Perbedaan tekanan udara (tekanan udara maksimum dan minimum) pada suatu daerah merupakan faktor terjadinya tiupan angin. Jadi pada umumnya angin akan bergerak dari daerah bertekanan udara maksimum ke minimum.

Pada dasarnya, kekuatan angin, arah angin dan laju angin merupakan beberapa hal yang berhubungan dengan sifat angin. Dimana laju angin dapat diukur dengan menggunakan alat yang bernama anemometer. Semakin cepat tiupan angin, maka akan semakin cepat pula putaran yang dihasilkan. Dikehidupan sehari-hari, ada beberapa jenis angin yang mungkin sudah tidak asing lagi terdengar. Dimana penamaan angin bergantung dari arah mana angin itu bertiup. Misalnya :

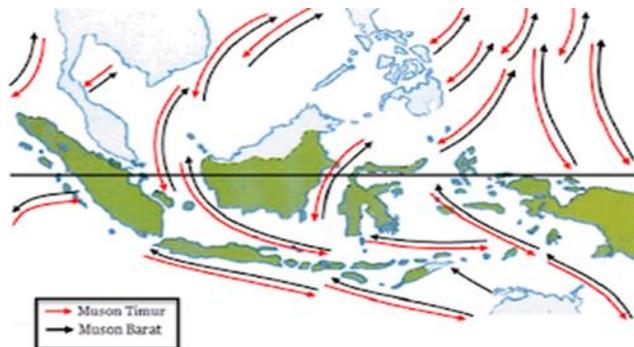
1. Angin Muson

Angin Muson merupakan angin yang setiap setengah tahunnya akan berganti arah secara berlawanan. Dimana pada setengah tahun akan bertiup angin darat yang kering dan pada setengah tahun berikutnya bertiup angin laut yang basah.

Pada bulan April–Oktober tekanan udara minimum akan terjadi di benua Asia, sedangkan di Afrika Selatan dan Australia mengalami tekanan udara yang maksimum. Di Indonesia sendiri, angin ini merupakan angin musim tenggara atau timur yang tidak membawa hujan, karena tidak melewati lautan yang luas. Namun, untuk daerah bagian selatan yaitu Pulau Seram dan Pantai Timur Sulawesi Selatan pada saat itu turun hujan. Hanya saja persebarannya tidak merata di setiap wilayah. Dimana semakin ke

timur curah hujan kian berkurang, karena kadar uap airnya semakin sedikit. Angin musim ini diberi nama angin Muson Barat.

Matahari pada bulan Oktober–April terdapat di belahan bumi selatan, menyebabkan tekanan udara di Afrika Selatan dan Australia minimum, sedangkan di Asia mengalami tekanan udara maksimum. Angin bertiup dari Asia ke Afrika Selatan dan Australia. Angin itu adalah angin yang banyak membawa uap air dari Samudera Pasifik, sehingga kawasan Indonesia saat itu turun hujan. Karena tidak melewati lautan yang luas jadi angin ini tidak banyak mengandung uap air. Oleh karena itu pada umumnya di Indonesia terjadi musim kemarau, kecuali Pantai barat Sumatra, Sulawesi Tenggara, dan Pantai Selatan Papua. Angin musim ini diberi nama angin Muson Timur.



Gambar 2.1 Angin Muson Barat dan Timur

(sumber : <http://www.guruips.com>)

2. Angin Darat dan Angin Laut

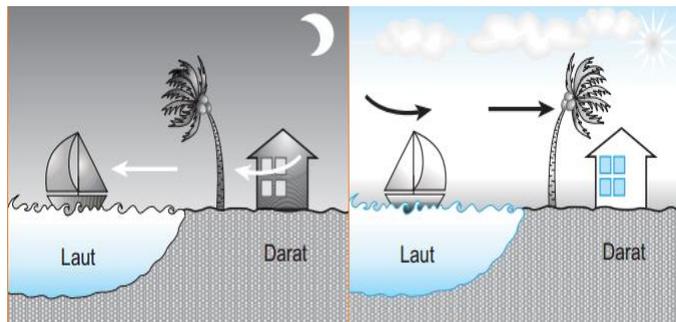
Di dalam kehidupan sehari-hari, angin darat dan angin laut adalah jenis angin yang sering kali dirasakan, dimana angin darat berhembus dari daratan menuju laut, sedangkan angin laut bertiup dari laut menuju darat.

Oleh sebab itu, ketika malam hari, daratan lebih cepat dingin dari pada laut. Oleh karena suhu di daratan pada malam hari lebih

rendah, menyebabkan tekanan udara di dataran tinggi (maksimum), sedangkan tekanan udara di lautan rendah.

Bertimbang pada hukum Buys Ballot, yang mana udara akan bertiup dari daerah yang bertekanan maksimum ke daerah minimum. Jadi, saat malam hari bertiuplah angin dari darat menuju lautan. Itulah yang dinamakan angin darat. Angin darat dimanfaatkan para nelayan tradisional untuk pergi melaut pada saat malam hari.

Pada siang hari, daratan lebih cepat menerima panas dan lautan relatif lebih lambat. Hal tersebut menyebabkan daratan merupakan pusat tekanan rendah (minimum) dan lautan merupakan pusat tekanan tinggi (maksimum). Oleh sebab itulah, saat siang hari berhembuslah angin dari laut menuju darat. Itulah yang dinamakan angin laut.



Gambar 2.2 Angin Darat dan Angin Laut

(sumber : <http://www.guruips.com>)

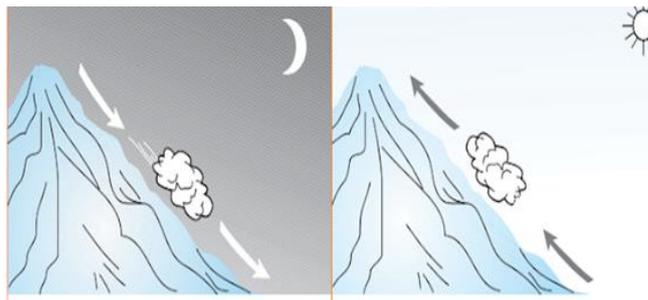
3. Angin Gunung dan Angin Lembah

Angin gunung yaitu angin yang bertiup dari gunung menuju lembah, begitu pun sebaliknya angin lembah adalah angin yang bertiup dari lembah menuju gunung.

Di saat pagi hari hingga kisaran pukul 14.00, gunung ataupun pegunungan lebih cepat menerima panas sinar matahari bila dibandingkan dengan daerah lembah. Oleh karenanya, pada gunung atau pegunungan memiliki suhu udara lebih tinggi bila

dibandingkan dengan lembah. Faktor inilah yang menyebabkan tekanan udara di gunung dan pegunungan relatif lebih rendah (minimum), sedangkan di lembah tekanan udara lebih tinggi. Sehingga angin akan berhembus ke arah gunung. Jadi, angin lembah terjadi pada saat pagi hari hingga menjelang sore hari.

Disaat sore hari dan malam hari, terjadilah kondisi yang sebaliknya. Di mana suhu udara pada wilayah lembah, masih relatif tinggi jika dibandingkan dengan gunung atau pegunungan. Hal ini yang membuat tekanan udara di lembah lebih rendah (minimum). Akibatnya, angin pada daerah pegunungan akan bergerak menuju lembah. Suasana kedua angin ini lebih sangat terasa bila berada di wilayah kaki gunung atau pegunungan.



Gambar 2.3 Angin Gunung dan Angin Lembah

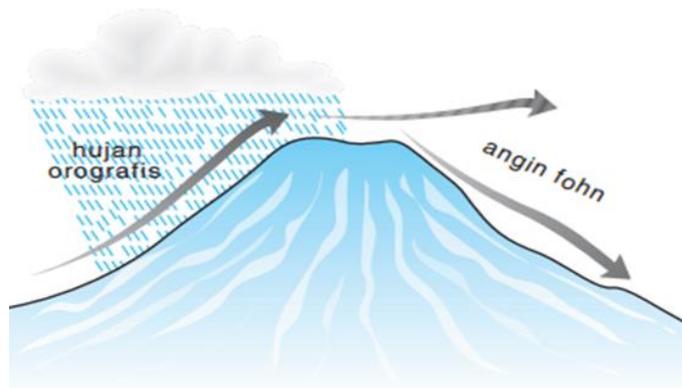
(sumber : <http://www.guruips.com>)

4. Angin Fohn atau Angin jatuh

Fohn merupakan angin jatuh atau turun yang kering dan panas. Awal cerita angin jenis ini diketahui di lereng pegunungan Alpina Utara. Pada daerah tersebut, angin semacam ini disebut angin fohn yaitu angin kering yang berhembus menuruni lereng pegunungan. Dilihat dari proses terbentuknya, sebenarnya angin jenis ini hampir sama seperti angin gunung. Hanya saja ada beberapa faktor pembeda antara kedua angin ini terletak pada sifat-sifatnya.

Pada umumnya angin jatuh bersifat kering dan panas. Dimana suhu temperaturlah yang mengakibatkan dapat terjadinya

angin fohn ini. Angin ini terjadi bila daerah yang memiliki temperatur lebih tinggi dibandingkan dengan daerah yang akan didatangi. Contoh angin jatuh yang terdapat di Indonesia, antara lain Angin Wambrau di Biak, Bahorok di Deli, Kumbang di Cirebon, Gending di Pasuruan, dan Brubu di makassar. Tetapi, angin ini juga bisa bersifat kering dan dingin bila angin bergerak dari puncak pegunungan yang cukup tinggi, misalnya Angin Mistral di Pantai selatan Prancis, Angin Bora di Pantai Samudra Atlantik, serta Angin Scirocco di Pantai Laut Adriatik.



Gambar 2.4 Angin Fohn atau Angin Jatuh

(sumber : <http://www.guruips.com>)

2.2.5 Laju Angin Rata-Rata

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}$$

V = rata-rata dari laju angin (m/s)

v_i = Laju angin terukur (m/s)

t_i = lama waktu tiupan angin berdasarkan laju terukur

n = jumlah data yang diukur

Laju angin rata-rata untuk tiap satu jam, misalnya laju angin rata-rata untuk jam 00.00 sampai 01.00, Laju angin ini menggunakan variasi laju harian. Dengan mengetahui variasi harian dari laju angin, dapat diketahui saat-saat di mana angin bertiup kencang dalam satu

hari, sehingga dapat digunakan untuk menentukan berapa jam dalam sehari semalam energi angin di daerah tersebut dapat menggunakan penggerak turbin angin. laju angin di suatu tempat dapat dipengaruhi oleh ketinggian dari tanah, makin dekat dengan permukaan tanah, laju angin makin kecil (Cahya Adijana Nugraha, 2015).

Adapun hubungan antara laju angin di suatu ketinggian dengan laju angin lainnya dinyatakan dengan persamaan:

$$\frac{V}{V_r} = \left[\frac{H}{H_r} \right]^\alpha$$

V = Laju angin di ketinggian H meter di atas tanah (m/s)

V_r = Laju angin pada ketinggian referensi (m/s)

H = ketinggian yang lajunya akan dihitung (m)

H_r = ketinggian referensi (m)

α = kekerasan permukaan, biasanya dipilih 1/7

2.2.6 Potensi Angin Di Indonesia

Pada dasarnya, perbedaan suhulah yang menjadi faktor utama terjadinya energi angin. Indonesia yang dilewati khatulistiwa merupakan daerah yang tropis, maka udaranya menjadi panas, mengembang dan menjadi ringan, bergerak ke arah kutub yang lebih dingin. Sebaliknya pada daerah kutub yang dingin, udaranya menjadi dingin dan turun ke bawah. Dengan demikian pertukaran udara terjadi berupa perpindahan udara dari Kutub Utara ke Garis Khatulistiwa, dan sebaliknya. Pada prinsipnya bahwa angin terjadi karena adanya perbedaan suhu udara pada beberapa tempat di muka bumi (A. Kadir UI-Press, 2013, hal. 216-217).

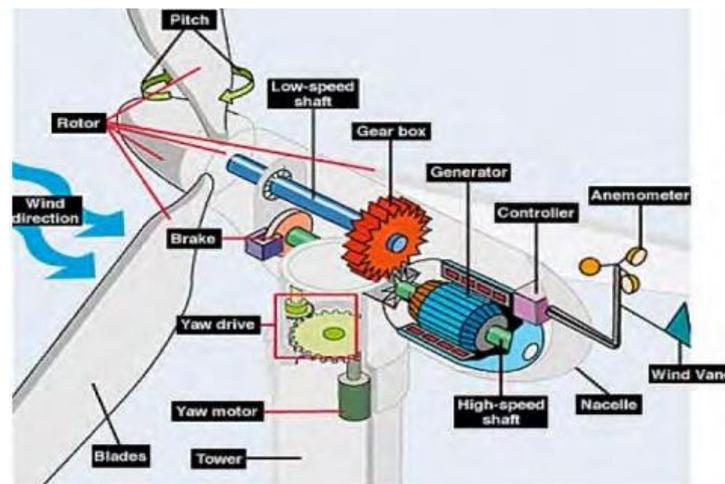
Menurut Kepala Penelitian dan Pengembangan Daerah Jawa Barat “Neni Sri Utami, 2012” laju angin di Indonesia kurang dari 5,9 per meter detik tapi bukan tidak bisa dimanfaatkan. Pemanfaatan potensi angin seperti ini diharapkan mampu membantu masyarakat untuk menekan dalam hal biaya yang mulai sangat mahal di era globalisasi.

2.2.7 Turbin Angin

Turbin angin adalah alat yang digunakan untuk sistem konversi energi angin (SKEA). Fungsi dari turbin angin ini yaitu mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik dengan memanfaatkan putaran porosnya. Hasil dari putaran poros ini yang kemudian dimanfaatkan untuk beberapa keperluan sesuai dengan kebutuhan. Di antaranya yaitu untuk memutar dinamo atau generator yang menghasilkan listrik.

1. Komponen Turbin Angin

Komponen dalam PLTB untuk ukuran besarnya bisa dilihat pada gambar di bawah ini. Sedangkan untuk komponen ukuran kecilnya biasa tidak semua tertera di gambar.



Gambar 2.5 Potongan Turbin Angin

(Sumber : DOE / NREL)

- **Anemometer**
Berfungsi untuk mengukur laju angin dan juga mengirimkan data angin ke alat pengontrol.
- **Blades (bilah kipas)**
Pada umumnya turbin angin memiliki 2 atau 3 bilah kipas. Nantinya angin yang menghembus akan menggerakkan kipas sehingga menyebabkan turbin akan berputar.

- **Brake (rem)**
Berfungsi untuk menjaga putaran poros agar tetap bekerja pada titik aman meskipun mendapat angin yang besar / darurat.
- **Controller (alat pengontrol)**
Berfungsi sebagai pengontrol laju angin karena angin yang kencang dapat merusak turbin. Alat ini menstart turbin pada laju angin 12-25 km/jam, dan menghentikannya saat laju mencapai 90 km/jam.
- **Gear box (roda gigi)**
Berfungsi untuk mengubah laju pada putaran kincir. Pada umumnya roda gigi yang digunakan sekitar 1:60. Alat ini menaikkan putaran 30-60 rpm menjadi 1000-1800 rpm yang merupakan syarat ketentuan untuk memutar generator listrik.
- **High-speed shaft (poros putaran rendah)**
Alat yang berfungsi untuk menggerakkan generator listrik.
- **Low-speed shaft (poros putaran rendah)**
Merupakan poros turbin yang berputar 30-60 rpm.
- **Generator**
Merupakan komponen inti dalam pembuatan sistem turbin angin. Berfungsi untuk mengubah energi gerak menjadi energi listrik.
- **Nacella (rumah mesin)**
Alat ini terletak di atas menara, yang di dalamnya berisi gear-box, poros putaran tinggi dan rendah, generator, alat pengontrol, dan alat pengereman.
- **Pitch (sudut bilah kipas)**
Alat untuk mengatur sudut bilah kipas, berfungsi sebagai pengatur kecepatanaju rotor yang di tetapkan.
- **Rotor**
Adalah bagian dari poros bilah kipas.
- **Tower (menara)**

Sebagai tiang penyangga, di mana semakin tinggi menara maka semakin kencang juga angin yang akan di dapatkan. Menara biasa dibuat dari bahan baja, beton, dan rangka besi yang berbentuk pipa.

- **Wind vane (tebeng angin)**

Berfungsi untuk mengukur arah dari angin dengan cara memutar turbin sesuai arah angin yang datang.

- **Yaw drive (penggerak arah)**

Adalah alat penggerak turbin yang menerima anginnya dari depan, dan tidak untuk desain turbin yang memanfaatkan angin dari arah belakang.

- **Yaw motor (motor penggerak arah)**

Sebuah alat penggerak berupa motor listrik yang berfungsi untuk menjalankan penggerak arah.

2. Tipe-Tipe Turbin Angin

- **Turbin Angin Sumbu Horizontal**

Turbin angin dengan tipe ini pada dasarnya penempatan poros rotor utama dan generator listriknya pada bagian puncak menara. Turbin tipe ini dihadapkan melawan arah angin dari menara, di mana bilah turbin di desain kaku supaya dapat menahan laju angin yang tinggi agar tidak terdorong ke menara.

Umumnya, tipe ini menggunakan mesin upwind (Melawan arah angin). Namun ada juga yang menggunakan mesin downwind (sesuai arah angin) karena tidak membutuhkan mekanisme tambahan untuk dapat berjalan searah dengan angin.

- **Turbin Angin Sumbu Vertikal**

Berbeda dengan turbin angin sumbu horizontal, di mana turbin angin bersumbu vertikal ini tidak harus diarahkan ke angin. Karena poros atau sumbu rotor utama dari turbin ini yang desain tegak lurus, yang mana sangat berguna untuk tempat dengan arah angin yang bervariasi.

Tetapi dengan pemasangan generator dan gearbox di dekat tanah, dapat mengakibatkan tenaga putaran yang kurang baik. Sebab turbin tipe ini menerima laju angin yang pelan dengan ketinggian yang rendah.

2.2.8 Prinsip Kerja HOMER

HOMER adalah singkatan dari *Hybrid Optimization Model For Electric Renewable*. HOMER merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk membantu pemodelan atau perancangan dari sebuah sistem tenaga listrik yang didalamnya terdapat berbagai pilihan sumber daya terbarukan. Dengan menggunakan perangkat lunak ini, dapat diperoleh spesifikasi paling optimal dari berbagai sumber daya energi terbarukan yang mungkin bisa diterapkan.

HOMER menyimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik baik *off grid / on grid* yang dapat terdiri dari kombinasi turbin angin, *photovoltaic*, mikrohidro, biomassa, generator, microturbin, *fuel-cell*, baterai, dan penyimpanan hidrogen, melayani beban listrik maupun termal. Dengan HOMER dapat diperoleh hasil spesifikasi paling optimal dari sumber-sumber energi yang diterapkan.



Gambar 2.6 Tampilan Dalam Aplikasi Homer

(sumber: HOMER Pro)

HOMER memberikan pilihan berbagai jenis beban sesuai dengan kebutuhan pengguna. Begitu juga pada pilihan komponen yang akan kita buat. Komponen pembangkit energi yang disediakan HOMER yaitu, *PV*, *Wind Turbine*, *Hydro*, *Inverter*, *Electrolyzer*, *Hydrogen Tank*, *Reformer*, *generator* dan *system battery*. Saat melakukan simulasi, HOMER menentukan semua konfigurasi sistem yang masukan, kemudian ditampilkan berurutan menurut *net presents costs* (NPC) atau yang disebut juga *life cycle costs*. Jika analisa sensitivitas diperlukan, HOMER akan mengulangi proses simulasi untuk setiap variabel sensitivitas yang ditetapkan.