

Kajian Potensi Energi Bayu sebagai Penggerak Pompa Pengairan Pertanian Daerah Sare Aceh Besar

Meliagrina¹, Ahmad Syuhada², Zahrul Fuadi³

¹⁾ Program Studi Magister Teknik Mesin Pascasarjana Universitas Syiah Kuala Banda Aceh

^{2,3)} Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala

Email: meliagrina@gmail.com

Abstract

The amount of agricultural lands has been converted into residential land and industrial land since a lot of farmland in the mountains has been opened. Groundwater and river has been used to irrigate the agricultural lands. Farmers in the mountainous areas typically use his physical effort to get water from river to agricultural land. This causes inefficiency of working for farmers thus the agricultural productivity is not optimal. Owing the fact that agricultural land is far from the electricity resources (PLN) therefore a small capital farmer must use pump to irrigate their agricultural lands. Hence, farmers have to spend big amount of money to buy fuel to drive the agricultural pump engine. Thus, it is necessary to have a specific research on the availability of wind energy in order to mobilize the agricultural pump engine in the mountainous area. In this case, the authors have calculated and analyzed the potential of wind energy to drive the pump in the village of Sare, Aceh Besar. From the analysis it has been obtained that the average wind speed of 6,41 m/s with the diameter of rotor turbine about 3 meter result in 1005,26 watt of wind turbine power. This power can be used to power a 20 m head static pump, requiring 650 watt to provide irrigation for 19 hectare of agricultural land 7 hrs/day. HOMER and Epanet 2.2 software are used to conduct simulation for power system generation. The result of HOMER simulation shows the lowest NPC value of US\$ 10.028 with the cost of energy (CoE) of USD 0.717 kWh. The system could produce electricity power in a year of 3.452 kWh and the working length of the generating power system is 15 years

Keywords: wind energy potential, wind turbine, water pump, agricultural lands, homer

1. Pendahuluan

Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam adalah salah satu provinsi yang mayoritas masyarakatnya hidup sebagai petani. Di mana lahan pertanian pada umumnya merupakan lahan tadah hujan. Pada musim hujan air melimpah dan ketika musim kemarau terjadi kekeringan. Oleh sebab itu pemerintah, telah banyak membantu pertanian dengan membangun bendungan – bendungan irigasi, waduk dan tempat penyimpanan air. Tetapi pada musim kemarau air irigasi atau tempat penyimpanan air mengalami kekeringan. Pada musim kemarau itu petani memanfaatkan air sungai dan air tanah (*ground water*) dengan cara menggali sumur. Biasanya petani menggunakan tenaga fisik untuk menaikkan air sumur dan air sungai ke lahan pertanian. Petani yang mempunyai modal usaha besar memanfaatkan air sungai yang diberi bantuan pompa. Untuk menggerakkan pompa air tersebut kelahan pertanian dengan menggunakan motor diesel yang berbahan bakar minyak. Seiring dengan meningkatnya harga bahan bakar minyak yang berakibat pada menambah besarnya pengeluaran bagi para petani untuk mengairi lahan pertanian mereka merupakan kendala

terbesar yang menyebabkan berkurangnya keuntungan yang diperoleh oleh petani.

Permasalahan diatas adalah sebagian kecil yang dialami oleh para petani, permasalahan yang lebih besar saat ini yaitu dimana sebagian pertanian yang dipergunakan untuk bercocok tanam kini beralih fungsi menjadi lahan perumahan dan perindustrian, sehingga para petani harus membuka lahan baru untuk dapat bercocok tanam, salah satu potensi lahan yang dibuka oleh petani adalah di daerah pegunungan. Hal ini disebabkan bahwa untuk kebutuhan air di pergunungan masih dapat di suplai dari sungai.

Usaha yang dapat ditempuh untuk menanggulangi permasalahan tersebut adalah memanfaatkan sumber energi terbarukan yang banyak tersedia dan dapat dimanfaatkan, antara lain yaitu energi bayu.

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk meningkatkan pemanfaatan sumber energi terbarukan terutama untuk membuat Pembangkit Listrik Tenaga Bayu. Dalam hal ini pengkajian harus dilakukan secara mendalam untuk mendapatkan sistem pembangkit tenaga bayu yang tepat guna.

Hamdani, telah melakukan perencanaan, pembuatan dan pengujian turbin kincir angin penggerak pompa dengan diameter rotor kincir angin 4 m, tinggi tower 7 m, mampu memompakan air 0,8 m³/jam dengan kecepatan angin rata-rata 4,5 m/det. Kelemahan utama penggunaan kincir air adalah perawatan sistem roda gigi untuk penggerak batang pompa. Penggunaan turbin angin yang menghasilkan listrik atau disebut dengan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) akan lebih mudah dalam perawatannya [1].

Hamdani, telah melakukan pemasangan dan pengukuran daya keluar turbin PLTB 10 KW. Dari hasil pengukuran yang dilaksanakan selama 6 (enam) bulan diperoleh daya maksimum yang dicapai adalah 5,5 kW pada kecepatan bayu 5,5 – 6 m/det. Turbin angin yang digunakan memiliki diameter rotor 8 m, dipasang pada ketinggian 15 m [2].

Pada kajian ini penulis menganalisa potensi sumber energi bayu sebagai energi terbarukan untuk dapat penggerak pompa untuk mengairi lahan pertanian di area pegunungan. Analisa untuk biaya investasi dilakukan dengan bantuan perangkat lunak HOMER, dimana dari hasil simulasi bahwa pemakaian sistem ini sangat tergantung pada biaya investasi awal.

2. Teori Dasar

Angin merupakan udara yang memiliki massa dan bergerak dengan kecepatan tertentu. Akibat pergerakan ini, angin memiliki daya yang sebanding dengan massanya dan berbanding lurus dengan kuadrat kecepatannya. Secara ideal kecepatan angin yang menggerakkan kincir angin ada tiga, yaitu kecepatan aliran angin masuk (V_i) atau kecepatan aliran angin menuju blade, kecepatan aliran angin saat mengenai blade (V_a) dan kecepatan aliran angin ketika meninggalkan blade (V_e), yaitu :

Angin mempunyai tenaga yang sama besarnya dengan energi kinetik dari aliran angin tersebut, yaitu [3]:

$$P_{tot} = m \cdot KE_i = m \cdot \frac{V_i^2}{2 \cdot gc} (W) \quad (1)$$

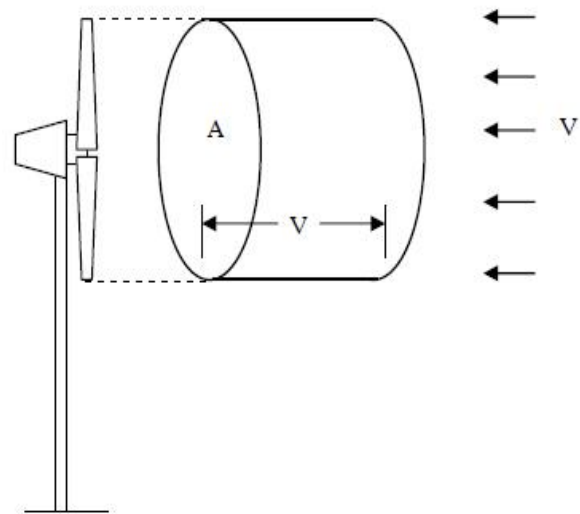
Dimana :

P_{tot} = daya total angin (W)

m = aliran massa angin $\left(\frac{kg}{det} \right)$

V_i = kecepatan angin masuk $\left(\frac{m}{det} \right)$

Gc = faktor konversi = 1 $\left(\frac{kg \cdot m}{N \cdot det} \right)$



Gambar 1. Suatu bidang udara bergerak ke arah turbin angin [3]

Menurut Manwell dan Gowan [4], daya angin berbanding lurus dengan kerapatan udara, dan kecepatan angin pangkat tiga yang alirannya tidak mengalami gangguan seperti kubik kecepatan angin, seperti diungkapkan dengan persamaan berikut:

$$P_w = \frac{1}{2} A \cdot \rho V^3 \text{ (Watt/m}^2\text{)} \quad (2)$$

Dimana:

P_w = Daya dalam angin (Watt/m²)

A = Luas area sapuan rotor SKEA (m²)

ρ = Densitas udara (1,225 kg/m³)

V = Kecepatan angin (m/det)

Energi kinetik dari sebuah benda yang bergerak sebanding dengan massanya. Dengan demikian, energi kinetik dari angin tergantung pada kepadatan udara. Pada tekanan atmosfer normal dan temperatur 15°C kerapatan udara adalah 1,255kg/m³ meskipun nilai ini sedikit menurun dengan peningkatan kelembaban.

Daya angin maksimum yang dapat diekstrak oleh turbin angin dengan luas sapuan rotor A adalah:

$$P = \frac{16}{27} r A V^3 \quad (3)$$

Angka 16/27 (59.3%) ini disebut batas Betz (Betz limit, diambil dari ilmuwan Jerman Albert Betz). Angka ini secara teori menunjukkan efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh rotor turbin angin tipe sumbu horisontal. Pada kenyataannya karena ada rugi-rugi gesekan dan kerugian di ujung sudu, efisiensi aerodinamik dari rotor, η rotor ini akan lebih kecil lagi yaitu berkisar pada harga maksimum 0.45 saja untuk sudu yang dirancang dengan sangat baik, maka didapatkan persamaan selanjutnya, yaitu:

$$P = \frac{16}{27} \rho A V^3 \eta \quad (4)$$

Dimana:

η = Efisiensi aerodinamis (maksimal 45%)

Menurut Yao [5], kecepatan angin akan meningkat dengan ketinggian karena gesekan pada permukaan bumi adalah besar Culp [6], laju peningkatan kecepatan angin yang sering digunakan untuk menggambarkan dampak dari kekasaran permukaan bumi pada kecepatan angin diberikan persamaan sebagai berikut:

$$\left(\frac{v}{v_0}\right) = \left(\frac{H}{H_0}\right)^\alpha \quad (5)$$

dimana:

v = kecepatan angin pada ketinggian H ,

v_0 = kecepatan angin pada ketinggian H_0

α = adalah koefisien gesekan.

Energi yang secara efektif diterima dari pompa persatuan waktu disebut daya air, yang dapat ditulis sebagai [7]:

$$P_w = 0,163 \gamma Q H \quad (6)$$

Dimana :

γ = Berat air persatuan volume (kgf/l)

Q = Kapasitas (m³/menit)

H = Head Total pompa (m)

P_w = Daya Air (kW)

Sementara daya poros yang diperlukan untuk menggerakkan pompa adalah sama dengan daya air ditambah kerugian daya di dalam pompa [7]. Daya ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P = \frac{P_w}{\eta_p} \quad (7)$$

Dimana:

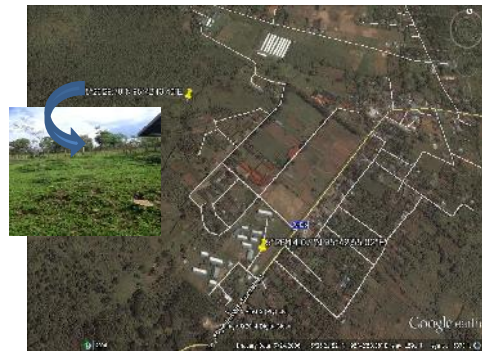
P = Daya poros sebuah pompa (kW)

η_p = Efisiensi pompa (pecahan)

3. Metode Penelitian

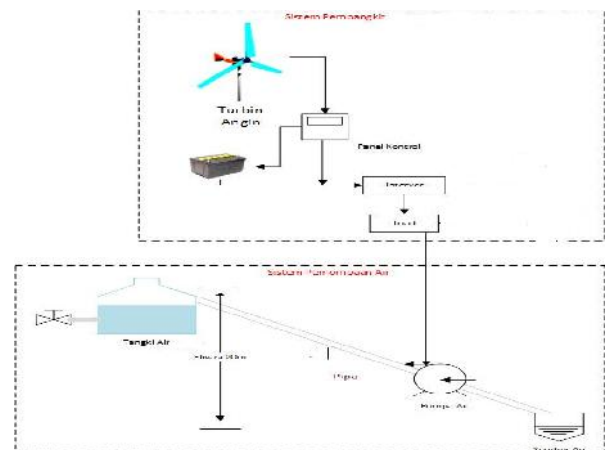
Beberapa tahapan yang dilakukan selama penelitian.

1. Pengambilan data primer, yaitu meliputi pengukuran potensi energi bayu diukur pada lokasi dalam area pertanian lokasi penelitian. Data pengukuran potensi energi bayu dari BMKG SMK Sare [8] dihasilkan dari bulan Januari – Des 2013. Titik perencanaan adalah 20 meter dari permukaan tanah dan jalan Banda Aceh - Medan, sedangkan titik peletakan turbin adalah 25,5 meter, dari permukaan jalan.



Gambar 2. Tempat Penelitian dan Lahan Pertanian di daerah Sare, Aceh Besar

2. Perhitungan Daya kincir/turbin angin untuk mendapatkan energi bayu.
3. Perhitungan Daya Air, Daya Poros dan Daya penggerak pompa.
4. Pemilihan potensi angin yang berdaya listrik sekitar 1 KW.



Gambar 3. Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Perhitungan Potensi Angin

Dari hasil data perhitungan akan diperoleh distribusi kecepatan angin seperti terlihat pada gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. Hasil pengukuran analisis distribusi kecepatan angin di Sare

Dari gambar 4 terlihat hasil analisis distribusi berwarna merah dan terlihat bahwa kecepatan angin minimum terjadi pada bulan Juli sebesar 4.8 m/det dan untuk kec. Angin maksimum terjadi pada bulan Oktober yaitu sebesar 8.2 m/det.



Gambar 5 Distribusi kecepatan Angin rata – rata dengan daya listrik rata – rata

4.2 Daya Angin

Daya potensi angin didapat dengan persamaan 4. Berdasarkan literatur untuk efisiensi 45% adalah maksimum, maka diambil 30%-45% sebagai titik aman sehingga terlihatlah dari tabel tersebut bahwa daya kincir angin rata – rata dalam setahun yaitu 1005,26 Watt/m² dan untuk mendapatkan daya kincir ini didapat dari hasil perkalian antara daya angin dengan efisiensi kincir angin 45%.

Daya poros didapat dari perkalian daya kincir angin dengan efisiensi poros yaitu 80% (0,8) sehingga didapat untuk daya poros rata – rata dalam setahun sebesar 804,20 Watt dan untuk daya listrik didapat dari perkalian daya poros dengan efisiensi elektrik sebesar 80% maka didapat daya listrik rata – rata setahun sebesar 643,36 Watt.

Menurut Kadir [9], Daya yang dihasilkan oleh turbin angin dipengaruhi oleh rapat jenis angin dan kecepatan angin. Dari data pengukuran didapatkan kecepatan angin rata-rata pertahun 6,41 m/det dengan persamaan 4 diatas, maka diperoleh daya turbin angin sebesar 1005,26 Watt atau 1,01 kW. Sementara Energi yang dikeluarkan dari sistem kincir angin menjadi input pada daya pompa sebesar 643,36 Watt, sesuai dengan kebutuhan daya pompa. Hal Ini sesuai dengan data perencanaan yang digunakan dan lebih dari yang tersedia.

4.3 Perencanaan dan Perhitungan Pompa

Perhitungan daya air didapat dari persamaan 6, sementara untuk mendapatkan daya poros, maka daya air dibagi dengan efisiensi poros yaitu 75% dan untuk mendapatkan daya penggerak pompa maka dibagikan dengan efisiensi penggerak sebesar 75%, sehingga didapat hasil seperti tabel 1, berikut;

Tabel 1. Hasil analisis daya untuk pompa

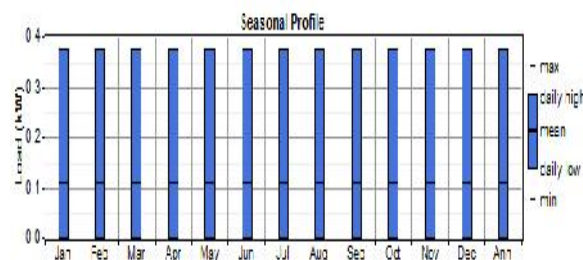
Daya Air	Daya Poros	Daya Penggerak pompa	Daya Listrik (daya output)
146.7	195.6	260.80	372.57
220.05	293.4	391.20	558.86
242.055	322.74	430.32	614.74

Hasil dari perencanaan sebelumnya didapat bahwa kincir angin dengan daya 1005,26 Watt atau 1,01 kW, dapat menggerakkan pompa dengan daya 450 - 650 Watt. Dengan kecepatan angin rata – rata setahun 6.41 m/det maka turbin bisa beroperasi 40% dari 24 jam adalah 9,6 Jam perhari, untuk aman diambil selama 7 jam/hari. Kapasitas aktual adalah 50L/menit jadi Q perencanaan adalah Q aktual /Efisiensi volumetrik ($Q_{\text{aktual}} / \eta_{\text{Volumetrik}}$), dasar mengambil Q_{aktual} 50L/mit adalah karena kapasitas sungai diareal perencanaan pada waktu kemarau (bulan Juni) adalah 1,8 L/det atau 108 m/menit sehingga daya 50% diambil untuk dipompakan, maka didapatlah 3000 L/jam atau 0,3 m³, sementara untuk 7 jam/hari maka didapat 21 m³.

Menurut Doorenbos dan Kassam [10] serta Kurnia [11] untuk tanaman Cabai, Tomat, Bawang dan Jagung kebutuhan air sekitar 0,8 m³/hari. Sehingga dalam hal ini dianggap kehilangan volume air dari bak penampungan ke lahan pertanian sebesar 25%. Maka sistem distribusi air adalah 75% atau 0,75, maka kebutuhan air perhektarnya adalah 1,066 m³/Hektar/hari atau 1,1 m³/hektar/hari. Sehingga sistem energi bayu dari turbin angin ini bisa mengalir ke lahan pertanian seluas: 21 m³/hari / 0,1 m³/hektar/hari sama dengan 19 Hektar.

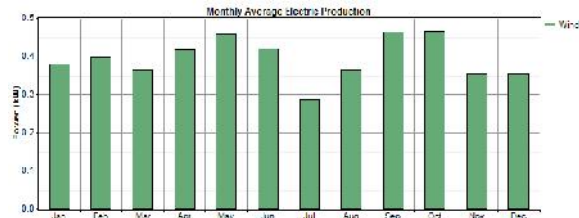
4.3 Simulasi Sistem PLTB dengan Perangkat Lunak HOMER

Dari hasil survey untuk ketinggian sumber air dengan bak penampung/reservoir berupa 25 meter dan dengan debit air 1.8 liter/detik ke dalam bak penampungan atau reservoir. Beban pembangkit yang diberikan oleh pengguna terhadap system adalah bentuk daya listrik tahunan, baik yang bersifat utama maupun beban tambahan seperti terlihat pada gambar 6.



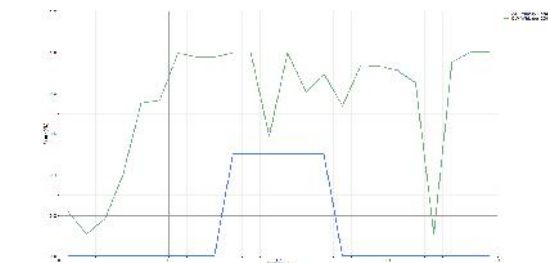
Gambar 6. Beban daya listrik pertahun

Hasil simulasi produksi listrik rata-rata dari sistem PLTB yang disimulasikan didapat distribusi pembangkit untuk produksi listrik rata-rata ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Distribusi Produksi Listrik rata-rata perbulan.

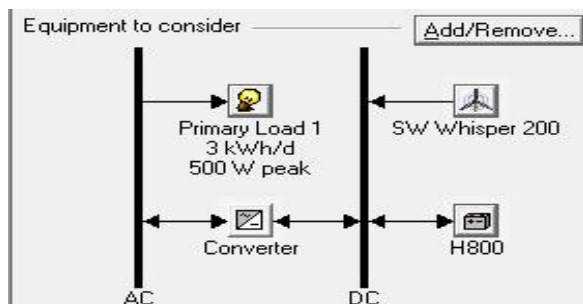
Perbandingan beban harian listrik dengan area pertanian terhadap produksi listrik yang dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan hasil simulasi HOMER ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Perbandingan beban listrik harian dengan sumber energi.

Dari gambar 8 diatas terlihat bahwa mulai dari jam 1 sampai jam 6 pagi, turbin angin belum beroperasi secara optimal, akan tetapi cukup untuk memenuhi beban listrik pada jam-jam tersebut. Pada jam 7 sampai jam 18 sore daya listrik yang dibangkitkan oleh turbin angin mengalami peningkatan. Pada jam 18 hingga jam 24, turbin angin tetap beroperasi tetapi tidak optimal dan daya yang dihasilkan disimpan di baterai.

Simulasi atau pemodelan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu memperlihatkan kombinasi dari system seperti terlihat pada gambar 9 berikut.



Gambar 9. Diagram skematik penelitian menggunakan perangkat lunak HOMER

Data desain simulasi dimasukkan ke perangkat lunak Homer yang akan memberikan gambaran ketersediaan energi terbarukan, kebutuhan beban

listrik, biaya dan ukuran komponen sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (susunan turbin angin, converter dan baterai).

Pada desain simulasi penelitian, nilai rata – rata kecepatan angin 6,41 m/s. Sebagai data perkiraan Biaya investasi awal turbin angin sebesar Rp. 32.050.000,- (US\$3.205) dan biaya pengembalianya (replacement costs) sebesar Rp. 30.000.000,- (US\$3.000,-). Biaya operasional dan perawatan sebesar Rp. 2.500.000,- pertahun (US\$250/year). Umur operasional turbin angin diperkirakan hingga berakhirnya operasi yaitu sekitar 10 - 20 tahun.

Table 2. Desain Simulasi

Parameter yang ditentukan	Wind
Total Rated Capaciti (kW)	1
Percentase (%)	100%
Capacity Faktor (%)	39,4 %
Mean Output (kW)	0,39 kW
Annual Energy (kWh/y)	3,452
Annual Hour of operation	6.478 hr/yr

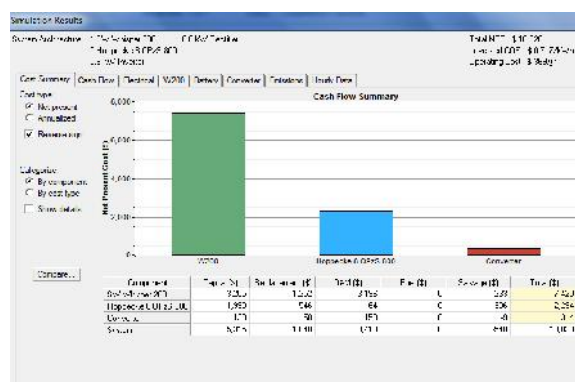
Hasil simulasi mencakup ukuran komponen, biaya konfigurasi sistem dan total NPC sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 10 dibawah ini.

Double click on a system below for simulation results.

			W200	H800	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frc.	
			1	4	0.50	\$4,897	221	\$7,723	0.625	1.00	

Gambar 10. Hasil simulasi HOMER

Konfigurasi optimal sistem menunjukkan kombinasi turbin angin, baterai, dan converter. Berdasarkan hasil simulasi tersebut menunjukkan nilai investasi awal tertinggi dengan rincian Biaya investasi awal sebesar \$ 5.315, Biaya Operasional sebesar \$ 369 per tahun, Total NPC (*Net Present Cost*) sebesar \$ 10.028, CoE (*Cost of Energy*) sebesar \$ 0,717 per kWh dan produksi Turbin Angin sebesar 3.452 kWh/tahun.



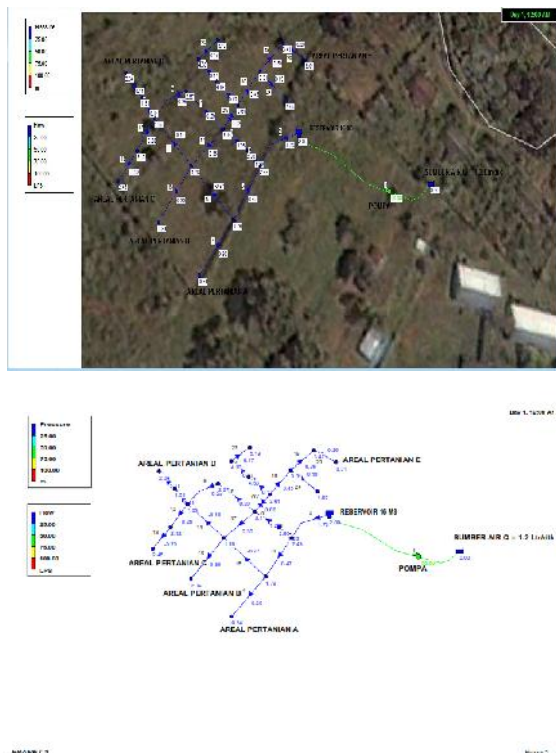
Gambar 11. Hasil rincian untuk biaya

Gambar 11 diatas menunjukkan hasil keluaran dari perangkat lunak HOMER [12] untuk ringkasan dari arus pengeluaran harga turbin angin, baterai dan converter sebagai komponen dari PLTB ini.

4.4 Lahan Pertanian

Hasil simulasi jaringan secara keseluruhan diperoleh gambaran umum untuk pertanian berupa pemodelan aliran baik arah dan besarnya aliran untuk tiap simulasi, kondisi keseimbangan antara kapasitas suplai dan besarnya permintaan, selain itu juga bisa diketahui besarnya kehilangan air atau kebocoran dalam sistem jaringan tersebut. Gambar 12 merupakan simulasi pemodelan aliran air untuk lahan pertanian yang direncanakan.

Hasil simulasi perhitungan, baik dari Elevasi/beda tinggi antara sumber dan bak penampung, diameter pipa, panjang pipa, kehilangan tenaga didalam pipa, flow aliran yang ada didalam pipa, tekanan atau preasure dan juga *base demand* yang di rencanakan untuk mengalirkan air di lahan pertanian seperti gambar 12 diatas dengan menggunakan software epanet diketahui arah aliran pada setiap masing-masing pipa yang ditunjukkan oleh warna pada masing – masing link.



Gambar 12. Simulasi keseluruhan aliran air di lahan pertanian dengan menggunakan Epanet [9]

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan terhadap sistem pembangkit listrik tenaga bayu di daerah Sare,

Aceh Besar, maka dapat disimpulkan:

1. Potensi energi angin di daerah Sare, Aceh besar sebesar 6,41 m/s cukup untuk menghasilkan daya listrik dalam setahun sebesar 3.452 kWh
2. Kecepatan angin maksimum terjadi pada bulan September – Oktober yaitu sebesar 8.17 m/s dan kecepatan minimum terjadi pada bulan Juli sebesar 4.81 m/s
3. Turbin angin yang digunakan adalah turbin angin dengan 3 bilah rotor dengan ketinggian 25,5 m.
4. Output energi dari sistem kincir angin menjadi output pada daya pompa yaitu 641 watt, sesuai dengan kebutuhan pompa dengan daya 650 watt. Hal ini juga sesuai dengan data perencanaan yang digunakan lebih dari yang tersedia sehinggadapat mengairi 19 Hektar
5. Hasil simulasi HOMER dalam bentuk optimasi keseluruhan memperlihatkan nilai simulasi sistem berdasarkan NPC terendah, maka didapatkan nilai NPC (Net Present Cost) terendah untuk sistem tersebut adalah \$10.028, Cost Of Energi (COE) adalah \$0.717 kWh.

Daftar Pustaka

- [1] Hamdani, Irwansyah, Sarwo E., 2009, Pembuatan Kincir Bayu Penggerak Pompa Air dan Pelatihan Pembuatan Pupuk Kompos Guna Mengatasi Rawan Kemiskinan di Gampong Labui Kabupaten Pidie. *Laporan Akhir Program IbM*, Lembaga Pengabdian Kepada Masyarakat Unsyiah.
- [2] Hamdani and Irwansyah, 2010, Wind Power Generator for Small Scale Ice Factory for Economy Development at Rural Area in Aceh, Indonesia, *Journal of Energy & Environment*, Vol 2, No 1, 6-8.
- [3] Sathyajith Mathew, 2006, *Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics*, Springer, Netherland.
- [4] D. Rinaldy, F. Faisal, 1996, Studi Desain Sistem Pompa Fotovoltaik dengan kajian penerapan di lingkungan Kampus UI Depok. *Laporan Penelitian*, Laboratorium Sistem Tenaga Listrik, Universitas Indonesia.
- [5] J. F. Manwell and J. G. McGowan, A. L. Rogers, 2009, *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*, Second Edition, John Wiley & Sons Ltd.
- [6] A.W. Culp, 1991, *Principles of Energy Conversion*, 2nd Edition, McGraw Hill, NewYork.
- [7] Sularso, H. Tahara, 2000, *Pompa dan Kompresor*, Pradnya Paramita, Jakarta
- [8] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2013, SMKP Saree, Aceh Besar – NAD.
- [9] L. A. Rossman, 2000, *Epanet 2 User Manual*, National Risk Management Laboratory U.S Environmental Protection Agency.

- [10] J. Dorrenbos and Kassam, 1979, *Yield Response to water*, FAO and Drainage Paper No. 33, FAO-UN, Rome.
- [11] U. Kurnia, M.S. Djunaidi, dan G. Irianto. 2002, Irigasi hemat air pada lahankering didaerah perbukitan kritis Imogiri, Laporan, DI. Yogyakarta
- [12] P. Gilman, T. Lambert, 2009, HOMER: The Micropower Optimization Model Software Started Guide, *National Renewable Energy Laboratory of United States Government*.