

Optimisasi Energi Terbarukan dalam Pembangkitan Energi Listrik Menuju Desa Mandiri Energi di Desa Margajaya

Arif Febriansyah Juwito¹, Tarcicius Haryono²

Abstract— The Self-Sufficient Energy Village (DME) is one of main program from government about the village ability to produce energy . This program has been launched in 2007 by the President of Indonesia, to enhance energy security in rural area in using local energy. The criteria of Self-Sufficient Energy Village is the village capability to produce at least 60% of the total amount of energy, using renewable energy. Geographically Margajaya Village has solar and microhydro resource which is very potential for development. Furthermore, Margajaya village also produces plantation commodities like palm oil, which every week produces waste like palm bunches, The waste of which is a very potential biomass. The optimization of renewable energy for electrical power generation has been designed using HOMER in Margajaya village, which have annual power peak is 65kW and daily energy consumption of 415kWh/day. The result from simulation of Hybrid renewable system in HOMER that showed Hydro, Biomass and grid is the best 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 as much of 408.492 kWh/years. Economically the system have cost of electricity is US\$-0,167/kWh..

Intisari— Desa Mandiri Energi (DME) merupakan salah satu program dari pemerintah mengenai kemampuan suatu Desa untuk memenuhi kebutuhannya sendiri. Program ini dicanangkan pertama kali pada tahun 2007 oleh presiden RI. Kriteria Desa Mandiri Energi adalah Desa yang mampu memenuhi minimal 60% dari total kebutuhan energinya menggunakan energi terbarukan. Desa Margajaya secara geografis memiliki potensi energi matahari dan mikrohidro yang sangat potensial untuk dikembangkan. Selain itu Desa ini merupakan salah satu Desa di Kecamatan Padang Jaya penghasil komoditi perkebunan berupa kelapa sawit, yang setiap minggunya menghasilkan limbah berupa pelepah kelapa sawit, yang apabila limbah tersebut merupakan potensi biomassa yang apabila dimanfaatkan dapat menghasilkan energi listrik yang dapat mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap energi listrik yang berasal dari pembangkit yang menggunakan energi fosil. Software HOMER dalam penelitian ini digunakan untuk memodelkan sistem hybrid optimal yang dapat di implementasikan di Desa Margajaya. HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewables*) merupakan sebuah software pemodelan sistem hybrid yang

dikembangkan oleh *National Renewable Energy Laboratory (NREL)* Amerika Serikat untuk mengoptimasi desain sistem pembangkit hybrid dengan *output* estimasi ukuran/ kapasitas sistem, *Lifecycle cost* dan emisi gas rumah kaca. Optimisasi energi terbarukan untuk pembangkitan energi listrik ini dilakukan di Desa Margajaya, yang mempunyai beban puncak yang mungkin terjadi dalam satu tahun sebesar 65 kW dan konsumsi energi harian sebesar 415 kWh/ hari. Konfigurasi yang optimal berdasarkan parameter-parameter yang di inputkan ke HOMER menghasilkan rekomendasi sistem yang terdiri dari Hydro 41,2 kW, Biomassa 5 kW dan Grid 10 kW. Sistem tersebut dapat melayani 100% beban listrik di Desa Margajaya sepanjang tahun dan memiliki surplus energi yang dapat dijual ke *Grid* sebesar 321.273kWh/tahun. Secara ekonomi sistem ini mempunyai harga listrik yang sangat bersaing dengan harga listrik dari PLN yaitu US\$ -0,197/kWh.

Kata Kunci— DME, Sistem Hybrid, Mikrohidro, Biomassa, PV Array, HOMER.

I. PENDAHULUAN

Lingkungan, dan ekonomim merupakan alasan dibalik dorongan yang cepat akan pemanfaatan energi terbarukan diseluruh 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 yang murah. Energi listrik merupakan salah satu energi primer yang tidak dapat dilepaskan penggunaannya dalam kehidupan sehari-hari, baik disektor rumah tangga, instansi pemerintah maupun industri. Semakin meningkatnya jumlah penduduk dan bertambahnya penggunaan peralatan-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 [1].

Walau menjadi kebutuhan primer, namun hingga saat ini penyebaran listrik masih belum merata di Indonesia. Masih banyak desa-desa yang belum terjangkau aliran listrik. Pengadaan energi listrik di Indonesia terutama di daerah

^{1, 2} Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi

Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55284 INDONESIA (tel: 0274-547506; fax: 0274-547506)

terpencil, sering kali tidak tersentuh dan bahkan sama sekali belum terjangkau oleh jaringan listrik. Hal ini disebabkan oleh semakin meningkatnya kebutuhan beban listrik didaerah 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 didaerah luar pulau jawa seperti Sumatra, belum secara signifikan diperhatikan sehingga keandalan penyediaan energi listrik di Sumatra sangatlah kurang. Sehingga makin banyak daerah-daerah terpencil di pelosok-pelosok Sumatra yang belum terjangkau oleh jaringan listrik.

Desa Mandiri Energi (DME) merupakan salah satu program untuk pemenuhan kebutuhan energinya sendiri. Program ini dicanangkan pertamakali oleh Presiden SBY pada tahun 2007. Kriteria dari Desa Mandiri Energi itu sendiri 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 dari Negara berupa sambungan jaringan listrik dari PLN. Tapi penambahan jaringan ini tidak diimbangi dengan kapasitas daya yang cukup dari PLN, hal ini 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, dimana limbah ini merupakan potensi Biomassa yang apabila dimanfaatkan dengan optimal dapat menghasilkan energy listrik yang dapat 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 hibrid dirancang untuk mensimulasikan dan menentukan sistem yang paling optimal untuk menyediakan energi listrik untuk beban listrik pada pemukiman penduduk. Adapun tujuan dari Penelitian ini adalah merancang Desa Mandiri Energi berbasis energi terbarukan di Desa Margajaya; merancang sistem model Grid Connected dengan memanfaatkan radiasi sinar matahari, aliran sungai dan limbah sisa perkebunan kelapa sawit;menentukan konfigurasi sistem yang paling optimal, dilihat dari biaya produksi energi, ketersediaan sumber energi terbarukan, dan keandalan sistem;

menganalisis karakteristik daya keluaran yang dihasilkan oleh model sistem yang optimal, berdasarkan hasil konfigurasi sistem yang optimal oleh HOMER.

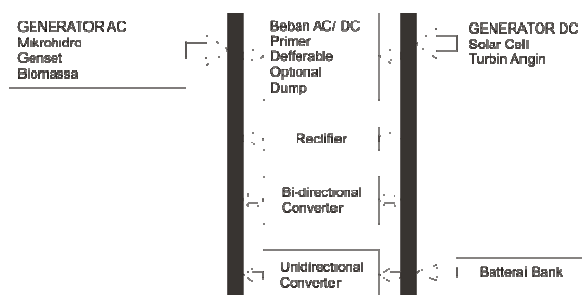
Optimisasi sistem energi terbarukan yang dirancang, disimulasikan dalam rentang waktu satu tahun dengan data keluaran berupa daya yang dihasilkan oleh masing-masing komponen sistem dan besar beban listrik yang disuplai. Data yang dihasilkan adalah data perubahan daya yang merupakan output dari sistem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

II. ENERGI TERBARUKAN

A. Sistem Pembangkit Listrik Hibrid

Sumber energi terbarukan memiliki potensi yang besar bila dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik, yang dapat di gunakan daerah-daerah yang terisolir, menggunakan suatu sistem pembangkit hibrid. Sistem pembangkit hibrid di desain untuk memproduksi energi listrik, sistem ini terdiri dari beberapa unti pembangkit seperti PV, turbin angin, mikrohidro, dan generator. Ukuran sistem pembangkit hibrid 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 hibrid 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 hibrid 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 diatas 100 kW, khususnya terdiri dari gen-set AC, sumber energi terbarukan, beban dan terkadang dilengkapi subsistem penyimpanan energi. Dibawah 100 kW, kombinasi antara komponen AC dan DC umum digunakan untuk penyimpanan energi. Sistem pembangkit hibrid yang kecil hanya melayani beban DC, khususnya beban dengan kapasitas kurang dari 5 kW, digunakan secara komersil pada stasiun repeater telekomunikasi dan aplikasi dengan kapasitas rendah lainnya di daerah terisolir.



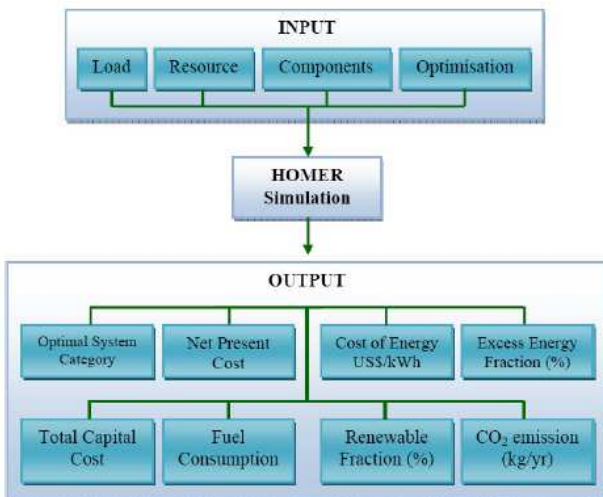
Gbr. 1 Skema pembangkit hibrid

B. 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 dengan beban.
2. Mensimulasikan ribuan kemungkinan konfigurasi sistem.
3. Optimasi dari biaya keseluruhan sesuai dengan umur sistem dan analisis sensitifitas dari beberapa input.

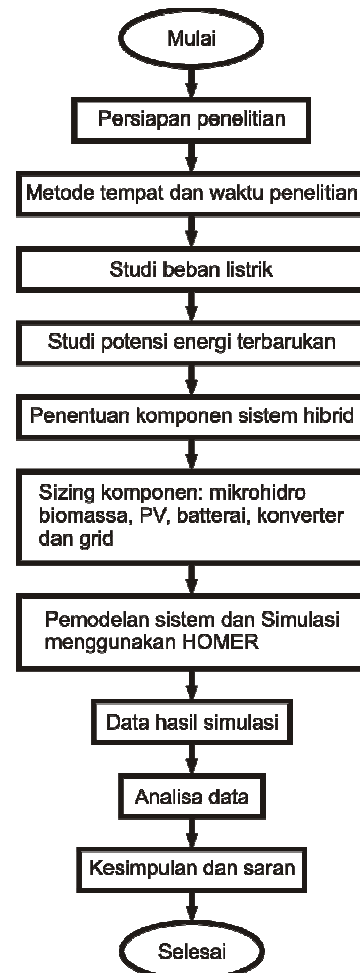
HOMER mensimulasikan sistem operasi dari sebuah sistem berdasarkan perhitungan masing-masing energi untuk 8.760 jam dalam 1 tahun. Untuk setiap jam, HOMER membandingkan beban listrik dan thermal dalam satu jam untuk energi yang dapat disuplai oleh sistem pada waktu tersebut. Jika sistem memenuhi beban 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 dibagian atas dari daftar dapat dengan mudah ditemukan dan juga daftar dari kelayakan sistem lainnya dapat dicari.



Gbr. 2 Arsitektur simulasi dan optimasi HOMER

III. METODOLOGI

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



Gbr. 3 Diagram alir metode penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Informasi Umum

Desa Margajaya merupakan salah satu Desa yang adadi Kecamatan Padang Jaya Kabupaten Bengkulu Utara. Desa ini merupakan salah satu desa penghasil komoditi perkebunan berupa kelapa sawit. 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 I.

TABEL I
INFORMASI UMUM DESA MARGAJAYA

Informasi	Keterangan
Lokasi	101°32' – 102°8' BT dan 2°15' – 4°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

Sumber : Arsip Kantor Desa Margajaya

B. Beban Listrik

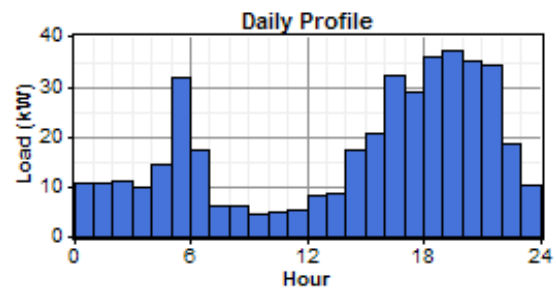
Berdasarkan Tabel I tentang informasi umum Desa Margajaya, kelompok beban di Desa Margajaya terdiri dari 260 rumah, 5 rumah ibadah, 4 sarana pendidikan, 2 gudang, 1 sarana kesehatan, 1 kantor desa dan 2 rumah petugas. Berdasarkan wawancara dengan masyarakat Desa Margajaya, dihasilkan daftar dan pola beban listrik sehari-hari. Gbr. 4 menunjukkan profil beban di Desa Margajaya dengan beban puncak 37 kW.

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

TABEL II
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

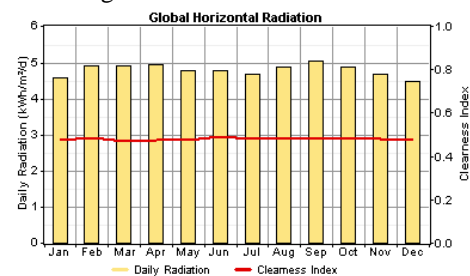


Gbr. 4 Profil beban listrik Desa Margajaya

Dari Gbr. 4 terlihat bahwa beban puncak terjadi pada pukul 20.00-21.00, hal ini dikarenakan pada jam-jam ini warga Desa Margajaya sebagian besar berada di kediamannya masing-masing.

C. Radiasi Matahari

Data yang di dapat 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%.



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

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

D. Potensi Mikrohidro

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



Gbr. 6 Sungai bintuhan



Gbr. 7 Potensi biomassa di kebun kelapa sawit

TABEL III
SIFAT FISIK SUNGAI BINTUHAN

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

E. Potensi Biomassa

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

TABEL IV
PRODUKSI BIOMASSA KEBUN KELAPA SAWIT

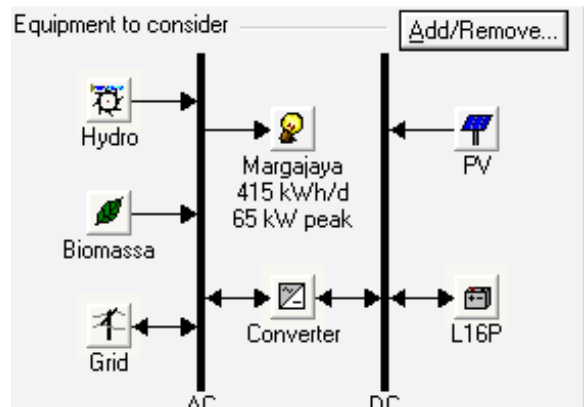
No	Biomassa sawit	T/ha	Nilai kalor (kcal/kg)
1	Tempurung	1,2	4050
2	Serabut	4,3	3200
3	Tandan kosong KS	5,2	3100
4	Pelepah KS	6,2	2940

Sumber: www.pasadenaengineering.com

Berdasarkan Tabel IV, maka potensi produksi limbah biomassa (pelepah sawit) kebun kelapa sawit di Desa Margajaya adalah 2480 ton/tahun. Untuk perharinya potensi biomassa Desa Margajaya adalah 6,89 ton/ hari.

F. Perancangan Sistem

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



Gbr. 8 Model dan komponen

Dalam sistem hibrid pada Gbr. 8 primary load yang disuplai oleh sistem hibrid yang terdiri dari PV Array, Biomassa dan mikrohidro. Adanya grid dimaksudkan apabila sistem hibrid 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 hibrid di Desa Margajaya mengalami surplus energi listrik, Desa Margajaya dapat menjual energi listriknya ke grid (PLN).

TABEL V
PARAMETER YANG DIINPUTKAN KE HOMER

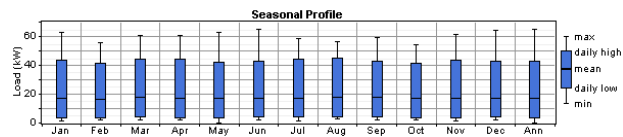
Input	Keterangan
Load	1. Gbr. 4
Konverter	2. Efisiensi inverter : 96,0% 3. Efisiensi Penyearah/ charger: 85% 4. Harga US\$ 900/kW (B&B Power co.,Ltd/ www.bbpower.cn)
PV Array	5. Solar resource : Gbr. 5 6. Ukuran: 10 kW 7. Harga US\$ 50000
Hidro Resource	8. Debit air: 8,57 m ³ /s 9. Biaya: US\$ 61800 10. Head: 5 m
Biomass resource	11. Potensi Biomassa: 6,89 ton/hari 12. Ukuran: 5,10,15, dan 20 kW 13. Biaya: US\$ 2000/kW
Grid	14. Harga: 0,078 \$/kWh 15. Sell Back: 0,116 \$/kWh

Selain parameter pada Tabel V, terdapat dua variable sensitifitas yang turut di inputkan kedalam HOMER yaitu Hydro Head dan Design Flow Rate. Tujuan dari penggunaan dua variabel sensitifitas ini adalah untuk mencari konfigurasi sistem yang optimal di lihat dari nilai NPC (Net Present Cost) dan Levelized COE.

G. Hasil Simulasi

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

Berdasarkan hasil simulasi yang terlihat pada Gbr. 9, yang dirangkum pada table 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.

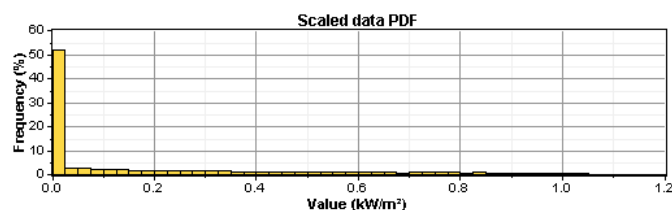


Gbr. 9 Profil beban listrik bulanan dalam satu tahun

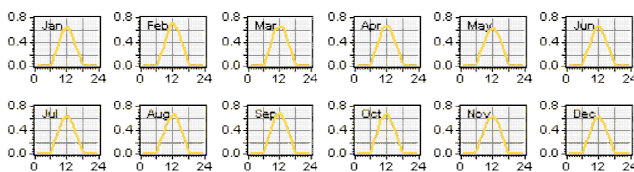
TABEL VI
SISTEM BEBAN LISTRIK

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

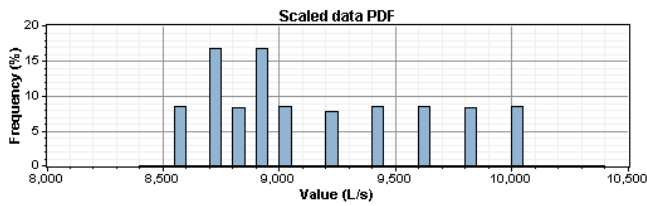
HOMER melakukan simulasi potensi radiasi sinar matahari berdasarkan informasi tentang latitude dan longitude suatu daerah. Latitude dan longitude Desa Margajaya adalah 30 59 N dan longitude 1020 59 S. Data radiasi sinar matahari di peroleh dari website NASA. Rata-rata radiasi sinar matahari di daerah ini adalah 4,784 kWh/m²/hari. Gbr. 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 Gbr. 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.



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



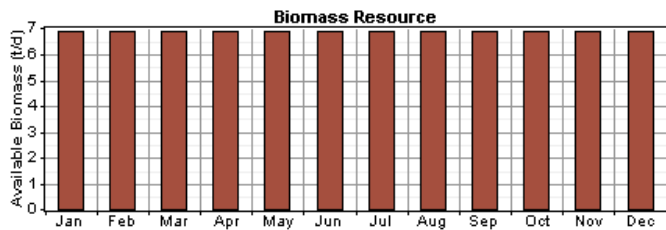
Gbr. 11 Profil radiasi matahari tiap jam perbulan dalam satu tahun



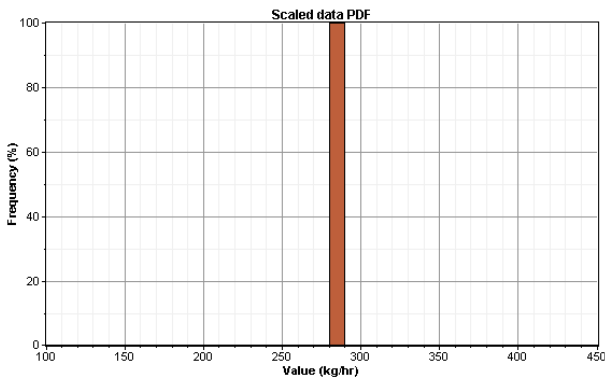
Gbr. 12 Fungsi distribusi debit air yang mungkin terjadi dalam satu tahun

Dari data hasil pengukuran debit air di sungai bintuhan diperoleh besaran debit air di sungai tersebut adalah 8,57 m³/s. Besaran debit air ini merupakan parameter-parameter yang digunakan sebagai masukan untuk model HOMER. Hasil simulasi potensi debit air di HOMER dapat dilihat pada Gbr. 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 terlihat pada Gbr. 13. hal ini berdasarkan informasi yang didapat dari www.pasadenaengineering.com.



Gbr. 13 Produksi pelepah sawit tiap bulan Desa Margajaya



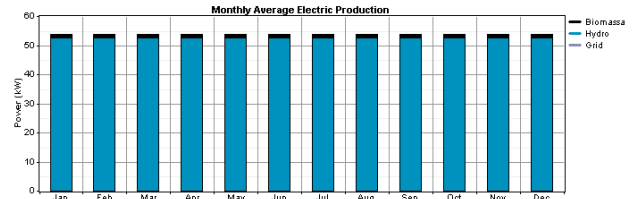
Gbr. 14 Fungsi distribusi potensi biomassa

Pada model sistem hibrid 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.

Gbr. 15 menunjukkan hasil optimasi dari parameter-parameter komponen yang di inputkan ke dalam HOMER. Konfigurasi pembangkit hibrid yang memiliki NPC yang paling kecil terdiri dari Hydro 41,2 kW, Biomassa 5 kW dan Grid 10 kW.

	PV (kW)	Hydro (kW)	Bms (kW)	L1BP	Conv (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Biomass (t)	Bms (hrs)
1	41.2					10	\$ 61,800	-35,241	\$ -388,702	-0.201	1.00		
2	41.2			4	1	10	\$ 63,540	-35,166	\$ -385,397	-0.197	1.00		
3	41.2	5				10	\$ 71,800	-35,468	\$ -381,695	-0.197	1.00	48	2,502
4	41.2	5	4	1		10	\$ 73,540	-35,393	\$ -378,304	-0.196	1.00	48	2,502
5	10	41.2			6	10	\$ 117,200	-35,981	\$ -342,755	-0.177	1.00		
6	10	41.2	4	6		10	\$ 118,040	-35,915	\$ -341,068	-0.176	1.00		
7	10	41.2	5	6	10		\$ 127,200	-36,208	\$ -335,658	-0.173	1.00	48	2,502
8	10	41.2	5	4	6	10	\$ 128,040	-36,142	\$ -333,981	-0.172	1.00	48	2,502

Gbr. 15 Hasil optimum simulasi HOMER



Gbr. 16 Produksi daya listrik

Produksi daya listrik, energi listrik dan konsumsi listrik terlihat pada tabel berikut ini:

TABEL VII
SISTEM OPTIMASI

Production	kWh/year	%
Hydro turbine	460.175	97
Biomassa	12.510	3
Grid purchases	53	0
Total	472.738	100

TABEL VIII
SISTEM OPTIMASI

Consumtion	kWh/year	%
AC primary load	151.475	32
Grid sales	321.273	68
Total	472.748	100

TABEL IX
SISTEM OPTIMASI

Quantity	kWh/year	%
Excess	0	0
Unmet electrical load	0	0
Capacity shortage	14,4	0,01

Dari Gbr. 16 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 VII terlihat bahwa energi listrik yang dihasilkan dari sistem optimal dalam satu tahun adalah 472.738 kWh/tahun dengan rincian 97% (460.175 kWh) Hydro turbin, dan 3% (12.510 kWh) Biomassa.

Kebutuhan energi listrik pada sistem ini dapat dilihat pada Tabel 8. Dimana untuk beban listrik dapat dipenuhi oleh sistem hibrid yang optimal (32%) yaitu sebesar 151.475 kWh/tahun, selain itu selain untuk memenuhi kebutuhan listrik di Desa Margajaya, sistem hibrid dapat menjual energi listriknya ke Grid (PLN) sebesar 321.273 kWh/tahun (68%).

Tabel IX memperlihatkan bahwa sistem ini tidak menghasilkan energi sisa, semua energi listrik yang dihasilkan

di gunakan oleh beban dan di jual ke Grid dan pada tabel ini juga terlihat bahwa tidak ada beban listrik yang tidak terpenuhi dan tidak pernah terjadi kekurangan kapasitas listrik dalam satu tahun.

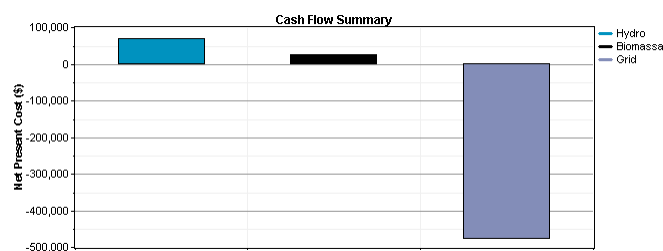
H. Analisa Ekonomi

Tabel X dan Gbr. 17 merupakan rangkuman dari sisi ekonomi sistem optimal. Total NPC pada sistem hibrid 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 Hibrid ini sangat kompetitif dibandingkan dengan harga jual listrik dari PLN.

TABEL X
KINERJA EKONOMI SISTEM PEMBANGKIT TENAGA HIBRID

Production	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
Hydro turbine	61.800	0	7.373	0	0	69.173
Biomass	10000	14.402	2.719	0	-1.547	25.574
Grid	0	0	-	0	0	-476.353
System	71.800	14.402	466.261	0	-1.547	-381.605
Total NPC						-29.852
Levelized COE						0,197/kWh

Selain itu, harga jual yang tinggi ke grid (PLN) sangat menguntungkan apabila sistem ini di implementasikan di Desa Margajaya. Harga listrik yang 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 atau kelebihan tenaga listrik adalah sebesar US\$0,116/kWh.



Gbr. 17 Rangkuman NPC dari sistem optimal

TABEL XI
ENERGI LISTRIK YANG DIBELI DAN DIJUAL KE GRID DALAM SATU BULAN SELAMA SATU TAHUN

Month	Energy purchase (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net purchase (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy charge (\$)	Demand charge (\$)
1	5	27.335	-	5	-	0
2	0	25.050	25,050	0	2,906	0
3	10	26.930	-	8	-	0
4	6	27.634	-	5	-	0
5	8	26.282	-	8	-	0
6	2	27.931	-	1	-	0
7	0	26.675	26,675	0	3,177	0
8	2	27.434	-	2	-	0
9	0	27.434	27,434	0	3,182	0
10	6	26.671	-	4	-	0
11	8	27.330	-	7	-	0
12	53	321.273	-	8	-	0
13	6	26.304	-	3	-	0

V. KESIMPULAN

Dari simulasi yang dilakukan terhadap model sistem pembangkit hibrid yang terdiri dari sistem mikrohidro, PV Array, Biomassa dan grid dapat disimpulkan bahwa :

- 1) Berdasarkan dari hasil optimisasi energi terbarukan untuk pembangkit listrik hibrid, jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh model sistem hibrid, ini dapat memenuhi kebutuhan energi listrik di Desa Margajaya.
- 2) Sistem hibrid dengan konfigurasi yang optimal terdiri dari sistem sistem mikrohidro, biomassa dan grid.
- 3) Sistem optimal tersebut 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 ini dapat menghasilkan energi listrik sebesar 100% dari keseluruhan konsumsi energi listrik..

REFERENSI

- [1] Rachmawati. (2011, Sep.) kompas.com. [Online]. <http://bisniskeuangan.kompas.com/read/2011/09/19/16025971/Kebutuhan.Listrik.Tumbuh.5.500.MW.Per.Tahun>
- [2] Ahmad Agus Setiawan, "Design, economic analysis and environmental considerations of mini-grid hybrid power system with reverse osmosis desalination plant for remote areas," Elsevier, vol. 34, no. 0960-1481/\$ – see front matter 2008 Elsevier Ltd. All rights reserved., pp. 374-383, 2008.
- [3] Arash Anzalchi, "Wind-PV-Grid Connected Hybrid Renewable System in Kish Island," International Review on Modelling and Simulations (I.R.E.M.O.S.), vol. 4, no. Copyright © 2011 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved, p. 6, Dec. 2011.
- [4] Faten Hosney Fahmy, "Optimization of Renewable Energy Power System for Small Scale Brackish Reverse Osmosis Desalination Unit and a Tourism Motel in Egypt," Scientific Research, no. doi:10.4236/sgre.2012.31006 Published Online February 2012 (<http://www.SciRP.org/journal/sgre>), pp. 43-50, Feb. 2012.
- [5] Ersin Akyuz, "Energetic, environmental and economic aspects of a hybrid renewable energy system: a case study," International Journal of Low-Carbon Technologies, vol. 6, no. The Author 2010. Published by Oxford University Press, pp. 44-54, Nov. 2011.
- [6] S. M. Islam, "Increasing wind energy penetration level using pumped hydro storage in island micro-grid system," International Journal Of Energy and Environmental Engineering, no. a SpringerOpen Journal, pp. 3-9, 2012.
- [7] E. S. Hrayshat, "Off-grid hybrid wind-diesel power plant for application in remote Jordanian settlements," Springer Clean Techn Environ Policy, vol. 11, no. DOI 10.1007/s10098-009-0200-0, Springer-Verlag 2009, pp. 425-439, Feb. 2009.
- [8] X.-l. Meng, "Feasibility Analysis of Renewable Power Supply System for Remote SuoNanDaJie Protect Station," IEEE Computer Society, no. 978-0-7695-4501-1/11 \$26.00 © 2011 IEEE, p. 148, 2011.
- [9] Kunaifi, "PROGRAM HOMER UNTUK STUDI KELAYAKAN PEMBANGKIT LISTRIK HIBRIDA DI PROPINSI RIAU," Seminar Nasional Informatika 2010 (semnasIF 2010), UPN "Veteran" Yogyakarta, p. 18, 2010.
- [10] J. B. Fulzele, "Optimum Planning of Hybrid Renewable Energy System Using HOMER," International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)", vol. 2, no. ISSN: 2088-8708, pp. 68-74, Feb. 2012.