

Studi Analisis Potensi Energi Angin Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Angin Di Kawasan Meulaboh

Maidi Saputra, Pribadyo

Dosen Teknik Mesin - Universitas Teuku Umar - Meulaboh

maidi_poetra@yahoo.co.id

Dosen Teknik Mesin - Universitas Teuku Umar - Meulaboh

E-mail : dyo_1806@yahoo.co.id

Abstract

Which more lower deficit of fossil energy for generated power plant, in order to need to do wind power generation plant analysis based on renewable energy which is wind turbine horizontal type. This study is analyzing a power system with electric power load Meulaboh town by using a hybrid power generation system which HOMER between wind turbines and diesel generators. Wind resources are used is measured by BMKG Meulaboh Station, which is 6 m/s and the value of the price of diesel fuel used by the generator is equal to 0.5 \$/L. The results of the simulation is given by the value of the Net Present Cost (NPC) and the lowest, in the amount of \$ 66,535,084 for the value of Renewable Factor (RF) was 58% and for the value of Renewable Factor (RF), the largest at 71%, the value of the Net Present Cost (NPC) amounted to \$ 68,091,256.

Keywords: *Wind Turbine, Homer, Power Plants, Net Present Cost (NPC), Renewable Factor (RF).*

1. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga angin merupakan salah satu pembangkit listrik yang menggunakan sumber energi terbarukan yang banyak digunakan, karena sifat energi angin yang ramah lingkungan serta mudah dalam pengoperasiannya. Berdasarkan data dari GWEC, jumlah penggunaan pembangkit listrik tenaga angin didunia terus meningkat dengan peningkatan sebesar 20-30% tiap tahun.

Indonesia saat ini sedang mengalami krisis energi listrik karena kebutuhan energi listrik yang semakin besar akibat adanya pertumbuhan industri, peningkatan jumlah pemakaian alat elektronik rumah tangga, perkembangan teknologi dan komunikasi, dan sebagainya. Beberapa permasalahan lain yang timbul antara lain penyebaran dan ketersediaan energi listrik yang tidak merata, pada beberapa daerah terpencil masih banyak masyarakat yang belum menikmati energi listrik akibat sulitnya membangun jaringan listrik.

Menurut data dalam buku Aceh Barat dalam angka tahun 2013 “Kabupaten Aceh barat mempunyai suhu udara rata-rata sebesar 26,5 °C, tekanan udara sebesar 1,010,1 atm, kelembaban udara sebesar 86 %, rata-rata penyinaran matahari perbulan sebesar 41,17 %, rata-rata curah hujan sebesar 255,1 mm serta arah dan kecepatan angin rata-rata sebesar 3 Knot arah Barat, sehingga sangat sesuai untuk dikembangkan sebagai daerah sentra pembangkit listrik tenaga angin diwilayah aceh.

Analisis sumber daya angin dilakukan pada daerah dimana terdapat potensi energi angin, untuk melihat apakah potensi energi angin tersebut bisa digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga angin. Analisa selanjutnya yaitu menentukan seberapa besar

potensi energi listrik yang bisa dibangkitkan berdasarkan potensi energi angin yang tersedia, serta untuk menjawab pertanyaan apakah jumlah energi listrik yang dihasilkan bisa mencukupi kebutuhan energi listrik untuk kawasan meulaboh dan sekitarnya.

Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk menghasilkan analisis potensi energi angin suatu lokasi terhadap implementasi pembangkit listrik tenaga angin, sehingga menghasilkan karakteristik turbin angin yang sesuai dan grafik distribusi frekwensi yang maksimal.

Angin

Angin adalah aliran udara yang terdiri dari banyak gas di atmosfer bumi. Rotasi bumi, pemanasan yang tidak merata pada atmosfer serta kondisi permukaan bumi yang tidak rata, merupakan faktor utama yang menyebabkan angin. Energi pada angin oleh manusia dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti pompa air, sumber pembangkit listrik, dll.

Angin merupakan sumber energi berkelanjutan karena bersifat terbarukan, didistribusikan secara luas dan melimpah. Energi angin sebagai kontribusi dalam mengurangi emisi rumah kaca, karena digunakan sebagai bahan energi alternatif pengganti fosil dalam sistem pembangkit energi listrik. Turbin angin menerima energi kinetik yang dihasilkan oleh angin, dan melalui baling-baling yang terhubung dengan generator, energi angin tersebut dirubah menjadi energi listrik.

Angin dapat diklasifikasikan sebagai angin global dan angin lokal. Angin global disebabkan oleh pemanasan matahari dengan intensitas yang besar pada permukaan bumi dekat khatulistiwa. Hal ini menyebabkan peningkatan suhu udara pada daerah tropis yang kemudian mengalir melalui atmosfer atas ke arah kutub, udara dingin dari kutub mengalir kembali ke khatulistiwa.

Dasar Konversi Energi Angin

Kinetik dari besar massa udara yang bergerak diatas permukaan bumi. Sudu-sudu turbin menerima energi kinetik tersebut, yang kemudian ditransformasikan kedalam bentuk energi mekanik atau listrik. Efisiensi konversi energi angin tersebut sangat tergantung pada efisiensi rotor yang berinteraksi dengan aliran udara.

Daya yang tersedia dalam spektrum angin

Energi kinetik dari aliran udara dengan massa m dan bergerak dengan kecepatan V diberikan oleh :

$$E = \frac{1}{2} mV^2 \quad (1)$$

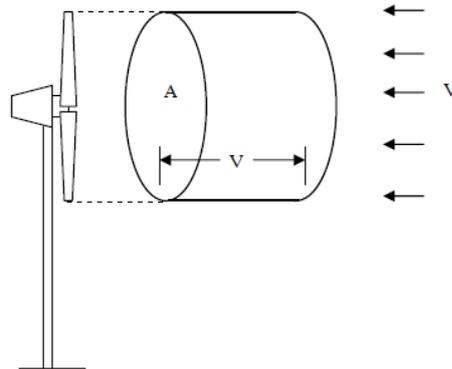
Luas penampang rotor A yang terkena arus angin, seperti diperlihatkan pada gambar 2.1, maka besar energi kinetik dari aliran udara dapat dinyatakan sebagai :

$$E = \frac{1}{2} \rho_a vV^2 \quad (2)$$

Dimana ρ_a adalah kerapatan udara dan v adalah volume bidang udara yang berinteraksi dengan rotor.

Bidang udara yang berinteraksi dengan rotor per-satuan waktu memiliki luas penampang sama dengan daya rotor (A_T) dan ketebalannya sama dengan kecepatan angin (V), maka energi per-satuan waktu, yaitu daya dan dapat dinyatakan sebagai :

$$P = \frac{1}{2} \rho_a A_T V^3 \quad (3)$$



Gambar 1: Suatu bidang udara yang bergerak ke arah turbin angin
 Sumber : Sathyajith Mathew (2006)

Daya Turbin Angin dan Torsi

Turbin tidak dapat sepenuhnya mengkonversi daya yang terdapat dalam energi angin. Ketika aliran angin melewati turbin, energi kinetik dari angin akan dipindahkan ke rotor dan sisanya meninggalkan turbin.

Koefisien kekuatan rotor didefinisikan sebagai rasio antara daya aktual yang dikonversikan oleh rotor dengan kekuatan teoritis yang tersedia pada angin.

$$C_p = \frac{2 P_T}{\rho_a A_T V^3} \quad (4)$$

Gaya dorong yang dialami oleh rotor (F) dapat dinyatakan sebagai :

$$F = \frac{1}{2} \rho_a A_T V^2 \quad (5)$$

Maka torsi rotor (T) dapat dibuat sebagai :

$$T = \frac{1}{2} \rho_a A_T V^2 R \quad (6)$$

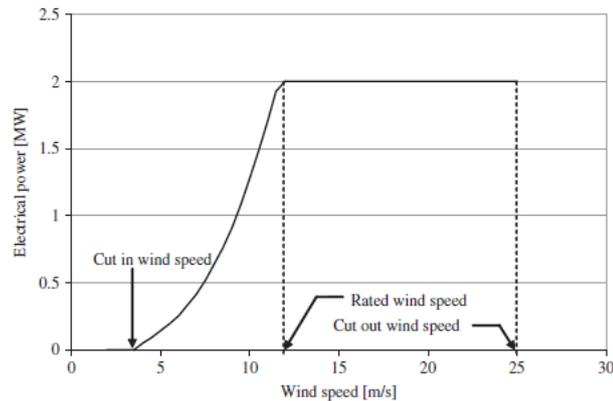
Dimana R adalah jari-jari rotor.

Rasio antara torsi sebenarnya yang dikonversikan oleh rotor dengan torsi teoritis adalah disebut sebagai koefisien torsi (C_T). Dengan demikian, koefisien torsi diberikan sebagai :

$$C_T = \frac{2 T_T}{\rho_a A_T V^2 R} \quad (7)$$

Dimana T_T adalah torsi sebenarnya yang dikonversikan oleh rotor.

Daya output turbin pada berbagai kecepatan angin konvensional digambarkan oleh kurva daya. Kurva daya memberikan kondisi daya output sebagai fungsi dari kecepatan angin pada ketinggian poros dan umumnya diukur dengan menggunakan data angin rata-rata pada 10 menit pertama.



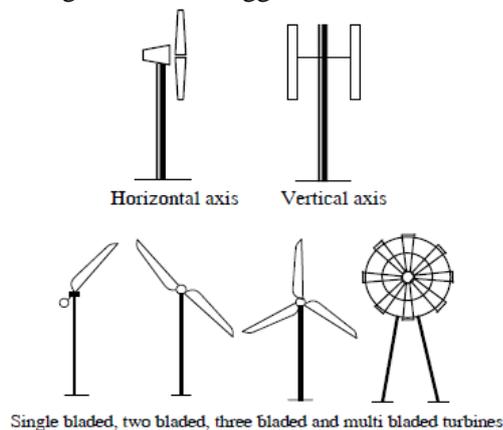
Gambar 2: Kurva daya untuk turbin angin 2 MW
 Sumber : Fang Yao et al, (2010)

Klasifikasi Turbin Angin

Turbin angin sumbu horisontal

Turbin angin sumbu horisontal (*HAWT*) memiliki sumbu rotasi horisontal masing-masing menuju ke arah permukaan tanah dan hampir sejajar dengan aliran angin (Gambar 2.4).

Berdasarkan pada jumlah sudu, turbin angin sumbu horisontal diklasifikasikan sebagai turbin bersudu tunggal, bersudu dua, bersudu tiga, dan bersudu banyak. Untuk penggunaan sebagai pembangkit listrik menggunakan turbin bersudu tiga.



Gambar 3: Klasifikasi Turbin Angin
 Sumber : Sathyajith Mathew (2006)

Turbin angin sumbu vertikal

Turbin angin sumbu vertikal (*VAWT*) adalah turbin dengan sumbu vertikal mengarah ke permukaan tanah dan tegak lurus terhadap arah angin.

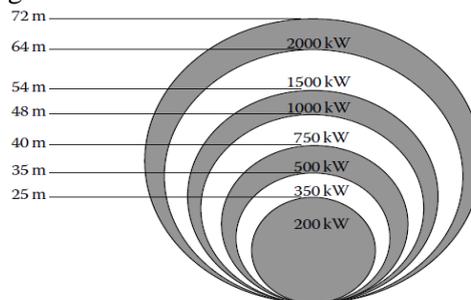


Gambar 4: Turbin angin tipe Darrieus
Sumber : Wikipedia, <http://wikipedia.org>

Beberapa kelemahan utama dari sistem VAWT adalah biasanya sistem tersebut tidak bisa melakukan pergerakan sendiri. Mekanisme tambahan diperlukan untuk ‘mendorong’ dan memulai pergerakan turbin, begitu juga pada saat turbin dihentikan. Namun setelah rotor mulai berotasi, sudu-sudu turbin mulai bergerak secara aerodinamis.

Turbin angin berdasarkan kapasitas daya

Klasifikasi kriteria lain untuk turbin angin adalah berdasarkan kapasitas daya terpasang. Berdasarkan kapasitas daya yang terpasang, turbin angin dibagi menjadi kecil, menengah, dan turbin angin besar.



Gambar 5: daya output turbin untuk diameter turbin angin yang berbeda
Sumber : Sathyajith Mathew (2006)

Instrumentasi Pengukur Kecepatan Angin

Instrumentasi sensor pengukuran angin diklasifikasikan menurut prinsip pengoperasian (ASME, 1988), yaitu :

1. Transfer momentum – cup, baling-baling, pelat bertekanan;
2. Tekanan pada sensor tetap - tabung pitot dan bidang geser;
3. Perpindahan panas – kabel panas;
4. Efek dropller – akustik dan laser;
5. Metode spesial - pergeseran ion, pelepasan pusaran, dll

Ada beberapa instrumen untuk pengukuran kecepatan angin, tetapi dalam beberapa pengukuran potensi kecepatan angin terdapat empat sistem yang digunakan, seperti :

1. Anemometer cup.
2. Anemometer baling-baling.
3. Anemometer sonic.
4. Sensor akustik Doppler.

2. METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu pengambilan data primer potensi angin, meliputi kecepatan angin dan observasi penggunaan energi listrik dikota Meulaboh dilakukan selama satu bulan, kemudian dilanjutkan pengambilan data sekunder yang berasal dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Meteorologi Meulaboh.

Data kecepatan dan arah angin dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) digunakan untuk melakukan analisis potensi energi angin yang bisa digunakan dan penggunaan turbin angin yang sesuai untuk kawasan tersebut serta besar potensi energi listrik yang bisa dibangkitkan.

Metode Penelitian dan Analisa Data

Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis data kecepatan dan arah angin dengan menggunakan program HOMER. Dalam menjalankan program Homer tersebut adalah dengan memasukkan data beban listrik yang perlu dipenuhi oleh pembangkit dan data kecepatan angin serta kombinasi sistem hibrid yang akan dilakukan, seperti kombinasi antara energi angin dan generator.

Keluaran yang ingin dihasilkan dari penelitian ini adalah analisis kelayakan pembangunan turbin angin pada suatu lokasi dan urutan kombinasi dari turbin angin sistem hibrid yang dipasang berdasarkan pada biaya instalasi dan tingkat penggunaan faktor energi terbarukan serta jumlah emisi yang dihasilkan oleh sistem pembangkit yang beroperasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sumber Daya Energi

Energi angin

Sumber energi angin sebagai salah satu sumber energi terbarukan memberikan data angin yang akan digunakan oleh pembangkit.

Pengukuran potensi energi angin dilakukan dengan cara mengukur kecepatan angin menggunakan anemometer dan untuk data tahunan diperoleh dari Badan Metrologi dan Geofisika (BMKG) Stasion Meulaboh.

Tabel 1: Kecepatan angin rata-rata perbulan selama setahun.

Bulan	Kecepatan Angin Rata-rata (Knott)	Kecepatan Angin Rata-rata (m/s)
Januari	7	3.6
Februari	9.5	4.9
Maret	7.5	3.9
April	6.9	3.5
Mei	8.2	4.2
Juni	9.6	4.9
Juli	8.3	4.3
Agustus	8	4.1
September	6	3
Oktober	10	5.1
November	7	3.6
Desember	10	5.1
Kecepatan angin rata-rata	8.358	4.28

Data dari BMKG Stasiun Meulaboh harus dikoreksi menurut ketinggian poros turbin angin dan berdasarkan nilai koefisien karakteristik daerah dimana lokasi turbin angin akan dipasang.

Ketinggian poros turbin angin adalah 60 meter dari permukaan tanah serta kondisi lokasi pemasangan turbin angin terletak pada daerah “Tanaman tinggi dan Lindung” dengan koefisien gesekan (α) sebesar 0,20 maka data tersebut menjadi :

Tabel 2: Kecepatan angin rata-rata perbulan selama setahun setelah dikoreksi.

Bulan	Kecepatan Angin Rata-rata (m/s)
Januari	5.2
Februari	7
Maret	5.6
April	5
Mei	6
Juni	7
Juli	6.2
Agustus	5.9
September	4.3
Oktober	7.3
November	5.2
Desember	7.3
Kecepatan angin rata-rata	6

Diesel

Sebagai sistem pembangkit hibrid, Generator digunakan sebagai sumber pembangkit yang berasal dari non-renewable energy (sumber energi selain sumber energi terbarukan).

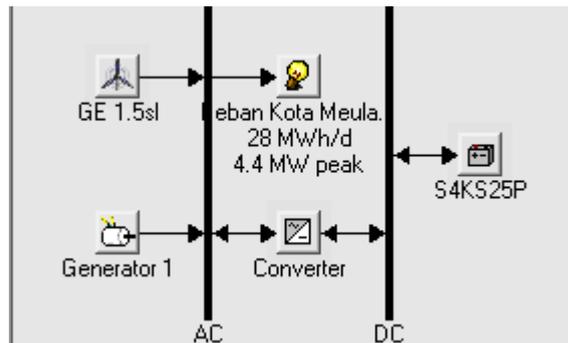
Generator yang digunakan pada sistem hibrid ini adalah generator diesel yang berbahan bakar solar, adapun sifat-sifat dari bahan bakar diperlihatkan pada tabel 4.5.

Tabel 3: Sifat-sifat bahan bakar solar.

Fuel Properties	Value
Lower Heating Value (MJ/kg)	43.2
Density (kg/m ³)	820
Carbon Content (%)	88
Sulfur Content (%)	0.33

Pemodelan Turbin Angin oleh Perangkat Lunak HOMER

Pemodelan pembangkit sistem hibrid dari turbin angin dan generator memperlihatkan kombinasi dari sistem, seperti diperlihatkan pada gambar 4.4.



Gambar 6: Pemodelan Sistem

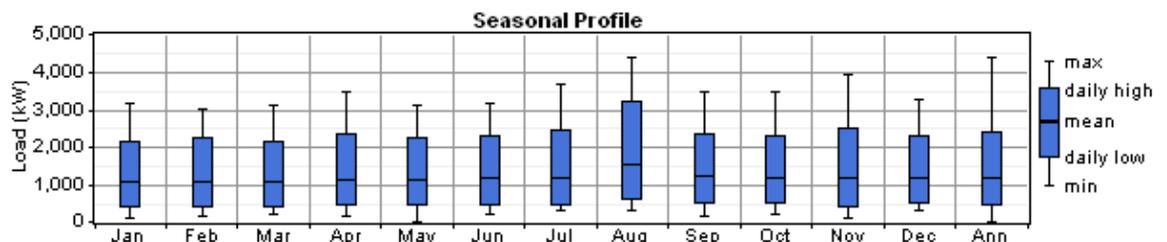
Dari gambar tersebut terlihat bahwa sistem pembangkit terdiri dari Turbin Angin yang menghasilkan energi listrik dalam bentuk arus searah (DC), kemudian arus tersebut dirubah menjadi arus bolak balik (AC) oleh Converter.

Energi dari turbin angin tersebut digunakan sebagai pembangkit energi utama dalam menyuplai kebutuhan energi primer konsumen dan apabila ada kelebihan pasokan energi oleh turbin angin, maka energi tersebut akan disimpan oleh baterai dalam bentuk arus DC.

Generator akan memberi pembangkitan energi kepada pembangkit apabila energi yang diberikan oleh sumber dari energi terbarukan (turbin angin) berkurang, dan juga digunakan untuk pemenuhan sumber energi tambahan.

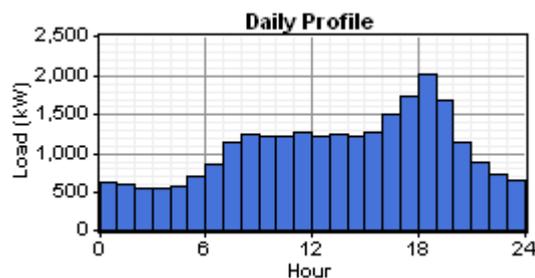
Beban pembangkit

Beban pembangkit yang diberikan oleh pengguna terhadap sistem adalah dalam bentuk penggunaan daya listrik tahunan, baik yang bersifat utama maupun beban tambahan seperti terlihat pada gambar 7.



Gambar 7: Beban daya listrik pertahun.

Beban daya harian memperlihatkan penggunaan beban selama kurun waktu pemakaian 24 jam, seperti terlihat pada gambar 8.



Gambar 8: Profil beban harian

Hasil Optimasi Program Homer

Setelah memasukkan semua data beban energi listrik dan energi angin kedalam perangkat lunak, HOMER kemudian melakukan simulasi terhadap data tersebut dengan cara memvariasikan semua parameter sehingga menghasilkan output.

Output yang dihasilkan adalah parameter kelayakan dari sistem yang terdiri dari turbin angin, generator, baterai dan converter.

Pada tampilan output untuk hasil optimasi diberikan dalam 2 bentuk, yaitu bentuk secara keseluruhan yang memperlihatkan peringkat dari konfigurasi sistem berdasarkan Net Present Cost (NPC) dan bentuk berdasarkan kategori yang memperlihatkan jumlah biaya yang dikeluarkan paling sedikit pada setiap sistem, seperti diperlihatkan pada tabel 4.

Tabel 4: Hasil optimasi keseluruhan

GE 1.5sl	Gen. (kW)	Batere	Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	Operating Cost (\$/yr)	CoE (\$/kWh)	Ren. Frac
3	5,000	2	4	5,477,200	66,535,084	4,776,358	0.507	0.58
3	5,000	3	4	5,479,000	66,537,864	4,776,435	0.507	0.58
3	5,000	0	0	5,470,000	66,539,544	4,777,270	0.507	0.58
3	5,000	1	4	5,475,400	66,539,984	4,776,882	0.507	0.58
3	5,000	4	4	5,480,800	66,540,636	4,776,511	0.507	0.58
3	5,000	5	4	5,482,600	66,543,412	4,776,587	0.507	0.58
2	5,000	3	4	4,489,000	67,118,504	4,899,301	0.511	0.46
2	5,000	4	4	4,490,800	67,121,280	4,899,377	0.511	0.46
4	5,000	2	4	6,467,200	67,121,744	4,744,806	0.511	0.66
2	5,000	2	4	4,487,200	67,123,424	4,899,826	0.511	0.46
2	5,000	5	4	4,492,600	67,124,048	4,899,453	0.511	0.46
4	5,000	3	4	6,469,000	67,124,520	4,744,883	0.511	0.66
4	5,000	1	4	6,465,400	67,126,680	4,745,333	0.511	0.66
4	5,000	4	4	6,470,800	67,127,296	4,744,959	0.511	0.66
4	5,000	5	4	6,472,600	67,130,072	4,745,035	0.511	0.66
2	5,000	1	4	4,485,400	67,136,048	4,900,955	0.511	0.46
4	5,000	0	0	6,460,000	67,149,416	4,747,534	0.511	0.66
2	5,000	0	0	4,480,000	67,158,728	4,903,151	0.512	0.46
5	5,000	2	4	7,457,200	68,091,256	4,743,203	0.519	0.71
5	5,000	3	4	7,459,000	68,094,040	4,743,280	0.519	0.71
5	5,000	4	4	7,460,800	68,096,816	4,743,356	0.519	0.71
5	5,000	5	4	7,462,600	68,099,584	4,743,433	0.519	0.71
5	5,000	1	4	7,455,400	68,103,776	4,744,324	0.519	0.71
5	5,000	0	0	7,450,000	68,110,968	4,745,309	0.519	0.71
1	5,000	2	4	3,497,200	69,822,792	5,188,433	0.532	0.28
1	5,000	3	4	3,499,000	69,825,568	5,188,510	0.532	0.28
1	5,000	4	4	3,500,800	69,828,344	5,188,586	0.532	0.28
1	5,000	5	4	3,502,600	69,831,120	5,188,662	0.532	0.28
1	5,000	0	0	3,490,000	69,834,968	5,189,949	0.532	0.28
1	5,000	1	4	3,495,400	69,843,080	5,190,161	0.532	0.28
0	5,000	0	0	2,500,000	69,930,144	5,274,839	0.533	0.00
0	5,000	1	4	2,505,400	69,938,256	5,275,051	0.533	0.00
0	5,000	2	4	2,507,200	69,941,032	5,275,127	0.533	0.00

0	5,000	3	4	2,509,000	69,943,808	5,275,204	0.533	0.00
0	5,000	4	4	2,510,800	69,946,584	5,275,280	0.533	0.00
0	5,000	5	4	2,512,600	69,949,360	5,275,356	0.533	0.00
3	6,000	2	4	5,977,200	78,076,176	5,640,066	0.595	0.54
3	6,000	3	4	5,979,000	78,078,952	5,640,143	0.595	0.54
3	6,000	4	4	5,980,800	78,081,728	5,640,219	0.595	0.54
3	6,000	1	4	5,975,400	78,082,608	5,640,710	0.595	0.54
3	6,000	0	0	5,970,000	78,083,704	5,641,218	0.595	0.54
3	6,000	5	4	5,982,600	78,084,504	5,640,295	0.595	0.54
4	6,000	2	4	6,967,200	78,286,080	5,579,042	0.596	0.62
4	6,000	3	4	6,969,000	78,288,856	5,579,118	0.596	0.62
4	6,000	4	4	6,970,800	78,291,632	5,579,195	0.596	0.62
4	6,000	1	4	6,965,400	78,292,560	5,579,690	0.596	0.62
4	6,000	5	4	6,972,600	78,294,408	5,579,271	0.596	0.62
4	6,000	0	0	6,960,000	78,321,464	5,582,373	0.597	0.62
5	6,000	2	4	7,957,200	78,951,064	5,553,617	0.601	0.67
5	6,000	3	4	7,959,000	78,953,848	5,553,694	0.601	0.67
5	6,000	4	4	7,960,800	78,956,616	5,553,770	0.601	0.67
5	6,000	5	4	7,962,600	78,959,392	5,553,846	0.601	0.67
5	6,000	1	4	7,955,400	78,966,648	5,554,977	0.602	0.67
5	6,000	0	0	7,950,000	78,976,896	5,556,201	0.602	0.67
2	6,000	3	4	4,989,000	79,249,152	5,809,128	0.604	0.42
2	6,000	4	4	4,990,800	79,251,928	5,809,204	0.604	0.42
2	6,000	5	4	4,992,600	79,254,704	5,809,281	0.604	0.42
2	6,000	2	4	4,987,200	79,255,616	5,809,774	0.604	0.42
2	6,000	1	4	4,985,400	79,271,320	5,811,144	0.604	0.42
2	6,000	0	0	4,980,000	79,300,160	5,813,822	0.604	0.42
0	6,000	0	0	3,000,000	82,851,096	6,246,489	0.631	0.00
0	6,000	1	4	3,005,400	82,859,208	6,246,701	0.631	0.00
0	6,000	2	4	3,007,200	82,861,976	6,246,777	0.631	0.00
0	6,000	3	4	3,009,000	82,864,760	6,246,854	0.631	0.00
0	6,000	4	4	3,010,800	82,867,536	6,246,930	0.631	0.00
0	6,000	5	4	3,012,600	82,870,312	6,247,006	0.631	0.00
1	6,000	2	4	3,997,200	82,901,752	6,172,444	0.631	0.25
1	6,000	3	4	3,999,000	82,904,528	6,172,521	0.632	0.25
1	6,000	4	4	4,000,800	82,907,304	6,172,597	0.632	0.25
1	6,000	5	4	4,002,600	82,910,080	6,172,673	0.632	0.25
1	6,000	0	0	3,990,000	82,918,536	6,174,321	0.632	0.25
1	6,000	1	4	3,995,400	82,926,648	6,174,533	0.632	0.25

Hasil simulasi dari HOMER memperlihatkan peringkat berdasarkan biaya yang efektif, yaitu sistem yang mempunyai biaya Net Present Cost (NPC) terkecil. Sistem pembangkit yang terdiri dari turbin angin, generator, baterai dan converter dalam menjalankan sistemnya menggunakan pola Cycle Charging, yaitu strategi pengiriman sistem pembangkit yang menggunakan generator dalam memenuhi kebutuhan beban utama, sedangkan pemenuhan beban tambahan dilakukan oleh sumber pembangkit energi terbarukan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan terhadap sistem pembangkit listrik hibrid (PLH) di kota Meulaboh, maka dapat disimpulkan :

4. Perancangan sistem pembangkit yang dilakukan terdiri dari turbin angin, generator, baterai dan inverter, yaitu untuk mendapatkan konfigurasi sistem pembangkit dengan biaya yang efektif yang digunakan untuk memasok kebutuhan energi listrik pada sekitar 14.846 rumah tangga.
5. Kecepatan angin rata-rata yang dihasilkan dari hasil pengukuran untuk perancangan sistem pembangkit adalah sebesar 6.00 m/s.
6. Hasil simulasi HOMER dalam bentuk optimasi keseluruhan memperlihatkan nilai simulasi sistem berdasarkan Net Present Cost (NPC) terendah, maka didapat nilai NPC terendah untuk sistem tersebut adalah \$66,535,084 (Rp599 Milliar), Cost of Energy (COE) adalah 0.507 \$/kWh (4,563 Rp/kWh) dan nilai Renewable Factor (RF) sebesar 0 %.
7. Hasil dengan nilai renewable factor (RF) terbesar adalah 71 %, memberikan nilai Net Present Cost (NPC) sebesar \$68,091,256 (Rp.613 Milliar) dan Cost of Energy (COE) sebesar 0.519 \$/kWh (4,671 Rp/kWh).

5. SARAN

Dari penelitian yang telah dilakukan terhadap sistem pembangkit listrik sistem hibrid di kota Meulaboh, maka penulis memberikan beberapa saran antara lain :

- c. Penerapan pembangkit listrik sistem hibrid antara pemanfaatan energi angin dan generator di kota Meulaboh memerlukan subsidi yang besar dari pemerintah, baik pemerintah daerah maupun pemerintah pusat.
- d. Penelitian pembangkit listrik sistem hibrid pada lokasi yang sama perlu dilakukan terhadap kombinasi sumber sistem pembangkit yang lain, seperti energi matahari, energi gelombang dan lain sebagainya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Dirjen Dikti dalam hibah penelitian skim Penelitian Dosen Pemula tahun 2015.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.R. Jha, Ph.D. *Wind Turbine Technology*. CRC Press Taylor & Francis Group
- [2] Anonymous, (2002). *Guidelines for Design of Wind Turbines 2nd Edition*, Det Norske Veritas, Copenhagen (Wind.Turbine.Certification@dnv.com) and Wind Energy Department, Risø National Laboratory (Certification@risoe.dk)
- [3] Alliance for Rural Electrification, (2008). *Hybrid Power Sistem Based on Renewable Energies: A Suitable and Cost-Competitive Solution for Rural Electrification*, <http://www.ruralelec.org>.
- [4] AWEA, (1997). *International wind energy incentives*, American Wind Energy Association Washington D.C
- [5] A.W. Culp, (1991). *Principles of Energy Conversion*, 2nd Edition (McGraw Hill International Edition, NewYork)
- [6] Argaw, N., R. Foster, R. and A. Ellis (2003), *Renewable Energy for Water Pumping Applications in Rural Villages*, NREL (National Renewable Energy Laboratory), Colorado.

- [7] Brown, L. A. (2004), *Europe Leading World Into Age of Wind Energy*, Earth Institute Policy.
- [8] BTM Consults ApS (2005), *International Wind Energy Development World Market Update 2004 Forecast 2005-2009*, Press Release March 31, 2005.
- [9] Mick Sagrillo, Ian Woofenden, Robert Aram and Jim Green, *WIND POWER Basics*. New Society Publisher
- [10] Mathew, S., (2006). *Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- [11] Patel, M.R., (2006). *Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis, and Operation*, 2nd Ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- [12] Sathyajith Mathew, (2006). *Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics*, Krips bv, Meppel Binding: Stürtz AG, Würzburg.
- [13] SINISA STANKOVIC, NEIL CAMPBELL and ALAN HARRIES, (2009). *Urban Wind Energy*, Earthscan in the UK and USA.
- [14] S. Masoud Barakati, Fang Yao, Ramesh C. Bansal, Zhao Yang Dong, Ram K. Saket, Jitendra S. Shakya. Andrea Junyent, Ferre, Oriol Gomis, Bellmunt, (2010). *Handbook Of renewable Energy Technolog.*. World Scientific Publising Co. Pte. Ltd. www.worldscibook.com/environsci/7489.html
- [15] Tong, C.W. (1997), *The Design and Testing of a Wind Turbine for Malaysian Wind Condition*, Thesis, UTM.