

Optimalisasi Energi Terbarukan pada Pembangkit Tenaga Listrik dalam Menghadapi Desa Mandiri Energi di Margajaya

(Renewable Energy Optimization of Electrical Power Generation toward the Energy Self-Sufficient Village in Margajaya)

ARIF FEBRIANSYAH JUWITO, SASONGKO PRAMONOHADI, T. HARYONO

ABSTRACT

The Energy Self-Sufficient Village is one of main programs from government about the village ability to produce energy. This program has been launched in 2007 by the President of the Republic of Indonesia, to enhance energy security in rural areas by harnessing local energy potential. The criteria of Energy Self-Sufficient Village is village capability to produce at least 60% of the total amount of required energy, using renewable energy. Geographically, Margajaya village has solar and microhydro resource which is very potential for being developed. Furthermore, Margajaya also produces agricultural commodities such as palm oil, in which it also produces waste like palm bunches which is a very potential biomass. The optimization of renewable energy for electrical power generation which has annual power peak of 65kW and daily energy consumption of 415kWh/day in Margajaya village has been designed using HOMER. The result from simulation of Hybrid renewable system in HOMER showed that Hydro, Biomass and grid is the most economical solution over hydro-biomass-PV with battery, to design hybrid system with minimum total net present cost (NPC) and cost of electricity. The system can serve annual 100% of load in Margajaya and have surplus of electricity, and could sell to grid with amount of 124.827kWh/years. Economically, the electricity of the system costs US\$ 0,013/kWh.

Key word: Energy Self-Sufficient Village, Hybrid System, Microhydro, Biomass, PV-Array, HOMER

PENDAHULUAN

Masalah lingkungan dan ekonomi merupakan alasan di balik dorongan yang cepat akan pemanfaatan energi terbarukan di seluruh dunia. Selain untuk mengatasi hambatan secara ekonomi dan komersial, pemanfaatan sumber energi terbarukan sesuai dengan tujuan atau *goal* yang ditetapkan oleh sebagian negara yang ingin memaksimalkan potensi energi terbarukan di wilayahnya dengan biaya murah. Energi listrik merupakan salah satu energi primer yang tidak dapat dilepaskan penggunaannya dalam kehidupan sehari-hari, baik di sektor rumah tangga, instansi pemerintah maupun industri. Semakin meningkatnya jumlah penduduk dan bertambahnya penggunaan peralatan yang

menggunakan listrik mengakibatkan kebutuhan energi listrik meningkat pesat.

Peningkatan konsumsi energi listrik setiap tahunnya diperkirakan terus bertambah. Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) tahun 2010-2019 menyebutkan, kebutuhan listrik diperkirakan mencapai 55.000 MW. Jadi rata-rata peningkatan kebutuhan listrik pertahun adalah 5.500 MW. Dari total daya tersebut sebanyak 32.000 MW (57%) dibangun sendiri oleh PLN, sedangkan sisanya yakni 23.500 MW akan dipenuhi oleh pengembang listrik swasta (Rachmawati, 2011).

Walau menjadi kebutuhan primer, namun hingga saat ini penyediaan listrik masih belum merata di Indonesia. Masih banyak desa-desa yang belum terjangkau aliran listrik.

Di Indonesia terutama di daerah terpencil banyak yang belum terjangkau oleh jaringan listrik. Hal ini disebabkan oleh semakin meningkatnya kebutuhan beban listrik di daerah perkotaan yang tidak diimbangi dengan pembangunan fasilitas pembangkit listrik yang baru. Proyek pembangunan pembangkit listrik oleh PLN sebesar 10.000 MW yang hanya terfokus di pulau Jawa, membuat kebutuhan listrik di daerah luar pulau Jawa, seperti Sumatra, belum secara signifikan diperhatikan sehingga keandalan penyediaan energi listrik di Sumatra sangatlah kurang. Banyak daerah-daerah terpencil di pelosok Sumatra yang belum terjangkau oleh jaringan listrik.

Desa Mandiri Energi (DME) merupakan salah satu program untuk pemenuhan kebutuhan energinya sendiri. Program ini dicanangkan pertama kali oleh Presiden RI pada tahun 2007. Kriteria dari Desa Mandiri Energi adalah desa yang mampu memenuhi minimal 60% dari total kebutuhan energinya (listrik dan bahan bakar) dengan memberdayakan potensi sumber daya setempat serta tumbuhnya kegiatan produktif untuk meningkatkan perekonomian desa sebagai dampak dari ketersediaan energi lokal. Diharapkan dengan adanya Desa Mandiri Energi ini ketergantungan masyarakat terhadap penggunaan sumber energi *non renewable* dan penggunaan energi subsidi dari pemerintah dapat diminimalkan.

Desa Margajaya, Kecamatan Padang Jaya, Kabupaten Bengkulu Utara, Provinsi Bengkulu, merupakan desa transmigrasi yang baru 1 tahun dapat menikmati fasilitas listrik dari negara berupa sambungan jaringan listrik dari PLN. Penambahan jaringan tersebut tidak diimbangi dengan kapasitas daya yang cukup dari PLN, yang dapat dilihat dari sering terjadinya pemadaman aliran listrik dan *drop* tegangan listrik di pemukiman penduduk.

Desa Margajaya secara geografis memiliki potensi energi matahari dan mikrohidro yang cukup potensial untuk dikembangkan. Selain itu desa ini merupakan salah satu desa di Kecamatan Padang Jaya penghasil komoditi perkebunan berupa kelapa sawit dan karet. Perkebunan ini setiap minggunya menghasilkan limbah berupa tandan pelepah kelapa sawit yang merupakan potensi biomassa yang apabila dimanfaatkan dengan optimal dapat menghasilkan energi listrik yang akan mengurangi ketergantungan masyarakat

terhadap energi listrik yang berasal dari pembangkit yang menggunakan energi fosil seperti batu bara.

Berdasarkan data radiasi sinar matahari, debit air sungai dan limbah biomassa yang dihasilkan perkebunan kelapa sawit per hektar di Desa Margajaya, model sistem pembangkit hybrid dirancang untuk mensimulasikan dan menentukan sistem yang paling optimal untuk menyediakan energi listrik untuk beban listrik pada pemukiman penduduk. Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Merancang Desa Mandiri Energi berbasis energi terbarukan di Desa Margajaya
2. Merancang sistem model *Grid Connected* dengan memanfaatkan radiasi sinar matahari, aliran sungai dan limbah sisa perkebunan kelapa sawit.
3. Menentukan konfigurasi sistem yang paling optimal, dilihat dari biaya produksi energi, dan ketersediaan sumber energi terbarukan, dan keandalan sistem.
4. Menganalisis karakteristik daya keluaran yang dihasilkan oleh model sistem yang optimal, berdasarkan hasil konfigurasi sistem yang optimal oleh HOMER.

Optimisasi sistem energi terbarukan yang dirancang, disimulasikan dalam rentang waktu satu tahun dengan data keluaran berupa daya yang dihasilkan oleh masing-masing komponen sistem dan besar beban listrik yang disuplai. Data yang dihasilkan adalah data perubahan daya yang merupakan output dari sistem dan beban listrik setiap jamnya dalam rentang waktu satu tahun.

Sistem Pembangkit Listrik Hybrid

Sumber energi terbarukan memiliki potensi yang besar bila dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik, yang dapat dipakai di daerah-daerah yang terisolir dengan menggunakan sistem pembangkit hybrid. Sistem pembangkit hybrid didesain untuk memproduksi energi listrik. Sistem ini terdiri dari beberapa unit pembangkit seperti PV, turbin angin, mikrohidro, dan generator. Ukuran sistem pembangkit hybrid bervariasi, mulai dari sistem yang mempunyai kapasitas untuk mensuplai satu atau beberapa rumah, hingga sistem dengan kapasitas yang sangat besar yang cukup untuk mensuplai jaringan listrik penduduk di daerah terpencil. Sistem pembangkit hybrid merupakan salah satu cara

untuk menyediakan energi listrik untuk berbagai daerah terpencil di berbagai belahan dunia dimana biaya untuk pengembangan jaringan listrik skala besar terlalu tinggi dan biaya transportasi bahan bakar diesel juga sangat tinggi. Penggunaan sistem pembangkit hybrid mengurangi penggunaan bahan bakar yang mahal, memungkinkan dilakukannya produksi energi listrik yang bersih dan ramah lingkungan serta meningkatkan standar hidup masyarakat yang tinggal di daerah terpencil.

Sistem dengan kapasitas yang besar di atas 100 kW, khususnya terdiri dari gen-set AC, sumber energi terbarukan, beban dan terkadang dilengkapi subsistem penyimpanan energi. Di bawah 100 kW, kombinasi antara komponen AC dan DC umum digunakan untuk penyimpanan energi. Sistem pembangkit hybrid yang kecil hanya melayani beban DC, khususnya beban dengan kapasitas kurang dari 5 kW, digunakan secara komersial pada stasiun repeater telekomunikasi dan aplikasi dengan kapasitas rendah lainnya di daerah terisolir. Skema pembangkit listrik hybrid ditunjukkan pada Gambar 1.

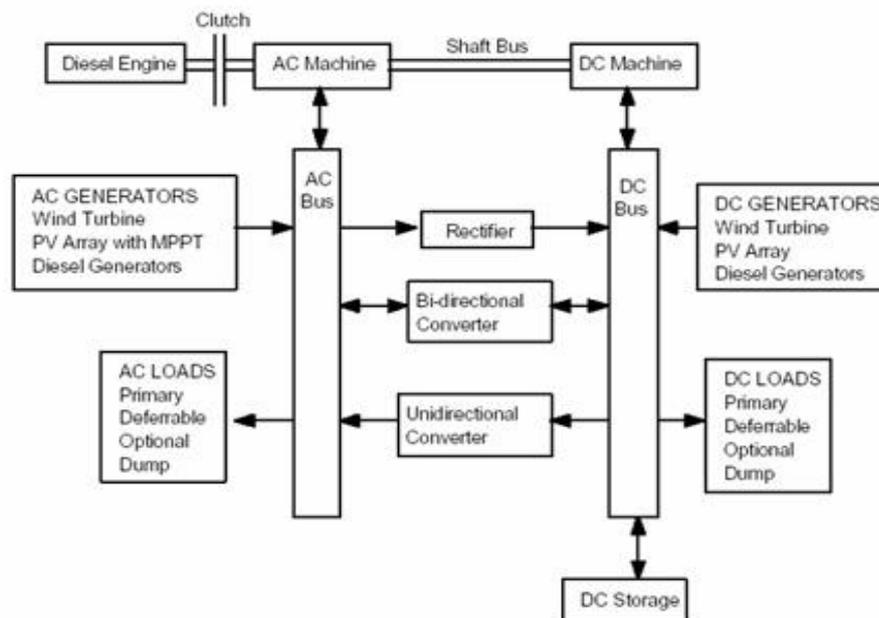
HOMER

HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewables*), merupakan *software* optimasi model sistem tenaga listrik mikro. Beberapa fungsi dari HOMER adalah:

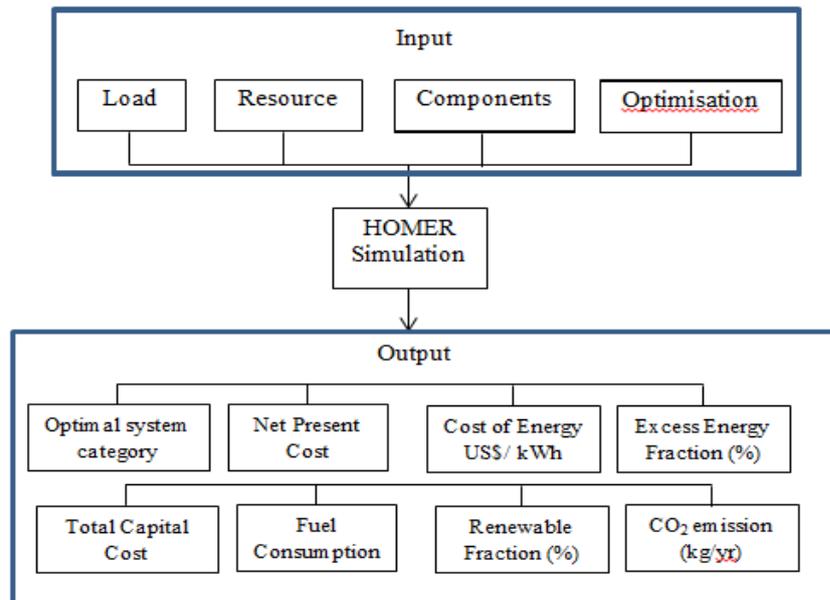
1. Mencari kombinasi komponen sistem dengan biaya terendah yang sesuai dengan beban.
2. Mensimulasikan ribuan kemungkinan konfigurasi sistem.
3. Optimasi dari biaya keseluruhan sesuai dengan umur sistem dan analisis sensitifitas dari beberapa input.

HOMER mensimulasikan sistem operasi dari sebuah sistem berdasarkan perhitungan masing-masing energi untuk 8.760 jam dalam 1 tahun. HOMER membandingkan beban listrik dan thermal dalam satu jam untuk energi yang dapat disuplai oleh sistem pada waktu tersebut. Jika sistem memenuhi beban sepanjang tahun, HOMER memperkirakan biaya siklus hidup dari sistem, menghitung biaya modal, penggantian, operasi dan pemeliharaan, bahan bakar dan bunga. Aliran energi perjam dapat dilihat pada masing-masing komponen, serta biaya tahunan dan rangkuman kinerja.

Setelah mensimulasikan semua kemungkinan konfigurasi sistem, HOMER menampilkan daftar kelayakan sistem, yang diurutkan berdasarkan *lifecycle cost*. Sistem dengan biaya terendah berada di bagian atas dari daftar sehingga dapat dengan mudah ditemukan dan juga daftar dari kelayakan sistem lainnya dapat dicari. Skema HOMER ditunjukkan pada Gambar 2.



GAMBAR 1. Skema pembangkit hybrid



GAMBAR 2. Arsitektur simulasi dan optimasi HOMER

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini mencakup beberapa tahapan, yaitu studi beban listrik di Desa Margajaya, studi potensi mikrohidro, studi potensi energi surya di Desa Margajaya, dan desain sistem. Gambar 3 menunjukkan desain yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Informasi Umum

Desa Margajaya secara geografis terletak antara 101032' – 10208' BT dan 2015' – 4000' LS, dengan luas wilayah 5.548,54 km². Secara administrasi ibukota kabupatennya adalah Argamakmur, yang terdiri dari 18 kecamatan, dengan batas wilayah kabupaten yaitu:

- Sebelah Utara : Kabupaten Muko Muko
- Sebelah Selatan : Kabupaten Sluma dan Kota Bengkulu
- Sebelah Timur : Provinsi Jambi, Kabupaten Lebong dan Kepahiang
- Sebelah Barat : Samudra Indonesia

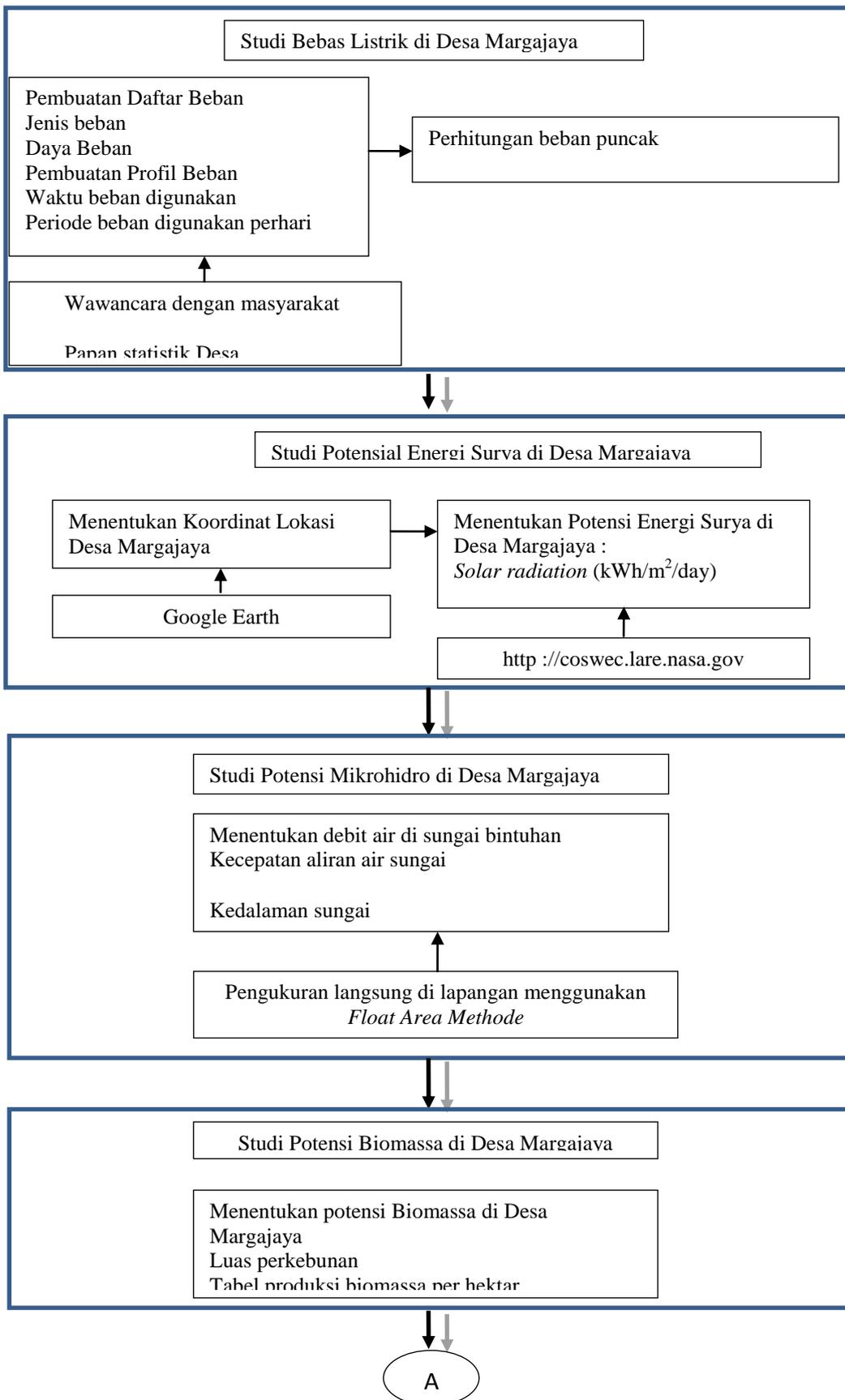
Secara umum informasi umum Desa Margajaya dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1. Informasi umum Desa Margajaya

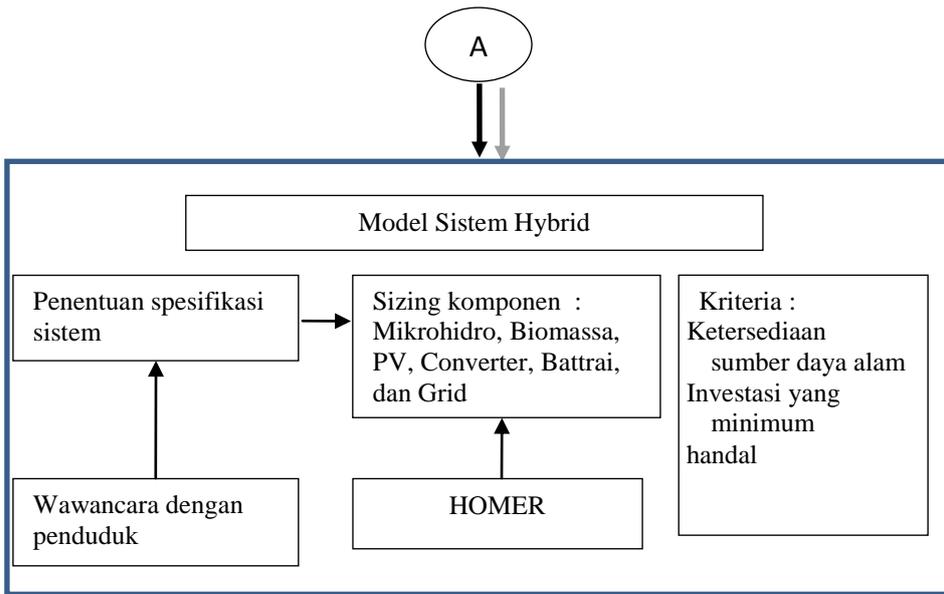
Informasi	Keterangan
Lokasi	101 ⁰ 32' – 102 ⁰ 8' BT dan 2 ⁰ 15' – 4 ⁰ 00' LS
Jumlah KK	260 KK
Jumlah rumah ibadah	5 buah
Puskesmas pembantu	1 buah
Kantor desa	1 buah
Rumah petugas	2 buah
SD	1 lokal
PAUD	1 lokal
TK	1 lokal
Pesantren	1 unit
Gudang pangan	1 buah
Gudang saprodi	1 buah

Beban Listrik

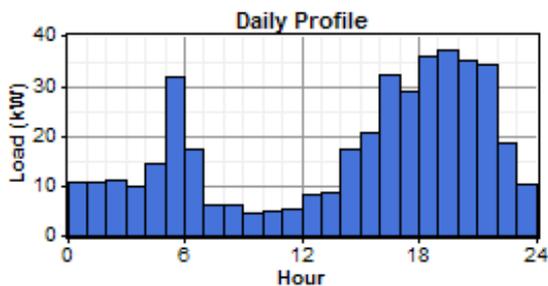
Berdasarkan wawancara dengan masyarakat Desa Margajaya, dihasilkan daftar dan pola beban listrik sehari-hari. Gambar 4 menunjukkan profil beban di Desa Margajaya dengan beban puncak 37 kW. Dari Gambar 4 terlihat bahwa beban puncak terjadi pada pukul 20.00-21.00. Hal ini dikarenakan pada jam-jam tersebut warga Desa Margajaya sebagian besar berada di kediamannya masing-masing.



GAMBAR 3. Diagram alir metode penelitian



GAMBAR 3. Diagram alir metode penelitian (Lanjutan)



GAMBAR 4. Profil beban listrik Desa Margajaya

Di Desa Margajaya peralatan listrik yang digunakan di rumah penduduk pada umumnya sudah baik. TV, *receiver digital*, lampu penerangan dan *rice cooker*, sudah mulai banyak dipergunakan. Dari hasil survey rata-rata penggunaan peralatan listrik di pemukiman penduduk Desa Margajaya dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL 2. Data penggunaan beban listrik

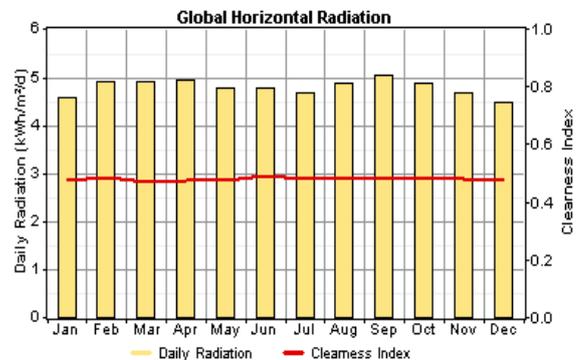
Jenis Peralatan	Kuantitas	Daya	Penggunaan maksimum per hari (jam)
Televisi	1	87	7
Receiver Digital	1	30	7
VCD Player	1	15	1
Magic com	1	350	1
Strika	1	350	1
Lampu	3	20	12

Sumber: Data wawancara dan pengamatan langsung

Radiasi matahari

Data yang diperoleh dari <http://eosweb.larc.nasa.gov>, digunakan sebagai sumber informasi radiasi matahari di Desa Margajaya. Data diperoleh dengan memasukkan letak koordinat Desa Margajaya di website *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*. Data yang didapat dari NASA memiliki tingkat keakuratan berkisar antara 6-12%.

Rata-rata radiasi matahari di daerah ini adalah 4,784 kWh/m²/hari. *Cleanness index* di Daerah ini cukup baik, variasi intensitas radiasi bulanan juga sangat kecil.



GAMBAR 5. Rata-rata radiasi bulanan pada permukaan horizontal di Desa Margajaya

Potensi mikrohidro

Survei lapangan dilakukan untuk memperoleh parameter-parameter yang diperlukan dalam merancang sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dari Sungai Bintuhan di Desa Margajaya (Gambar 6). Beberapa metode dilakukan untuk mengukur karakteristik air sungai. Debit air diperoleh melalui pengukuran menggunakan metode pelampung (*Float Area Method*). Pengukuran dilakukan pada kondisi musim kemarau di awal bulan Agustus 2012. Tabel 3 merupakan rangkuman sifat-sifat fisik Sungai Bintuhan di Desa Margajaya.



GAMBAR 6. Sungai bintuhan

TABEL 3. Sifat fisik Sungai Bintuhan

Parameter	Nilai
Kecepatan aliran rata-rata (m/s)	0,57
Kedalaman rata-rata (m)	0,812
Luas penampang (m ²)	15,022
Debit (m ³ /s)	8,57
Lebar (m)	25

Sumber: Data pengukuran

Potensi Biomassa

Luas total perkebunan kelapa sawit di Desa Margajaya adalah 400 hektar, seluruhnya merupakan perkebunan milik penduduk. Dari perkebunan sawit dihasilkan sejumlah komponen biomassa seperti tempurung, serabut, tandan kosong, pelepah dan lain lain (Gambar 7). Untuk tiap hektar kebun, produksi biomassa dapat dilihat pada Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4, maka potensi produksi limbah biomassa (pelepah sawit) kebun kelapa sawit di Desa Margajaya adalah 2480 ton/tahun.



GAMBAR 7. Potensi biomassa di kebun kelapa sawit

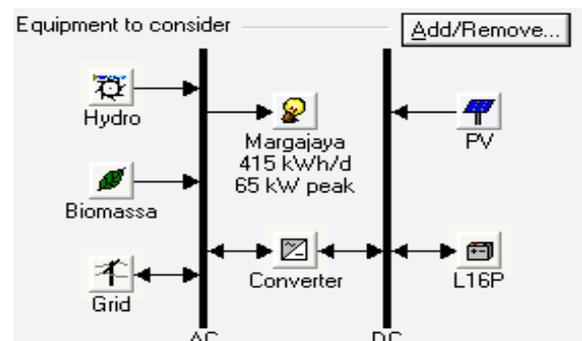
TABEL 4. Produksi biomassa per hektar

No	Biomassa sawit	T/ha	Nilai kalor (kcal/kg)
1	Tempurung	1,2	4050
2	Serabut	4,3	3200
3	Tandan kosong KS	5,2	3100
4	Pelepah KS	6,2	2940

Sumber: www.pasadenaengineering.com

Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan menggunakan software HOMER. Komponen sistem yang digunakan terdiri dari *PV array*, biomassa, *converter*, *hydro*, *battery bank* dan *grid*.



GAMBAR 8. Model dan komponen

Dalam sistem hybrid pada Gambar 8 *primary load* yang disuplai oleh sistem hybrid yang terdiri dari *PV Array*, Biomassa dan mikrohidro. Adanya grid dimaksudkan apabila sistem hybrid di Desa Margajaya mengalami kondisi defisit energi listrik, grid dapat mensuplai energi listrik ke Desa Margajaya dengan kata lain Desa Margajaya membeli listrik dari grid dalam hal ini adalah PLN. Begitu pun sebaliknya apabila sistem hybrid di Desa Margajaya mengalami surplus energi listrik, Desa Margajaya dapat menjual energi listriknya ke grid (PLN).

TABEL 5. Parameter yang diinputkan ke HOMER

Input	Keterangan
Load	1. Gambar 4
Konverter	2. Efisiensi inverter : 96,0%
	3. Efisiensi Penyearah/ charger: 85%
	4. Harga US\$ 900/kW (B&B Power co.,Ltd/ www.bbpower.cn)
PV Array	5. Solar resource : Gambar 5
	6. Ukuran: 10 kW
	7. Harga US\$ 80000
Hidro Resource	8. Debit air: 8,57 m ³ /s
	9. Biaya: US\$ 88350
	10. Head: 15 m
Biomass resource	11. Potensi Biomassa: 206,7 ton/hari
	12. Ukuran: 10 kW
	13. Biaya: US\$ 2000/kW
Grid	14. Harga: 0,078 \$/kWh
	15. Sell Back: 0,116 \$/kWh

Selain parameter pada Tabel 5, terdapat dua variabel sensitifitas yang turut diinputkan ke dalam HOMER, yaitu *Hydro Head* dan *Design Flow Rate*. Tujuan dari penggunaan dua variabel sensitifitas ini adalah untuk mencari konfigurasi sistem yang optimal dilihat dari nilai NPC (*Net Present Cost*) dan *Levelized COE*.

Hasil Simulasi

HOMER dapat mengakomodasi perubahan profil beban listrik setiap bulan. Profil beban listrik di Desa Margajaya pada Gambar 4 digunakan untuk mensimulasikan beban listrik sepanjang tahun. Profil beban merupakan perkiraan penggunaan beban pada setiap rumah. Beban listrik yang digunakan di dalam sistem akan diasumsikan memiliki *random variability* harian sebesar 20%. Hasil simulasi penggunaan beban listrik dapat dilihat pada Gambar 9.

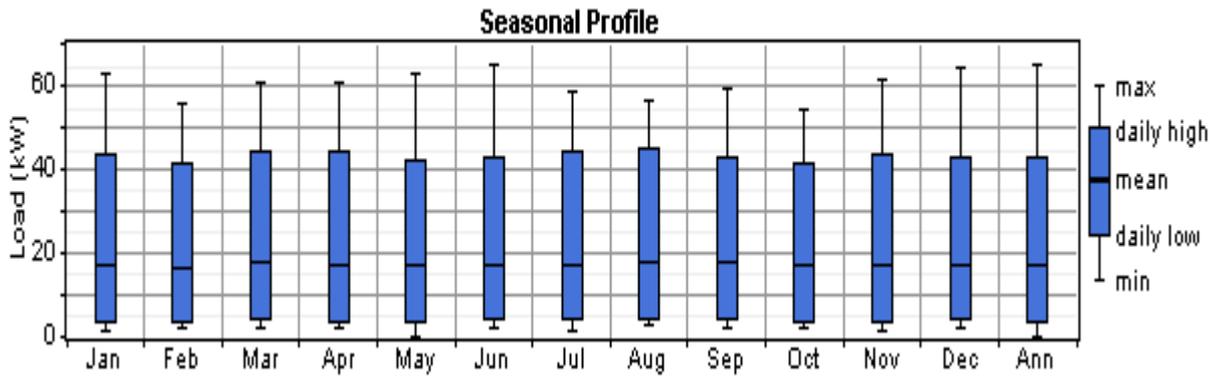
Berdasarkan hasil simulasi yang terlihat pada Gambar 9, yang dirangkum pada Tabel 6, rata-rata energi listrik perhari yang digunakan sebesar 415 kWh/ hari, rata-rata beban listrik sebesar 17,3 kW dan beban puncak yang mungkin terjadi adalah sebesar 65,3 kW dalam satu tahun, sehingga faktor beban yang

merupakan perbandingan antara rata-rata beban listrik dan beban puncak adalah 0,265.

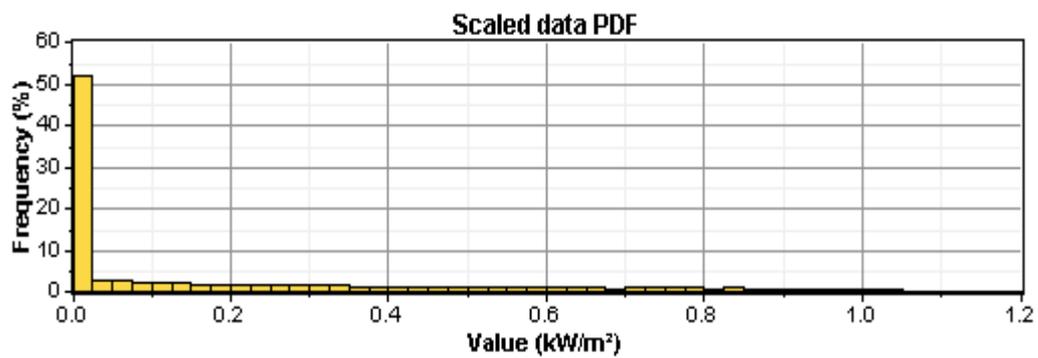
TABEL 6. Sistem beban listrik

	Baseline	Scaled
<i>Average (kwh/day)</i>	415	415
<i>Average (kW)</i>	17,3	17,3
<i>Peak (kW)</i>	65,3	65,3
<i>Load Factor</i>	0,265	0,265

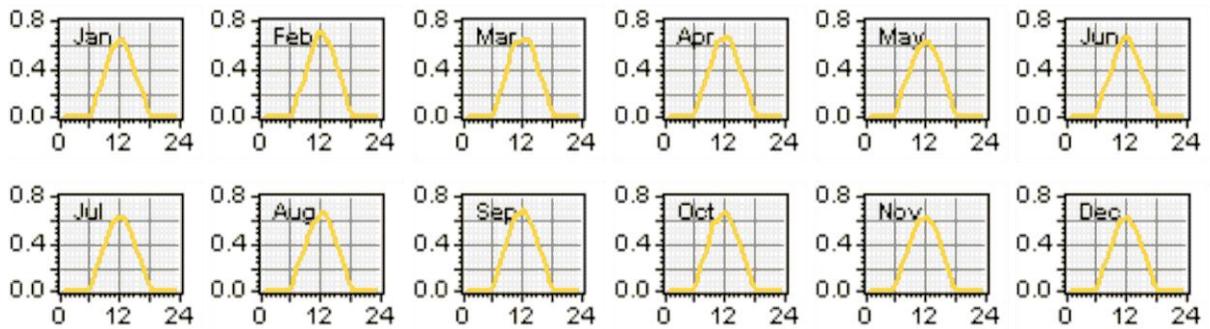
HOMER melakukan simulasi potensi radiasi sinar matahari berdasarkan informasi tentang *latitude* dan *longitude* suatu daerah. *Latitude* dan *longitude* Desa Margajaya adalah 3^o 59 N dan *longitude* 102^o 59 S. Data radiasi sinar matahari di peroleh dari website NASA. Rata-rata radiasi sinar matahari di daerah ini adalah 4,784 kWh/m²/hari. Gambar 10, memperlihatkan radiasi matahari sebesar 0,0 kW/m² memiliki frekuensi yang sangat besar jika dibandingkan dengan nilai radiasi matahari lainnya. Hal ini dijelaskan pada Gambar 11 dimana radiasi hanya terjadi di siang hari. Radiasi matahari mulai ada dari pukul 06.00 yang terus meningkat hingga pukul 12.00 dan selanjutnya akan menurun hingga pukul 18.00.



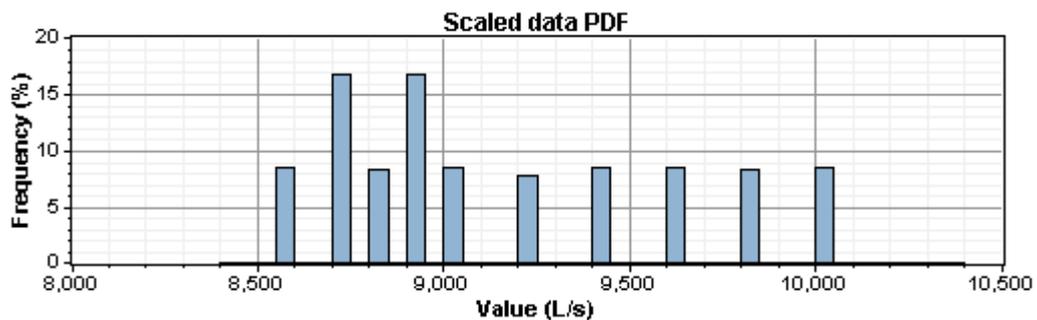
GAMBAR 9. Profil beban listrik bulanan dalam satu tahun



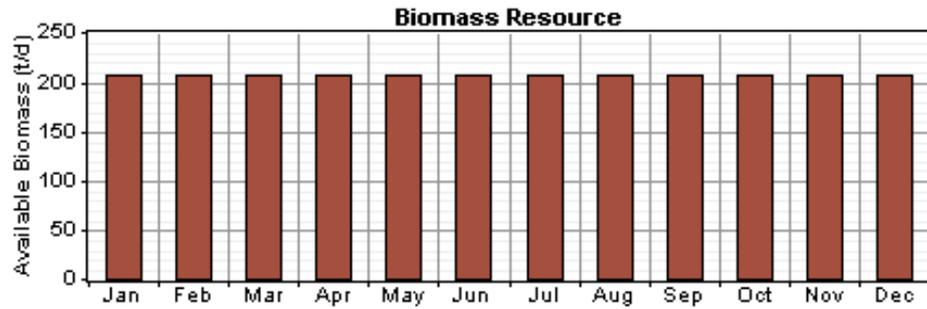
GAMBAR 10. Fungsi distribusi matahari yang mungkin terjadi dalam satu tahun



GAMBAR 11. Profil radiasi matahari tiap jam perbulan dalam satu tahun



GAMBAR 12. Fungsi distribusi debit air yang mungkin terjadi dalam satu tahun



GAMBAR 13. Produksi pelepah sawit tiap bulan Desa Margajaya

Dari hasil pengukuran debit air di Sungai Bintuhan diperoleh nilai sebesar 8,57 m³/s. Besaran debit air ini merupakan parameter yang digunakan sebagai masukan untuk model HOMER. Hasil simulasi potensi debit air di HOMER dapat dilihat pada Gambar 12. Pada gambar tersebut terlihat bahwa debit air sebesar 8600 L/s dan 8900 L/s memiliki frekuensi terbesar dibandingkan nilai debit air lainnya yaitu 15,7%.

Produksi limbah biomassa diasumsikan sama untuk setiap bulannya, seperti yang terlihat pada Gambar 13. Hal ini berdasarkan informasi dari *www.pasadenaengineering.com*.

Pada model sistem hybrid ini HOMER melakukan total sebanyak 792 simulasi dengan 3 sensitivitas *design flow rate*. Hal ini dilakukan untuk mencari konfigurasi sistem yang paling optimal dari komponen dan parameter sistem tenaga yang digunakan.

Gambar 14 menunjukkan hasil optimasi dari parameter-parameter komponen yang diinputkan ke dalam HOMER. Konfigurasi terbaik memiliki NPC yang paling kecil, terdiri dari Hydro 15,7 kW, Biomassa 10 kW dan Grid 1000 kW.

Produksi daya listrik, energi listrik dan konsumsi listrik terlihat pada Tabel 7 dan 8.

Calculate Simulations: 792 of 792 Progress: Sensitivity Results: 12 of 12 Status: Completed in 6:07.

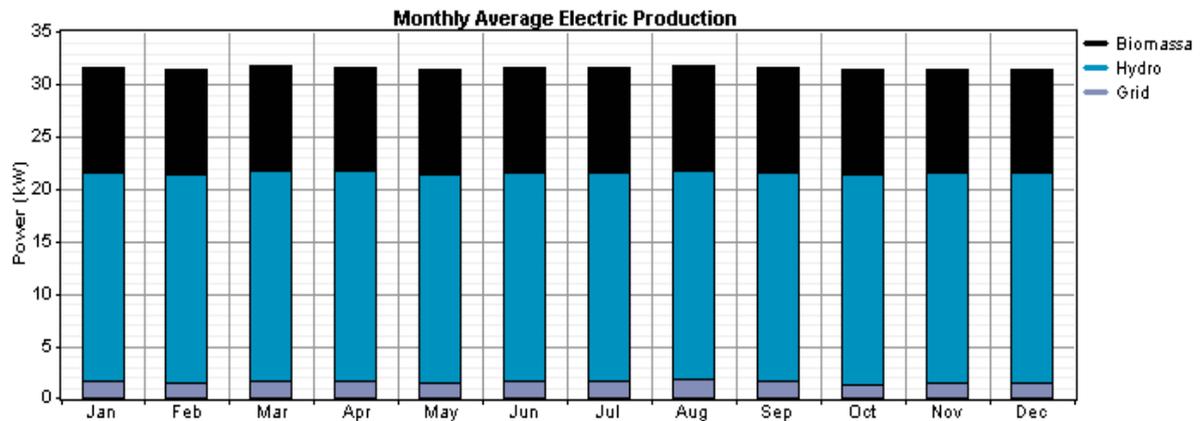
Sensitivity Results Optimization Results

Sensitivity variables: Hydro Head (m) 5 Design Flow Rate (L/s) 400

Double click on a system below for simulation results. Categorized Overall Export... Details...

System	PV (kW)	Hydro (kW)	Bms (kW)	L16P	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Biomass (t)	Bms (hrs)
[Icon]		15.7	10			1000	\$ 94,350	-9,351	\$ -25,192	-0.013	0.95	338	8,760
[Icon]		15.7	10	4	1	1000	\$ 96,090	-9,288	\$ -22,643	-0.012	0.95	338	8,760
[Icon]		15.7		4	1	1000	\$ 88,350	-3,410	\$ 44,764	0.023	0.83		
[Icon]		15.7		4	1	1000	\$ 90,090	-3,346	\$ 47,314	0.024	0.83		
[Icon]	10	15.7	10		6	1000	\$ 179,750	-9,826	\$ 54,145	0.028	0.96	338	8,760
[Icon]	10	15.7	10		4	6	\$ 180,590	-9,770	\$ 55,696	0.029	0.96	338	8,760
[Icon]			10			1000	\$ 6,000	8,063	\$ 109,071	0.056	0.54	338	8,760
[Icon]			10		4	1	\$ 7,740	8,126	\$ 111,621	0.058	0.54	338	8,760
[Icon]	10	15.7			6	1000	\$ 173,750	-3,850	\$ 124,540	0.064	0.85		
[Icon]	10	15.7			4	6	\$ 174,590	-3,794	\$ 126,091	0.065	0.85		
[Icon]						1000	\$ 0	12,057	\$ 154,134	0.080	0.00		
[Icon]					4	1	\$ 1,740	12,121	\$ 156,684	0.081	0.00		
[Icon]	10		10		6	1000	\$ 91,400	7,691	\$ 189,721	0.098	0.58	338	8,760
[Icon]	10		10		4	6	\$ 92,240	7,747	\$ 191,272	0.099	0.58	338	8,760
[Icon]	10				5	1000	\$ 84,500	12,047	\$ 238,500	0.123	0.09		
[Icon]	10				4	5	\$ 85,340	12,103	\$ 240,051	0.124	0.09		

GAMBAR 14. Hasil optimum simulasi HOMER



GAMBAR 15. Produksi daya listrik

TABEL 7. Sistem optimasi

Production	kWh/year	%
Hydro turbine	175,325	63
Biomassa	87,600	32
Grid purchases	13,393	5
Total	276,318	100

TABEL 8. Sistem optimasi

Consumtion	kWh/year	%
AC primary load	151,475	55
Grid sales	124,827	45
Total	276,302	100

TABEL 9. Sistem optimasi

Quantity	kWh/year	%
Excess	0	0
Unmet electrical load	0	0
Capacity shortage	0	0

Dari Gambar 15 terlihat perbandingan produksi daya yang dihasilkan oleh sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMh) dan biomassa dibandingkan dengan daya listrik yang dibeli dari grid untuk setiap bulannya dalam interval satu tahun. Dari Tabel 7 terlihat bahwa energi listrik yang dihasilkan dari sistem optimal dalam satu tahun adalah 276.318 kWh/tahun dengan rincian 63% (175.325 kWh) Hydro turbin, 32% (87.600 kWh) Biomassa dan 5% (13.393 kWh) disuplai dari *grid* (PLN). Dari Tabel 8 terlihat juga bahwa sistem hybrid yang optimal masih membutuhkan suplai energi listrik yang didatangkan dari *Grid* (PLN). Kebutuhan energi listrik pada sistem ini dapat dilihat pada Tabel 8 dimana untuk beban listrik dapat dipenuhi oleh sistem hybrid yang optimal

(55%), yaitu sebesar 151.475 kWh/tahun, selain itu selain untuk memenuhi kebutuhan listrik di Desa Margajaya, sistem hybrid dapat menjual energi listriknya ke *Grid* (PLN) sebesar 124.827 kWh/tahun (45%).

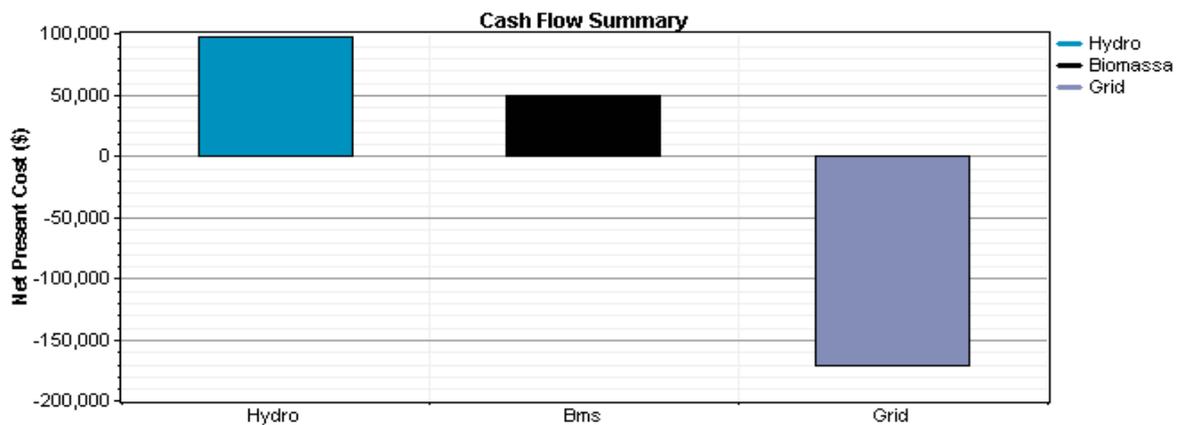
Tabel 9 memperlihatkan bahwa sistem ini tidak menghasilkan energi sisa. Semua energi listrik yang dihasilkan digunakan oleh beban dan dijual ke *Grid*. Pada Tabel 9 juga terlihat bahwa tidak ada beban listrik yang tidak terpenuhi dan tidak pernah terjadi kekurangan kapasitas listrik dalam satu tahun.

Analisis Ekonomi

Tabel 10 dan Gambar 16 merupakan rangkuman dari sisi ekonomi sistem optimal. Total NPC pada sistem hybrid ini adalah US\$ - 25.192. Biaya bahan bakar pada sistem adalah US\$ 0, dikarenakan sistem tidak menggunakan bahan bakar minyak. Sistem mendapatkan keuntungan dari penjualan energi listrik ke grid sebesar US\$153.526. Harga jual listrik optimal adalah US\$0,013 /kWh. Jika dibandingkan dengan tarif dasar listrik (TDL) PLN tahun 2012 sebesar US\$ 0,080/kWh (www.pln.co.id), harga jual listrik sistem ini lebih rendah US\$ 0.067/kWh. Hal ini menunjukkan bahwa harga jual sistem Pembangkit Hybrid sangat kompetitif dibandingkan dengan harga jual listrik dari PLN. Selain itu, harga jual yang tinggi ke *grid* (PLN) sangat menguntungkan apabila sistem ini diimplementasikan di Desa Margajaya. Menurut Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral RI tentang harga pembelian tenaga listrik oleh PLN, dari pembangkit tenaga listrik yang menggunakan energi terbarukan skala kecil dan menengah, harga kelebihan tenaga listrik adalah sebesar US\$0,116/kWh.

TABEL 10. Kinerja ekonomi sistem Pembangkit Tenaga Hybrid

Production	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
Hydro turbine	88,350	0	8,429	0	0	96,779
Biomass	6,000	34,431	9,518	0	-447	49,502
Grid	0	0	-171,474	0	0	-171,474
System	94,350	34,431	-153,526	0	-447	-713,295
Total NPC						-25,192
Levelized COE						-
						0,013/kWh



GAMBAR 16. Rangkuman NPC dari sistem optimal

Month	Energy	Energy	Net	Peak	Energy	Demand
	Purchased	Sold	Purchases	Demand	Charge	Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Jan	1,145	10,669	-9,525	33	-1,147	0
Feb	917	9,874	-8,957	26	-1,072	0
Mar	1,266	10,365	-9,099	31	-1,102	0
Apr	1,186	10,234	-9,049	30	-1,093	0
May	1,027	10,849	-9,823	32	-1,177	0
Jun	1,125	10,149	-9,024	35	-1,088	0
Jul	1,162	10,732	-9,569	28	-1,152	0
Aug	1,336	10,205	-8,870	27	-1,078	0
Sep	1,113	10,086	-8,972	29	-1,081	0
Oct	985	10,614	-9,629	24	-1,153	0
Nov	1,055	10,485	-9,430	31	-1,132	0
Dec	1,077	10,564	-9,488	34	-1,140	0
Annual	13,393	124,827	-111,434	35	-13,414	0

GAMBAR 17. Energi listrik yang dibeli dan dijual ke grid dalam satu bulan selama satu tahun

KESIMPULAN

Dari simulasi yang dilakukan terhadap model sistem pembangkit hybrid yang terdiri dari sistem mikrohidro, *PV Array*,

biomassa dan *grid* dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan hasil optimisasi energi terbarukan untuk pembangkit listrik hybrid, jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh model sistem hybrid ini

- dapat memenuhi kebutuhan energi listrik di Desa Margajaya.
2. Sistem hybrid dengan konfigurasi yang optimal terdiri dari sistem mikrohidro, biomassa dan *grid*.
 3. Sistem optimal menunjukkan bahwa energi listrik yang dihasilkan dapat disalurkan ke *grid* (PLN), sehingga dapat menjadi pemasukan kas di Desa Margajaya.
 4. Tujuan utama untuk membentuk Desa Margajaya sebagai Desa Mandiri Energi secara model dan simulasi telah terpenuhi dikarenakan desa tersebut dapat menghasilkan energi listrik sebesar 95% dari total 100% konsumsi energi listrik.
- Hrayshat, E. S. (2009, February). Off-grid hybrid wind–diesel power plant for application in remote Jordanian settlements. *Springer Clean Techn Environ Policy*, 11(DOI 10.1007/s10098-009-0200-0, Springer-Verlag 2009), 425-439.
- Islam, S. M. (2012). Increasing wind energy penetration level using pumped hydro storage in island micro-grid system. *International Journal Of Energy and Environmental Engineering*(a SpringerOpen Journal), 3-9.
- J. B. Fulzele, S. D. (2012, February). Optimum Planning of Hybrid Renewable Energy System Using HOMER. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 2(ISSN: 2088-8708), 68-74.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Agus Setiawan, Y. Z. (2008). Design, economic analysis and environmental considerations of mini-grid hybrid power system with reverse osmosis desalination plant for remote areas. *Elsevier*, 34(0960-1481/\$ – see front matter 2008 Elsevier Ltd. All rights reserved.), 374-383.
- Arash Anzalchi, B. M. (2011, December). Wind-PV-Grid Connected Hybrid Renewable System in Kish Island. *International Review on Modelling and Simulations (I.R.E.M.O.S.)*, 4(Copyright © 2011 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved), 6.
- Ersin Akyuz, Z. O. (2011, November). Energetic, environmental and economic aspects of a hybrid renewable energy system: a case study. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 6(The Author 2010. Published by Oxford University Press), 44-54.
- Faten Hosney Fahmy, N. M. (2012, February). Optimization of Renewable Energy Power System for Small Scale Brackish Reverse Osmosis Desalination Unit and a Tourism Motel in Egypt. *Scientific Research*(doi:10.4236/sgre.2012.31006 Published Online February 2012 (http://www.SciRP.org/journal/sgre)), 43-50.
- Kunaifi. (2010). PROGRAM HOMER UNTUK STUDI KELAYAKAN PEMBANGKIT LISTRIK HIBRIDA DI PROPINSI RIAU. *Seminar Nasional Informatika 2010 (semnasIF 2010)*, UPN "Veteran" Yogyakarta, 18.
- Meng, X.-l. (2011). Feasibility Analysis of Renewable Power Supply System for Remote SuoNanDaJie Protect Station. *IEEE Computer Society*(978-0-7695-4501-1/11 \$26.00 © 2011 IEEE), 148.
- Rachmawati, E. (2011, september). Retrieved from [kompas.com: http://bisniskeuangan.kompas.com/read/2011/09/19/16025971/Kebutuhan.Listrik.Tumbuh.5.500.MW.Per.Tahun](http://bisniskeuangan.kompas.com/read/2011/09/19/16025971/Kebutuhan.Listrik.Tumbuh.5.500.MW.Per.Tahun)

PENULIS:

Arif Febriansyah Juwito✉, Sasongko Pramonohadi, T. Haryono

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika no. 2, Yogyakarta.

✉Email: arifjuwito@gmail.com