

Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Hibrida untuk Menggerakkan Pompa Air di Area Pertanian

Fazri¹, Ahmad Syuhada², Zahrul Fuadi³

¹⁾ Program Studi Magister Teknik Mesin Pascasarjana Universitas Syiah Kuala

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

Abstract

The economic development and population growth in Indonesia has been increasing rapidly. Most of the agricultural land converted into residential and industrial areas, while many farmers moved to a mountainous area. Farmers in mountainous agricultural area using existing sources of water in a small mountainous rivers to irrigate agricultural land, they use man power to lift water from a small river to agricultural land, it is highly ineffective in agricultural products. Farmers with adequate financial can use pumps for raising the water to agricultural land. But because it is far from the power source, pump can only work with the use of expensive fossil fuels. Therefore, to overcome this problem it is necessary to use a renewable energy source which is available in the area such as solar energy and wind or both of them. This research examines about the hybrid power plant (PLTH) of solar and wind energy to power the agriculture pump. The wind speed and solar radiation data is obtained from measurements by BMKG-SMPK-Plus Sare. The output power of the Photovoltaic is equal to 193 W with the exposure time of 5 hours/day, while the power output of the wind turbine is 459.84 W with a 3m blade diameter long and 7 hours/day blowing wind. The pump power was 558 W with a capacity of 20,160 liters/hour, it is used for 15 ha of agricultural area. Based on the analysis results, the proposed system will generate an initial investment cost of US\$ 14.938 with power production equal to 3.210 kW/year.

Keywords: hybrid power plants, solar energy, wind energy, water pump, agricultural area.

1. Pendahuluan

Sekitar 45% wilayah Indonesia berupa perbukitan dan pegunungan yang dicirikan oleh topografi yang sangat beragam, sehingga praktek budidaya pertanian di lahan pegunungan memiliki posisi strategis dalam pembangunan pertanian nasional. Selain memberikan manfaat bagi jutaan petani, lahan pegunungan juga berperan penting dalam menjaga fungsi lingkungan daerah aliran sungai (DAS) dan penyangga daerah di bawahnya. Walaupun berpotensi untuk pengembangan budi daya pertanian, lahan pegunungan rentan terhadap curah hujannya tinggi, serta kondisi tanah kurang stabil [1].

Perkembangan ekonomi dan penduduk di Indonesia sangat berkembang pesat, banyak lahan pertanian telah berubah fungsi menjadi lahan perumahan dan areal industri, oleh karena itulah para petani banyak berpindah ke daerah pegunungan. Area pertanian menggunakan sumber air yang berada di lereng – lereng gunung, petani menggunakan tenaga badannya untuk mengangkat air ke lahan pertanian. Hal ini sangat tidak efektif sehingga produktifitas pertanian berkurang. Bagi petani yang bermodal menggunakan pompa untuk menaikkan air, hal ini akan menaikkan produksi pertanian. Maka untuk menaikkan air dengan pompa perlu energi terbarukan pada lahan pertanian. Pada penelitian ini

penulis merancang pembangkit listrik tenaga hibrida (PLTH) gabungan dari energi surya dan energi angin.

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk meningkatkan pemanfaatan sumber energi terbarukan menggunakan sistem hibrida (energi surya dan energi angin) diantaranya: Razali Thaib [2], melakukan perencanaan sistem pembangkit listrik tenaga hibrida (energi surya dan energi angin) untuk penyediaan energi listrik pada unit pengolahan ikan skala kecil. Analisis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak HOMER, dari hasil simulasi disimpulkan bahwa pemakaian sistem hibrida sangat tergantung pada biaya investasi awal. Yandra S [3], mengembangkan metode perhitungan dan desain pembangkit listrik tenaga hibrida untuk pompa irigasi tetes.

2. Metode Penelitian

Prosedur penelitian ini mencakup pengambilan data lapangan, pengumpulan data awal, analisa data, penentuan daya, dan penentuan parameter PLTH melalui perangkat lunak HOMER, desain semua kemungkinan konfigurasi PLTH, analisa dan kesimpulan.

Pada pengumpulan literatur dimaksudkan untuk mendapatkan gambaran mengenai teori – teori dan konsep-konsep yang mendasar tentang permasalahan dalam penelitian sehingga hasil yang didapat akan

bersifat ilmiah. Pengumpulan literatur yang diperlukan meliputi studi pembangkit listrik tenaga surya, pembangkit listrik tenaga bayu, pembangkit listrik tenaga hibrid, pompa air, perangkat lunak homer, dan perangkat lunak epanet dalam analisa distribusi air.

Pengukuran di lapangan dilakukan untuk mengetahui apakah permasalahan yang telah dirumuskan memang benar sesuai dengan kondisi sesungguhnya. Dengan pengukuran di lapangan ini permasalahan akan mulai tampak dengan ditemukannya ketidaksesuaian sasaran yang ingin dicapai dengan kondisi real yang terjadi. Melakukan pengamatan langsung terhadap objek yang diteliti, dalam hal ini potensi matahari, potensi angin, pengamatan potensi sumber air, fluktuasi konsumsi oleh tanaman, pemilihan pompa air yang tepat, dsb.

Simulasi perangkat lunak HOMER, perangkat lunak ini melakukan perhitungan keseimbangan energi ini untuk setiap konfigurasi sistem yang akan dipertimbangkan. Kemudian menentukan konfigurasi yang layak, apakah dapat memenuhi kebutuhan listrik di bawah kondisi yang ditentukan, perkiraan biaya instalasi dan sistem operasi selama masa proyek. Perhitungan data meliputi NPC dan COE.

Simulasi distribusi air dengan menggunakan software Epanet. Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana distribusi aliran air yang terjadi pada perancangan, bagaimana menentukan pompa yang tetap untuk pendistribusian air, dan berapa besar air yang mampu disuplai ke bak penampungan.

3. Kajian Pustaka

3.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu teknologi pembangkit listrik yang mengkonversi energi foton dari radiasi matahari menjadi energi listrik. Konversi ini dilakukan pada panel surya yang terdiri dari sel - sel fotovoltaik. Sel - sel ini merupakan lapisan - lapisan tipis dari silikon (Si) murni atau bahan semikonduktor lainnya yang diproses sedemikian rupa, sehingga apabila bahan tersebut mendapat energi foton akan mengeksitasi elektron dari ikatan atomnya menjadi elektron yang bergerak bebas, dan pada akhirnya akan mengeluarkan tegangan listrik arus searah [4].

Intensitas radiasi matahari di luar atmosfer bumi bergantung pada jarak antara matahari dengan bumi. Tiap tahun, jarak ini bervariasi antara $1,47 \times 10^8$ km dan $1,52 \times 10^8$ km dan hasilnya besar pancaran E_0 naik turun antara 1325 W/m^2 sampai 1412 W/m^2 . Nilai rata-ratanya disebut sebagai konstanta matahari dengan nilai $E_0 = 1367 \text{ W/m}^2$.

Photovoltaik yaitu proses konversi cahaya matahari secara langsung untuk diubah menjadi listrik. Oleh karena itu, kata Photovoltaik biasa

disingkat dengan PV. Photovoltaik merupakan elemen aktif (semikonduktor) yang memanfaatkan efek Photovoltaik untuk mengubah energi surya menjadi energi listrik tanpa penggunaan dari bagian-bagian mekanis yang bergerak dan tanpa penggunaan bahan bakar [5].

Intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas area PV module dengan persamaan [6]:

$$P_{in} = I_r \times A \quad (1)$$

Sedangkan untuk besarnya daya pada solar cell (Pout) yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka (Voc), arus hubung singkat (Isc), dan Fill Factor (FF) yang dihasilkan oleh sel Photovoltaik dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (2)$$

3.2 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) adalah teknologi pembangkit listrik yang merubah potensi energi angin menjadi energi listrik. Angin adalah udara yang bergerak / mengalir, sehingga memiliki kecepatan, tenaga dan arah.

Menurut Kadir [7] bahwa sebagaimana telah banyak diketahui, angin adalah udara yang bergerak dari tekanan udara yang lebih tinggi ke tekanan udara yang lebih rendah. Perbedaan tekanan udara disebabkan oleh perbedaan suhu udara akibat pemanasan atmosfer yang tidak merata oleh sinar matahari .

3.2.1. Daya energi angin

Energi kinetik yang dihasilkan sekumpulan udara dengan massa m, dengan kecepatan v, dengan arah x adalah [6]:

$$U = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} (\rho A x) v^2 \quad (3)$$

Daya yang dihasilkan angin, Pw adalah turunan energi kinetik terhadap waktu :

$$P_w = \frac{dU}{dt} = \frac{1}{2} \rho A v^2 \frac{dx}{dt} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (4)$$

Rumus kerapatan udara, ρ diperoleh :

$$\rho = 3,485 \frac{p}{T} \text{ kg / m}^3 \quad (5)$$

3.2.2. Kecepatan angin rata – rata

Langkah awal dalam menghitung energi angin adalah mengetahui kecepatan angin rata-rata. Kecepatan angin rata – rata tersebut dapat dihitung dengan rumus [6]:

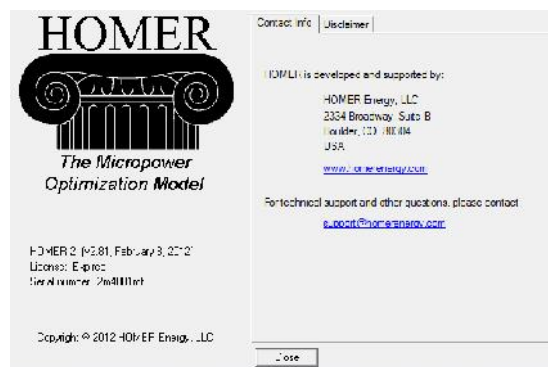
$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (6)$$

3.4 Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH)

Pembangkit listrik tenaga hibrida (PLTH) adalah gabungan atau integrasi antara beberapa jenis pembangkit listrik berbasis BBM dengan pembangkit listrik berbasis energi terbarukan. Umumnya sistem pembangkit yang banyak digunakan untuk PLTH adalah generator diesel, pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), mikrohidro, pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB). Dalam studi ini, PLTH terdiri dari PLTD, PLTB dan PLTS. Ketiga jenis pembangkit ini dioperasikan bersamaan dan dihubungkan pada satu rel (busbar) untuk memikul beban.

3.5. Perangkat Lunak HOMER

HOMER merupakan singkatan dari *The Hybrid Optimisation Model for Electric Renewables*. HOMER adalah sebuah model komputer yang dikembangkan oleh *The National Renewable Energy Laboratory* (NREL) Amerika Serikat untuk optimasi desain sistem pembangkit listrik tersebar dengan output estimasi ukuran/kapasitas sistem, *lifecycle cost*, dan emisi gas rumah kaca. Program ini merupakan salah satu tool populer untuk desain sistem pembangkit listrik menggunakan energi terbarukan. Tampilan muka software HOMER ditunjukkan pada gambar 1 [8].



Gambar 1. Tampilan Software HOMER (Sumber: HOMER energy)

HOMER mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik baik stand-alone maupun *grid-connected* yang dapat terdiri dari kombinasi turbin angin, photovoltaik, mikrohidro, biomassa, generator (diesel/bensin), *microturbine*, *fuel-cell*, baterai, dan penyimpanan hidrogen. Program ini juga dapat digunakan untuk melayani beban listrik maupun termal [9].

4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data pengukuran kecepatan angin dan radiasi matahari melalui Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) SMK Plus Sare pada posisi koordinat $05^{\circ}26'43,4''$ Lintang Utara dan

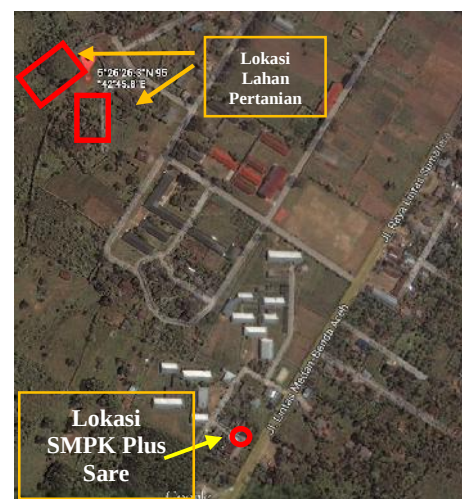
$95^{\circ}42'76,4''$ Bujur Timur serta hasil perhitungan kecepatan angin yang diperoleh data yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data Kecepatan Angin dan Radiasi Matahari di Lokasi Pengukuran

No	Bulan	Kec. Angin Rata-Rata Pengukuran tiang 15m		Kec. Angin hasil perhitungan tiang 25,5 m		Radiasi Matahari
		Vo (m/s)	Ho (m)	v (m/s)	h (m)	
1	Jan	5,19	15	6,09	25,5	0,589
2	Feb	5,44	15	6,38	25,5	0,690
3	Mar	5,00	15	5,86	25,5	0,820
4	Apr	5,86	15	6,87	25,5	0,920
5	Mei	6,70	15	7,86	25,5	0,930
6	Jun	5,84	15	6,85	25,5	0,910
7	Jul	4,10	15	4,81	25,5	0,895
8	Au	5,01	15	5,87	25,5	0,871
9	Sep	6,86	15	8,04	25,5	0,847
10	Okt	6,97	15	8,17	25,5	0,670
11	Nov	4,32	15	5,07	25,5	0,530
12	Des	4,32	15	5,07	25,5	0,520
Nilai Rata2		5,47		6,41		0,766

Sumber: BMKG SMPK Plus Sare dan Perhitungan Penulis jurnal

Lokasi perancangan dengan pengukuran BMKG SMPK Plus Sare jarak horizontal 300 meter, beda ketinggian pengukuran untuk kecepatan angin 15 meter dari permukaan tanah (Jalan). Dapat dilihat pada gambar 2. Titik perencanaan adalah 20 meter dari permukaan tanah, sedangkan titik perletakan turbin adalah 25,5 meter, dan Panel Surya pada ketinggian dari permukaan jalan adalah 20 meter.



Gambar 2. Batas Area Pertanian (Sumber: Google Maps)

Daya yang dihasilkan oleh turbin angin dipengaruhi oleh rapat jenis angin dan kecepatan angin [9]. Menurut kadir, dengan kecepatan angin diperoleh daya turbin angin yang dapat dilihat pada persamaan (4).

$$P_{in} = \frac{1}{2} 0,9 * \left(\frac{1}{4} 3,14 * 3^2 \right) * 0,45 (6,85)^3$$

$$P = 459,84W$$

Menurut Volker Quaschnig, daya photovoltaik input (Pin) adalah perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas area PV module dengan persamaan (1):

$$P_{in} = 0,91 \text{ kW/m}^2 \times 1 \text{ m}^2$$

$$P_{in} = 0,91 \text{ kW}$$

Sedangkan untuk besarnya daya pada panel surya (Pout): Efisiensi Pp dari 20%-32%, untuk kasus ini diambil efisiensi 25%

$$P_{out} = 0,25 \times 0,91 \text{ kW}$$

$$= 0,227 \text{ kW}$$

Daya keluaran listrik adalah daya efisien listrik dikali daya photovoltaik

$$D_s = 0,85 \times 227 \text{ W} = 193 \text{ W}$$

Dikarenakan kebutuhan daya pompa adalah 600 watt untuk kapasitas pompa 60 liter/menit maka butuh luasan photovoltaik yaitu:

$$Luas = \frac{558W}{191 \frac{W}{m^2}} = 2,9 \text{ W}$$

Jadi daya hibrid (surya dan bayu) dapat diperoleh dengan daya output turbin angin dan daya radiasi output matahari yaitu:

$$P_h = 459,84 \text{ W} + 580 \text{ W}$$

$$= 1,039 \text{ kW}$$

4.1. Kapasitas Air Yang Disediakan

Dalam perancangan kapasitas air 60liter/menit dengan elivasi 70% - 80% pompa yang dikeluarkan yaitu:

$$Q_{\text{air}} = 60 \text{ liter/menit} \times 0,7$$

$$= 42 \text{ liter/menit}$$

$$= 2.520 \text{ liter/jam}$$

Masa pemakaian pompa selama 10 jam, yang dihidupkan selama 8 jam jadi total volume air yaitu:

$$V_{\text{air}} = \text{masa pemakaian pompa} \times Q_{\text{air}}$$

$$= 8 \text{ jam} \times 2.520 \text{ liter/jam}$$

$$= 20.160 \text{ liter}$$

4.2. Simulasi Pemodelan Data Sumber Energi

Berdasarkan data perhitungan radiasi matahari dan kecepatan angin dibangun desain perancangan yang akan dilakukan untuk memudahkan simulasi dan pemodelan pembangkit listrik sistem hibrid.

Berdasarkan radiasi matahari rata - rata adalah $0,76 \text{ kWh/m}^2$, kecepatan angin rata - rata $6,41 \text{ m/s}$, dan beban harian $4,8 \text{ kW}$. Berdasarkan hasil simulasi dan pemodelan, diperoleh dua kombinasi sumber

energi. Hasil simulasi mencakup ukuran komponen, biaya konfigurasi sistem dan total NPC sebagaimana yang ditunjukkan pada tabel 2 dan gambar 3.

Tabel 2. Desain Simulasi beban selama 8 jam

Parameter	PV	Wind
Total Rated Capaciti (kW)	2,5	0,9
Percentase (%)	31	69
Capacity Faktor (%)	4,58	28
Mean Output (kW)	0,11	0,25
Annual Energy (kWh/y)	1.002	2.207
Annual Hour (h/y)	4.396	6.386

	PV (kW)	W100	H800	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC
	2.50	1	10	0.70	\$ 14,938	475	\$ 21,004
		3	10	0.70	\$ 12,535	854	\$ 23,596

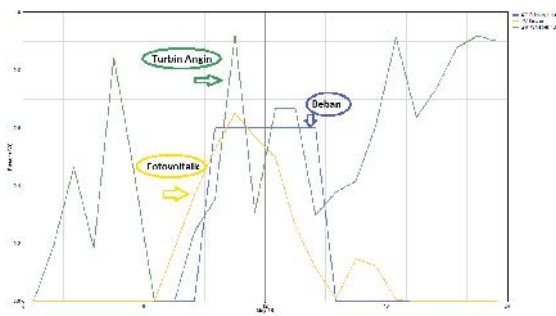
Gambar 3. Hasil simulasi HOMER

Konfigurasi optimal sistem yang pertama menunjukkan kombinasi turbin angin, PV, dan converter. Konfigurasi optimal sistem yang kedua menunjukkan kombinasi turbin angin dan converter. Konfigurasi optimasi sistem yang ketiga kombinasi PV dan converter.

Berdasarkan hasil kombinasi tersebut yang menunjukkan nilai investasi awal tertinggi adalah pada konfigurasi yang kedua, sedangkan yang terendah pada konfigurasi yang pertama. Yang menjadi pertimbangan bukan hanya nilai investasi awal, akan tetapi biaya operasional juga menjadi pertimbangan. Sehingga dipilih konfigurasi pertama dengan rincian sebagai berikut:

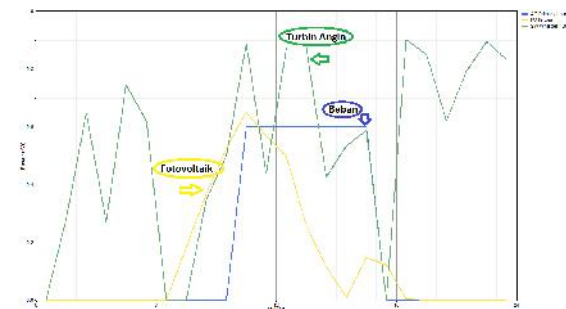
Biaya investasi awal	: US\$ 14.938,-
Biaya Operasional	: US\$475,- pertahun
Total NPC	: US\$ 21.004,-
CoE	: US\$ 0,94,- per kWh
Produksi Panel PV	: 1.003 kWh/tahun
Produksi Turbin Angin	: 2.207 kWh/tahun
Total Produksi Listrik	: 3.210 kWh/tahun

Dari distribusi daya listrik didapatkan keragaman nilai daya setiap bulannya, nilai daya ini adalah nilai rata-rata per jam. Daya yang didapat tiap jam beragam, maka perlu dilakukan pengendalian baik pada saat berkurangnya daya dari sumber (angin dan surya) untuk menggerakkan beban maupun berlebihnya daya pada saat digunakan oleh beban. Dalam hal ini contoh beban diambil pada tanggal 16 mei dan dibedakan dalam pemakaian yaitu: beban dipakai selama 6jam dapat dilihat pada gambar 4, beban dipakai selama 7jam dapat dilihat pada gambar 5, dan beban dipakai selama 8jam dapat dilihat pada gambar 6.



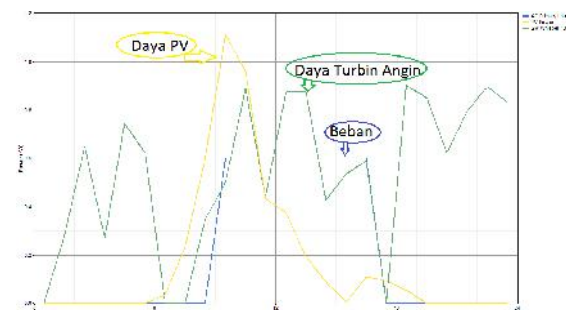
Gambar 5. Kondisi beban pada 6 jam

Gambar 4 adalah kondisi suplai listrik turbin angin 0,9 kW beroperasi hampir sepanjang hari kecuali pada jam 00:00 WIB dan jam 05:00 WIB berhenti beroperasi dan digantikan oleh fotovoltaik. Keluaran daya maksimum turbin angin adalah sebesar 0,919 kW, minimumnya 0,182 kW. Sedangkan keluaran daya maksimum fotovoltaik 2,5 kW sebesar 1,95 kW dan minimumnya 0,03 kW.



Gambar 5. Kondisi beban pada 7 jam

Gambar 5 adalah kondisi suplai listrik pada turbin angin 0,9 kW beroperasi hampir sepanjang hari kecuali pada jam 04:00 WIB dan jam 16:00 WIB berhenti beroperasi dan digantikan oleh fotovoltaik. Keluaran daya maksimum turbin angin adalah sebesar 0,902 kW, minimumnya 0,004 kW. Sedangkan keluaran daya maksimum fotovoltaik 2,5 kW sebesar 1,95 kW dan minimumnya 0,03 kW.



Gambar 6. Kondisi beban pada 8 jam

Gambar 6 adalah kondisi suplai listrik pada turbin angin 0,9 kW beroperasi hampir sepanjang hari kecuali pada jam 06:00 dan jam 17.00 berhenti beroperasi dan digantikan oleh photovoltaik. keluaran daya maksimum turbin angin adalah sebesar 0,896

kW, minimumnya 0,268 kW. Sedangkan keluaran daya maksimum photovoltaik 2,5 kW sebesar 1,1 kW dan minimumnya 0,034 kW.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data-data yang didapatkan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada energi surya hasil perhitungan daya output pada fotovoltaik sebesar 193 W dengan waktu penyinaran 5 jam/hari,
2. Pada energi bayu daya output turbin angin 459,84 W dengan diameter bilah 3m dan lama berhembus 7 jam/hari.
3. Daya pompa yang digunakan adalah 558 W dengan pemakaian beban selama 8jam dan kapasitas air 20.160 liter/jam untuk luas lahan pertanian lebih 15 ha.
4. Berdasarkan hasil analisa sistem yang diusulkan akan menghasilkan Biaya investasi awal US\$ 14.938 dengan produksi listrik 3.210 kW/tahun.

Daftar Pustaka

- [1] Balai Penelitian Tanah, 2007, Budi Daya Pertanian pada Lahan Pegunungan. *Warta Penelitian dan Penembanean Pertanian*, Vol. 29. No. 1.
- [2] Razali Thaib, 2012, Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Energi Bayu-Surya Pada Unit Pengolahan Ikan Skala Kecil. *Tesis Program Studi Magister Teknik Mesin*, Unsyiah, Banda Aceh.
- [3] Yandra Shivrath, P. Badari Narayana, Srikanth Thirumalasetty, E.Laxmi Narsaiah, 2012, Design & Integration of Wind-Solar Hybrid Energy System for Drip Irrigation Pumping Application, *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, Vol. 2, 4, 2947-2950.
- [4] Buresh, M., (1983). *Photovoltaic Energy System Design and Installation*. United States of America. McGraw Hill Book Company.
- [5] Quaschnig, Volker. *Understanding Renewable Energy Systems*. London, Sterling, VA: Earthscan, 2005.
- [6] Wibowo, Hariyanto, 2009. Studi Penggunaan Solar Reflector untuk Optimalisasi Output Daya pada Photovoltaik (PV). *Tugas Akhir*, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- [7] Kadir A. 1987. *Energi Angin*. Energi. UI-Pres. 243-257.
- [8] HOMER energy, Aplikasi Software HOMER, United States 2014. <http://www.HOMERenergy.com>. Akses 11 Mei 2014, Pukul 14:20.
- [9] Kunaifi, 2010. *Program HOMER Untuk Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Hibrida Di Propinsi Riau*. Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika (BMKG), SMPK Plus SAREE, ACEH BESAR – NAD, 2013.