

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Konfigurasi Sistem Energi Terbarukan

Pembangkit listrik yang tersedia di Pulau Parang saat ini adalah generator dan PV, namun masyarakat masih menggunakan generator lebih dominan sehingga biaya yang dikeluarkan masih mahal. Hasil yang diharapkan adalah penggunaan paling menguntungkan dari seluruh komponen yang bisa dimanfaatkan. Diantaranya adalah generator dan PV yang dikolaborasikan dengan *wind turbin*.

Proses simulasi memodelkan dan merancang konfigurasi sistem secara khusus, maka proses di Homer dilakukan untuk menentukan kemungkinan terbaik dalam konfigurasi sistem. Homer mengelompokkan 5 konfigurasi sistem yang berbeda-beda untuk setiap komponennya.

Hasil konfigurasi sistem dengan NPC (*Net Present Cost*) terkecil direkomendasikan di urutan teratas oleh perangkat lunak Homer dan konfigurasi yang bagus dipilih berdasarkan NPC terendah, bukan dari COE. NPC adalah biaya keseluruhan sistem selama jangka waktu yang ditentukan (20 tahun) dan sudah dikurangi semua pendapatan yang diperoleh selama proyek berlangsung dan COE (*Cost of Energy*) adalah biaya rata-rata per kWh dari produksi energi listrik yang dijual ke konsumen.

Perangkat lunak Homer menampilkan saran konfigurasi seperti pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa nilai NPC terendah senilai Rp.27,9 miliar dengan komponen tidak lengkap, yaitu PV, generator, baterai, konverter dan tanpa *wind turbin*, dengan modal awal (*initial capital*) senilai Rp.3,95 miliar. NPC tertinggi dari 2 simulasi pilihan dari Homer terdiri dari PV, *wind turbin*, generator dan konverter senilai Rp.28 miliar dengan modal awal senilai Rp.3,97 miliar, yang berarti lebih murah Rp.0,1 miliar dibandingkan NPC terendah karena perbedaan komponen yang digunakan. Hasil simulasi yang disarankan Homer paling baik ada 2 pilihan yang ditampilkan dan pilihan teratas dengan hasil yang lebih murah dengan produksi listrik yang cukup menjadi pilihan dengan meniadakan *wind turbin* dalam sistem sehingga biaya COE yang dihasilkan juga lebih murah.

Tabel 4.1. Saran yang ditampilkan dalam perangkat lunak Homer

<i>Architecture</i>										
PV	<i>Wind Turbin</i>	Generator	Baterai	<i>Converter</i>	PV (kW)	G1	Gen (kW)	100 Li	<i>Converter</i>	<i>Dispatch</i>
	-				350	-	450	4	55,0	LF
					350	1	450	4	55,0	LF

Tabel 4.2. Saran yang ditampilkan dalam perangkat lunak Homer

Cost				System	Gen			
COE (Rp)	NPC (Rp)	Operating Cost (Rp)	Initial Capital (Rp)	Ren. Frac (%)	Production (kWh)	Fuel (L)	O&M Cost (Rp)	Fuel Cost (Rp)
4.348	27,9 B	1,29 B	3,95 B	43	196.631	62.158	33.660.000	870.213.760
4.366	28,0 B	1,30 B	3,97 B	43	196.631	62.158	33.660.000	870.213.760

Tabel 4.3. Saran yang ditampilkan dalam perangkat lunak Homer

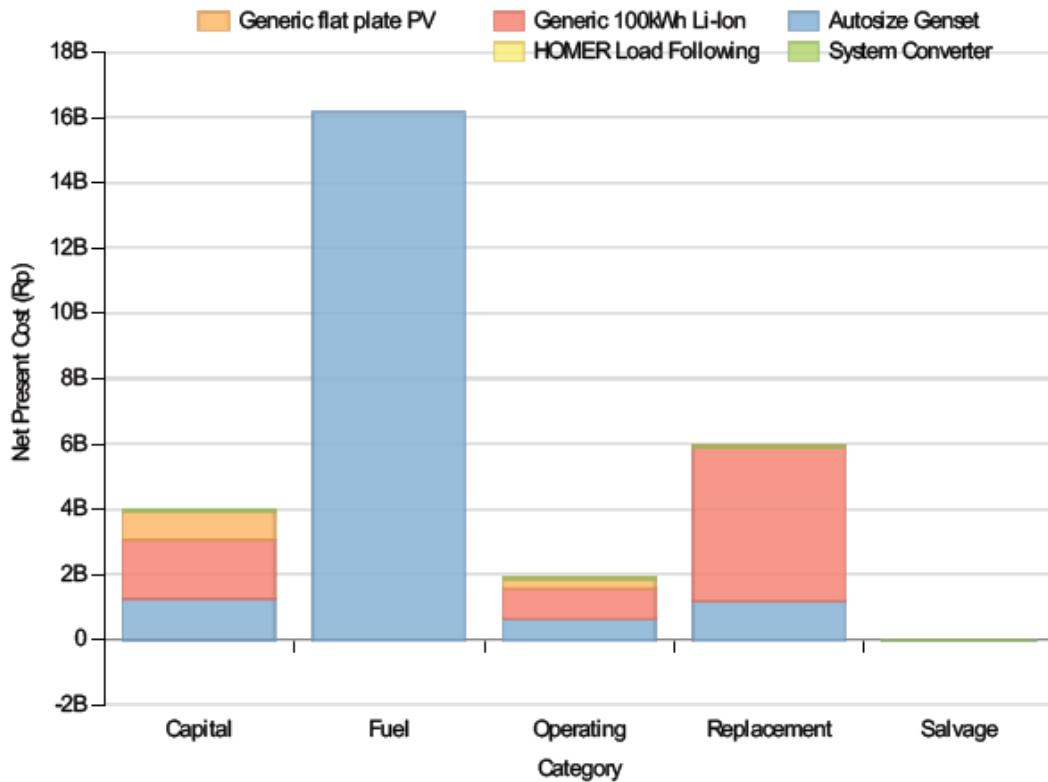
PV		G1		
Capital Cost (Rp)	Production (kWh)	Capital Cost (Rp)	Production (kWh)	O&M Cost (Rp)
875.213.760	572.790	-	-	-
875.213.760	572.790	20.000.000	371	5.000.000

Tabel 4.4. Saran yang ditampilkan dalam perangkat lunak Homer

100 Li		Converter	
Autonomy (hr)	Annual Throughput (kWh)	Rectifier Mean Output (kW)	Inverter Mean Output (kW)
8,1	123.672	3	21
8,1	123.532	3	21

Pilihan yang disediakan di Homer pada pilihan tertatas pertama dan ke dua seperti pada empat tabel diatas menunjukkan biaya dan produksi energi listrik yang sama dan perbedaannya ada di *wind turbin*. Produksi energi listrik yang selisihnya sangat sedikit namun memiliki perbedaan dijumlah pembiayaan akan berdampak pada perhitungan ekonomi dan harga jual energi listrik. Selisih hasil produksi energi listrik sebesar 371 kWh yang dihasilkan *wind turbin*. Dengan pembiayaan yang lebih murah dan produksi energi listrik yang memenuhi permintaan masyarakat, pilihan pertama yang ditampilkan Homer menjadi pilihan utama dalam penelitian ini untuk dibahas, dengan komponen yang terdiri dari PV, generator, baterai, dan konverter.

Pada analisa pra studi kelayakan rancang bangun pembangkit *hybrid* (surya-angin) di pulau parang diambil konfigurasi sistem dengan hasil produksi listrik yang tinggi dan pembiayaan yang rendah. Dari hasil konfigurasi diperoleh berupa 350 kW panel surya, 450 kW generator, 4 buah baterai, dan 55 kW konverter. Konfigurasi ini dipilih pada baris pertama terlihat pada Tabel 4.1.



Gambar 4.1. Grafik biaya NPC

Grafik biaya NPC yang ditampilkan dalam Gambar 4.1 menunjukkan biaya tertinggi terletak pada biaya bahan bakar dan satu-satunya komponen yang menggunakan bahan bakar adalah generator. Sedangkan biaya modal yang paling tinggi berasal dari baterai diantara modal komponen yang lainnya, biaya modal tertinggi ke dua yaitu generator dengan kapasitas 450 kW. Selain itu baterai juga membutuhkan biaya penggantian yang besar dari komponen lainnya dan generator berada di peringkat ke dua secara ekonomi dan biaya penggantian. Biaya operasional baterai juga lebih banyak daripada biaya operasional generator dan komponen lain. Grafik tersebut juga menunjukkan biaya pengamanan komponen yang tidak terlalu banyak dalam sistem dan hampir tidak terlihat dalam dikarenakan jumlahnya yang sangat kecil.

Tabel 4.5. Ringkasan biaya NPC

Total net present cost	27.926.941.874	Rp
Levelized cost of energy	4.347,972	Rp/kWh

Tabel 4.6. Rincian total biaya NPC sistem selama proyek berlangsung

<i>Component</i>	<i>Capital (Rp dalam Juta)</i>	<i>Replacement (Rp dalam Juta)</i>	<i>O&M (Rp dalam Juta)</i>	<i>Fuel (Rp dalam Juta)</i>	<i>Salvage (Rp dalam Juta)</i>	<i>Total (Rp dalam Juta)</i>
<i>Generic flate plate PV</i>	875	0	324,843	0	0	1.199,843
<i>Autosize Genset</i>	1.260	1.172,412	624,812	16.153,305	-5,820	19.204,709
<i>HOMER Load Following</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Generic 100 kWh Li-ion</i>	1.800	4.748,430	928,123	0	0	7.476,553
<i>System Converter</i>	19,250	17,283	20,419	0	-11,115	45.836.338
<i>System</i>	3.954,250	5.938,125	1.898,197	16.153,305	-16,935	27.926,941

Dari rincian biaya NPC diperoleh total keseluruhan biaya senilai Rp.27.926.941.874 miliar dibulatkan menjadi Rp.27,927 miliar dan diperoleh biaya energi per kWh senilai Rp.4.347,972 dibulatkan menjadi Rp.4.348/kWh. Harga ini terlihat lebih mahal dari harga di PLN yang untuk keperluan rumah tangga dengan daya 900 VA senilai Rp.1.400/kWh dan ditambah subsidi pemerintah dengan variasi yang berbeda. [10]

Tabel 4.7. Hasil produksi masing-masing komponen per tahun

<i>Component</i>	<i>Productin (kWh/yr)</i>	<i>Percent (%)</i>
PV	572.790	74
Generator	196.631	26
Total	769.421	100

Dari hasil masing-masing komponen per tahun menunjukkan bahwa PV berperan besar dalam memproduksi energi dibandingkan generator. Hal ini menunjukkan sistem dapat bekerja untuk memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat dengan energi terbarukan cukup bagus. Dari produksi per tahun menunjukkan persentase PV 74% dalam memenuhi kebutuhan listrik masyarakat, artinya PV mensuplai kebutuhan energi listrik 3x lipat lebih banyak dari generator yang hanya 26%. Sehingga PV menjadi sumber energi utama dalam memproduksi energi listrik. Dalam perencanaan awal penelitian ini menjadi pembangkit *hybrid* dari energi surya dan angin, namun dalam penelitian yang dilakukan menunjukkan hasil bahwa keberadaan turbin angin

dalam sistem menyebabkan ketidak optimalan produksi energi listrik, sehingga dalam tampilan saran dari perangkat lunak Homer yang disajikan di Tabel 4.1 pada urutan pertama dan kedua memiliki perbedaan di komponen yang digunakan, urutan pertama tidak menggunakan turbin angin dan urutan ke dua menggunakan turbin angin. Tidak digunakannya turbin angin di sistem mempengaruhi pembiayaan dan hasil produksi energi listrik. Pembiayaan terlihat berbeda di jumlah modal awal, dengan tidak adanya turbin angin berarti mengurangi jumlah komponen yang dibeli sebesar Rp.0,02 miliar. Hal itu juga berpengaruh pada jam operasional komponen yang mensuplai kebutuhan energi listrik masyarakat. Terlihat perbedaan di Tabel 4.3 *wind turbin* membutuhkan biaya O&M Rp.5.000.000/tahun dan biaya modalnya. Turbin angin yang tidak digunakan menyebabkan perbedaan di harga jual listrik, dalam Tabel 4.1 ditunjukkan untuk sistem yang menggunakan turbin angin memiliki harga jual senilai Rp.4.366/kWh sedangkan untuk sistem yang tidak menggunakan turbin angin memiliki harga jual senilai Rp.4.348/kWh.

Tabel 4.8. Hasil kinerja kelistrikan sistem

<i>Quantity</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>
<i>Excess Electricity</i>	397.727	kWh/yr
<i>Unmet Load</i>	0	kWh/yr
<i>Capacity Shortage</i>	0	kWh/yr
<i>Renewable Percent</i>	43	%

Dari hasil kelistrikan yang ditunjukkan pada Tabel 4.8 menunjukkan adanya hasil *excess electricity* (kelebihan energi listrik) sebesar 397.727 kWh/tahun. *Excess electricity* bisa memberikan dampak positif dan negatif, pada penelitian ini *excess electricity* memberikan dampak negatif disebabkan *excess electricity* seharusnya dibuang atau tidak ada. Karena tidak dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan atau pengisian baterai. Munculnya *excess electricity* terjadi ketika dihasilkan daya berlebih dan baterai tidak mampu menampung kelebihan daya [9]. *Excess electricity* bisa berdampak positif apabila tersambung ke Grid PLN, kelebihan daya yang dihasilkan bisa dijual ke PLN sehingga memberikan dampak positif. Hasil dari *unmet load* (beban tidak terpenuhi) adalah 0 kWh/tahun, artinya tidak ada permintaan beban melebihi persediaan energi listrik yang ada. Sehingga beban dapat dilayani semua oleh sistem yang ada dan menghasilkan nilai *unmet load* nol. Begitu pula dengan *capacity shortage* atau besarnya kekurangan energi per tahun yang disebabkan menurunnya jumlah produksi energi listrik disebabkan kurangnya radiasi matahari pada bulan-bulan tertentu atau kurangnya jam operasional pada generator tidak ada sama sekali. *Renewable percent* menunjukkan angka 43%

berarti sistem yang digunakan sudah termasuk kategori energi terbarukan menurut Homer dengan nilai 43%, nilai tersebut akan berkurang apabila produksi listrik lebih didominasi oleh generator dan sebaliknya nilai *Renewable percent* akan bertambah apabila produksi energi listrik disuplai oleh energi terbarukan lebih banyak atau bahkan ketika PV digunakan secara keseluruhan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik.

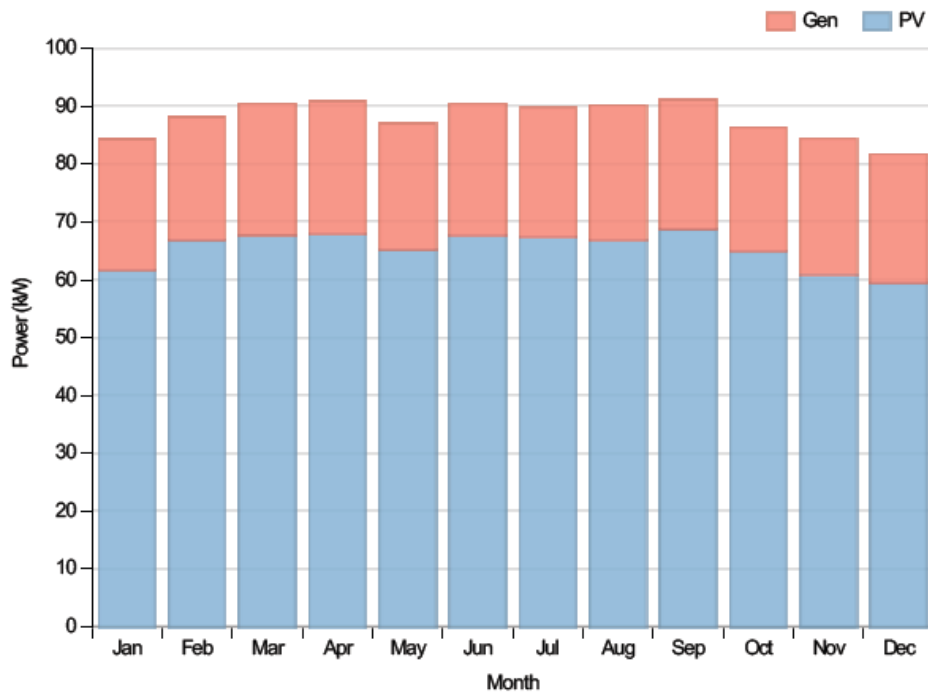
Tabel 4.9. Biaya tahunan dari penggunaan komponen

<i>Component</i>	<i>Capital</i> (Rp dalam Juta)	<i>Replacement</i> (Rp dalam Juta)	<i>O&M</i> (Rp dalam Juta)	<i>Fuel</i> (Rp dalam Juta)	<i>Salvage</i> (Rp dalam Juta)	<i>Total</i> (Rp dalam Juta)
<i>Generic flate plate PV</i>	47,138	0	17,500	0	0	64,638
<i>Autosize Genset</i>	67,878	63,160	33,660	870,213	-0,313	1.034,599
<i>HOMER Load Following</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Generic 100 kWh Li-ion</i>	96,969	255,808	50	0	0	402,778
<i>System Converter</i>	1,037	0,931	1,100	0	-0,598	2,469
<i>System</i>	213,024	319,899	102,260	870,213	-0,912	1.504,485

Rincian total biaya NPC sistem pada Tabel 4.6 menunjukkan biaya NPC dengan komponen yang digunakan selama proyek berlangsung sehingga terlihat total biaya modal, penggantian komponen, perawatan, bahan bakar, dan biaya simpan komponen selama proyek berlangsung yaitu 20 tahun. Sedangkan pada Tabel 4.9 ditunjukkan biaya rata-rata tahunan dari penggunaan komponen dalam proyek selama 20 tahun. Biaya *O&M (Operational and Maintenance)* tahunan untuk PV seniali Rp.17.500.000/tahun, generator Rp.33.660.000/tahun, baterai Rp.50.000.000/tahun, dan konverter senilai Rp.1.100.000/tahun, yang berarti generator membutuhkan biaya O&M paling tinggi dibandingkan komponen yang lain. *Life time* komponen yang tidak sepanjang dengan jangka waktu proyek selama 20 tahun memerlukan biaya penggantian yang bervariasi disebabkan *life time* tiap komponen berbeda. Konverter yang memiliki *life time* 15 tahun memerlukan biaya penggantian senilai Rp.931.075, sedangkan baterai yang memiliki *life time* 5 tahun memerlukan biaya penggantian senilai Rp.255.808.303, sedangkan untuk PV karena memiliki *life time* 20 tahun sehingga tidak ada biaya penggantian.

4.2. Hasil simulasi parameter keluaran untuk masing-masing komponen

Simulasi menggunakan perangkat lunak Homer juga menampilkan hasil produksi energi listrik dan biaya operasional serta grafik simulasi pada masing-masing komponen. Parameter keluaran PV memperlihatkan total produksi energi yang dihasilkan PV lebih besar daripada generator, hal ini menunjukkan penggunaan sel surya di Pulau Parang lebih banyak dibandingkan dengan generator dalam memproduksi energi listrik. Hal tersebut juga ditunjukkan pada Tabel 4.8 yang menunjukkan nilai *Renewable Percent* sebesar 43%.



Gambar 4.2. Grafik hasil produksi energi listrik dari generator dan PV perbulan

Perbedaan hasil produksi energi antara PV dan generator disebabkan karena kebutuhan energi listrik di Pulau Parang memuncak pada malam hari sedangkan kebutuhan energi listrik pada siang hari cenderung sangat sedikit, sehingga pada siang hari PV akan lebih banyak menyimpan energi listrik ke baterai daripada penggunaan secara langsung ke beban.

Hasil keluaran energi rata-rata PV adalah 65 kW atau 1.569,29 kW/hari, dengan total produksi energi listrik sebanyak 572.790 kW/tahun, tidak memiliki minimum output dan memiliki output maksimal sebanyak 335,68 kW. Penetrasi PV yang di deteksi oleh perangkat lunak Homer adalah 165,54%. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik PV beroperasi selama 4.388 jam/tahun dan dari produksi energi listrik yang dihasilkan dari PV dapat dijual ke konsumen senilai Rp.112,848/kWh dibulatkan menjadi Rp.113/kWh. Harga yang diperoleh lebih murah dibandingkan harga dari PLN.

Tabel 4.10. Rincian hasil simulasi PV

<i>Quantity</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>
<i>Rated Capacity</i>	350	kW
<i>Mean Output</i>	65	kW
<i>Mean Output</i>	1.569,29	kW/d
<i>Capacity Factor</i>	18,68	%
<i>Total Production</i>	572.790	kWh/yr
<i>Minimum Output</i>	0	kW
<i>Maximum Output</i>	335,68	kW
<i>PV Penetration</i>	165,54	%
<i>Hours of Operation</i>	4.388	hrs/yr
<i>Levelized Cost</i>	112,848	Rp/kWh

Generator beroperasi selama 1.496 jam/tahun dengan konsumsi bahan bakar 62.158 liter/tahun dan dapat memproduksi listrik sebanyak 196.631 kWh/tahun, untuk memproduksi energi listrik per kWh membutuhkan bahan bakar sebanyak 0,32 liter dan rata-rata efisiensi kelistrikan 32%. Dalam pelaksanaannya generator memulai starting awal sebanyak 656 kali dan memiliki rata-rata *electrical output* 131 kW dengan minimal *electrical output* 113 kW dan maksimal *electrical output* sebesar 353 kW.

Tabel 4.11. Rincian hasil simulasi generator

<i>Quantity</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>
<i>Hours of Operation</i>	1.496	hrs/yr
<i>Number of Starts</i>	656	Starts/yr
<i>Operational Life</i>	10	Yr
<i>Fixed Generation Cost</i>	225.952,14	Rp/yr
<i>Marginal Generation Cost</i>	3.516,80	Rp/kWh
<i>Electrical Production</i>	196.631	kWh/yr
<i>Mean Electrical Output</i>	131	kW
<i>Min. Electrical Output</i>	113	kW
<i>Max. Electrical Output</i>	353	kW
<i>Fuel Consumption</i>	62.158	L/yr
<i>Specific Fuel Comsumption</i>	0,32	L/kWh
<i>Fuel Energy Input</i>	611.636	kWh/yr
<i>Mean Electrical Efficiency</i>	32	%

Hasil produksi listrik dari generator dijual ke konsumen senilai Rp.3.516,80/kWh atau dapat dibulatkan menjadi Rp.3.517/kWh dan memiliki pembiayaan generator pertahun senilai Rp.225.952,14 atau dapat dibulatkan menjadi Rp.226.000/tahun. Generator memiliki *life time* selama 10 tahun berdasarkan analisa dari perangkat lunak Homer dengan jam operasional 1.496 jam pertahunnya.

Baterai memiliki kapasitas 400 kWh dengan jumlah 4 buah baterai dalam sistem yang digunakan, artinya 1 buah baterai berkapasitas 100 kWh, dari kapasitas yang tersedia digunakan hanya 320 kWh. *Autonomy* yang berarti waktu dimana baterai dalam keadaan tanpa adanya sinar matahari dapat bertahan selama 8 jam. Penurunan kapasitas penyimpanan baterai mencapai 234 kWh/tahun, nilai ini ditunjukkan dari nilai *storage depletion*. Nilai *losses* atau perbedaan energi listrik yang disalurkan dan yang terpakai adalah 12,555 kWh/tahun. Jumlah energi yang masuk ke baterai adalah 130.115 kWh/tahun tapi energi keluarannya hanya 117.325 kWh/tahun, hal tersebut berkurang dari adanya *losses* dan penurunan kapasitas simpan dari baterai.

Tabel 4.12. Rincian hasil simulasi baterai

<i>Quantity</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>
<i>Nominal Capacity</i>	400	kWh
<i>Usable Nominal Capacity</i>	320	kWh
<i>Autonomy</i>	8	Hr
<i>Battery Wear Cost</i>	1.493,298	Rp/kWh
<i>Average Energy Cost</i>	0	Rp/kWh
<i>Energi In</i>	130.115	kWh/yr
<i>Energi Out</i>	117.325	kWh/yr
<i>Storage Depletion</i>	234	kWh/yr
<i>Losses</i>	12.555	kWh/yr
<i>Annual Throughput</i>	123.672	kWh/yr

PV memproduksi energi listrik lebih banyak dibandingkan dengan generator, karena jumlah PV yang banyak juga nilai penetrasi PV yang besar yaitu 165,54% yang berarti penyerapan sinar matahari oleh PV sangat bagus sehingga energi yang dikonvert oleh PV juga akan lebih banyak untuk disimpan di baterai dan digunakan secara langsung saat siang hari. Dari jam operasional PV sebanyak 4.388 jam/tahun sedangkan generator hanya 1.496 jam/tahun menunjukkan perbedaan jumlah jam operasional yang mencolok, PV beroperasi hampir 3x lipat lebih banyak daripada jam operasional generator. Hasil produksi energi listrik dari PV yang sebesar 572.790 kWh/tahun juga hampir 3x lipat dibandingkan hasil produksi energi listrik

generator sejumlah 196.631 kWh/tahun. Jumlah jam operasional yang sedikit dari generator dikarenakan sebagian besar beban yang ada dapat dipenuhi oleh energi listrik yang dihasilkan oleh PV yang disimpan di baterai.

Selisih jam operasional antara PV dan generator yang sebesar 2.892 jam/tahun dan selisih produksi energi listrik sebesar 376.159 kWh/tahun tidak menyebabkan harga jual dari PV lebih mahal daripada generator karena tidak memerlukan biaya bahan bakar. Harga jual energi listrik yang dihasilkan PV senilai Rp.112,848/kWh dan harga jual energi listrik yang dihasilkan oleh generator senilai Rp.3.516,80/kWh memiliki selisih harga Rp.3.403,952/kWh atau dibulatkan menjadi Rp.3.404/kWh. Selisih harga jual energi listrik antara PV dan generator sangat besar. ketika ingin mendapatkan harga jual energi listrik yang lebih murah bagi masyarakat Pulau Parang, PV menjadi pilihan yang tepat, namun harus disertai penambahan kapasitas PV dan baterai yang ada sehingga akan lebih banyak sinar matahari yang diserap oleh PV dan lebih banyak energi listrik yang tersimpan di baterai, terutama untuk memenuhi kebutuhan beban puncak.

Harga jual energi listrik yang dihasilkan dari PV Rp.112,848/kWh lebih murah daripada tarif dasar listrik terendah PLN untuk keperluan rumah tangga golongan tarif R-1/TR 450 VA senilai Rp.415/kWh. Sedangkan harga jual energi listrik yang dihasilkan dari generator senilai Rp.3.516,80/kWh, lebih mahal dari tarif dasar listrik PLN untuk keperluan rumah tangga golongan tarif R-3/TR 6600 VA ke atas senilai Rp.1.352/kWh. [10]

Generator dari segi ekonomi memerlukan biaya yang lebih banyak baik dari segi modal, penggantian, O&M, dan biaya bahan bakar. Berbeda dengan pembiayaan PV yang lebih murah dari segi modal, penggantian, O&M, dan tidak membutuhkan biaya bahan bakar. Selisih biaya total selama proyek berlangsung 20 tahun antara generator dan PV sebanyak Rp.18.004.866.008 miliar. Terlihat pada Tabel 4.6 total biaya selama proyek berlangsung untuk PV senilai Rp.1.199.843.001 miliar sedangkan generator senilai Rp.19.204.709.009, dengan pembiayaan generator yang tinggi tidak ekonomis untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di Pulau Parang karena berpengaruh pada harga jual energi listrik ke masyarakat, dengan biaya yang lebih murah PV mampu menyuplai 74% kebutuhan energi listrik. Pembangunan pembangkit *hybrid* (surya-angin) di Pulau Parang akan lebih efisien difokuskan ke pembangunan energi terbarukan dari sinar matahari dan tidak membangun turbin angin seperti yang disarankan perangkat lunak Homer serta beralih dari penggunaan generator ke PV.