

Pra Studi Kelayakan Rancang Bangun Pembangkit *Hybrid* (Surya-Angin) di Pulau Parang Menggunakan Perangkat Lunak Homer

Muhammad Ainun Na'im Failashuf¹

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

Jl. Kaliurang KM. 14,5 Ngaglik, Sleman, Yogyakarta, Indonesia

¹failashuf@gmail.com

Abstrak – Energi listrik telah menjadi kebutuhan utama dalam setiap kegiatan. Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan kegiatan perekonomian, maka kebutuhan energi listrik masyarakat juga mengalami peningkatan. Pendistribusian energi listrik di Indonesia belum menyeluruh hingga pelosok nusantara. Sehingga banyak daerah terpencil yang masih menggunakan pembangkit energi konvensional, seperti generator/diesel atau bahkan tidak memiliki jaringan listrik sama sekali. Potensi energi matahari di Indonesia yang notabene sebagai negara tropis dengan radiasi rata-rata sebesar 4,5 kWh/m²/hari (Solarex, 1996). Potensi energi matahari tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif yang tersedia sepanjang tahun dan murah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan sistem pembangkit *hybrid* (surya-angin) yang dapat dijadikan sumber energi listrik bagi masyarakat di daerah terpencil desa Parang, Kecamatan Karimunjawa, Kabupaten Jepara. Selain itu penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi solusi akan kurangnya pasokan energi listrik masyarakat karena tidak terkoneksi dengan jaringan PLN serta menawarkan solusi investasi energi terbarukan yang lebih ekonomis. Penelitian ini mengambil data beban kepada masyarakat secara langsung di Desa Parang melalui kuisioner dan wawancara. Data yang diperoleh kemudian di analisa melalui perangkat lunak Homer dan menunjukkan hasil penerapan pembangkit *hybrid* (surya-angin) di Pulau Parang kurang menguntungkan dari sisi investasi ekonomi dan lebih tepat untuk menggunakan pembangkit energi matahari yang dikolaborasi dengan generator.

Kata Kunci—*rancang bangun; pembangkit hybrid; homer; energi terbarukan; PV; generator; baterai; turbin angin; konverter*

I. PENDAHULUAN

Energi listrik berperan sebagai faktor penting yang menunjang pembangunan masyarakat dan suatu wilayah. Energi listrik juga berperan penting dalam kehidupan sehari-hari. Energi listrik telah menjadi kebutuhan utama dalam setiap kegiatan, baik dalam kegiatan rumah tangga ataupun kegiatan perekonomian. Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan kegiatan perekonomian, maka kebutuhan energi listrik masyarakat juga mengalami peningkatan. Faktor-faktor yang mempengaruhi ketersediaan listrik antara

lain, harga bahan bakar, ketersediaan energi primer, dan teknologi.

Pendistribusian energi listrik di Indonesia belum menyeluruh hingga pelosok nusantara. Sehingga banyak daerah terpencil yang masih menggunakan pembangkit energi konvensional, seperti generator/diesel atau bahkan tidak memiliki jaringan listrik sama sekali. Potensi energi matahari di Indonesia yang notabene sebagai negara tropis dengan radiasi rata-rata sebesar 4,5 kWh/m²/hari (Solarex, 1996). Potensi energi matahari tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif yang tersedia sepanjang tahun dan murah.

Penelitian ini akan membahas kelayakan rancang bangun pembangkit *hybrid* yang berbasis energi terbarukan dari surya dan angin yang berlokasi di Pulau Parang, Kecamatan Karimunjawa, Kabupaten Jepara yang kondisinya belum masuk kedalam jaringan listrik PLN. Sehingga listrik di Pulau Parang hanya ada selama kurang lebih 6 jam perhari menggunakan pembangkit generator/diesel.

Sejak awal tahun 2015 kebutuhan listrik di Pulau Parang sudah berkembang dari kondisi sebelumnya, dimana kebutuhan listrik tersebut dipenuhi dengan adanya PLTS yang diperoleh dari program hibah suatu lembaga non-profit dari Jerman. Namun listrik yang ada hanya cukup untuk menghidupkan lampu dan peralatan-peralatan elektronik lain yang berdaya kecil. Sedangkan peralatan elektronik yang berdaya besar tidak mampu dialiri listrik.

Intensitas cahaya matahari di daerah pesisir Pulau Parang dan angin laut merupakan potensi sumber daya alam yang bisa dikonversikan menjadi energi listrik. Saat melakukan survei lapangan dalam waktu yang singkat diperoleh hasil pengukuran kecepatan angin di Pulau parang berkisar 3,5-4 m/detik.

Potensi sumber daya alam yang dimiliki oleh Pulau Parang mampu dihasilkan energi listrik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat guna meningkatkan kesejahteraan di bidang ekonomi, industri, dan pendidikan. Oleh karena itu perlu adanya pembangkitan energi terbarukan paling optimum di Pulau Parang.

Penelitian ini berjudul “Pra Studi Kelayakan Rancang Bangun Pembangkit *Hybrid* (Surya-Angin) di Pulau Parang Menggunakan Perangkat Lunak Homer” ini bertujuan untuk mengetahui potensi pembangkitan energi terbarukan paling optimum di Pulau Parang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Homer Pro

Homer adalah model perangkat lunak yang dikembangkan oleh *The National Renewable Energy Laboratory* (NREL) Amerika Serikat dengan tujuan optimasi sistem pembangkit listrik, Homer dilengkapi dengan output estimasi ukuran/kapasitas sistem, *lifecycle cost*, dan emisi gas rumah kaca.

Perangkat lunak HOMER *microgrid* memberikan simulasi kronologis yang rinci dan optimasi dalam suatu model yang relatif sederhana dan mudah digunakan. Hal ini disesuaikan dengan berbagai macam proyek. Untuk sistem listrik desa atau skala *power system*, HOMER dapat digunakan untuk dua faktor, yaitu bagian teknis dan ekonomi dalam proyek yang sedang dikerjakan. Untuk sistem yang lebih besar, HOMER dapat memberikan gambaran penting yang membandingkan biaya dan kelayakan konfigurasi yang berbeda, sehingga desainer dapat menggunakan perangkat lunak yang lebih khusus untuk model kinerja teknis.

Analisis sensitivitas HOMER membantu menentukan dampak potensial dari faktor yang tidak pasti seperti harga bahan bakar atau kecepatan angin pada sistem tertentu. [3]

B. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

Pembangkit listrik tenaga diesel atau bisa disebut dengan PLTD adalah pembangkit listrik yang berbahan bakar solar dan menggunakan mesin diesel sebagai penggerak mula (*Prime mover*). Penggerak mula adalah peralatan yang memiliki fungsi untuk menghasilkan energi mekanis yang gunanya untuk memutar rotor generator. PLTD pada umumnya dimanfaatkan untuk mencukupi kebutuhan energi listrik dengan jumlah beban yang kecil, terutama untuk daerah terpencil atau kebutuhan listrik di pedesaan serta untuk memasok kebutuhan energi listrik suatu industri.

Apabila dibandingkan dengan motor bensin, hasil gas buang motor diesel tidak banyak mengandung komponen beracun yang mencemari udara. Selain gas buang pemakaian bahan bakar diesel lebih rendah kurang lebih 25% dari pada bahan bakar bensin dan harganya pun lebih murah. Penggunaan diesel pada umumnya lebih hemat untuk kebutuhan industri. Dipertimbangkan dari segi investasi ekonomi motor bensin pada umumnya lebih murah dari motor diesel, hal itu disebabkan karena rangkaian motor diesel memiliki konstruksi dan berat yang lebih besar untuk kapasitas mesin yang sama dengan motor bensin. [4]

Mesin diesel tidak menghasilkan pembakaran yang sempurna dari proses pembakaran. Bahan bakar sangat mempengaruhi hasil efisiensi PLTD, hal tersebut dikarenakan biaya terbesar dalam operasional PLTD bersumber dari biaya bahan bakar, kurang lebih 70% dari total biaya operasional PLTD. Faktor tersebut yang menyebabkan efisiensi dari PLTD tergolong rendah, kurang dari 50%. [5]

C. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Energi surya, radiasi panas dan cahaya dari matahari yang dimanfaatkan menggunakan berbagai teknologi yang terus berkembang. Sel surya (*solar cell*) sudah dikenal di Indonesia

namun masih jarang digunakan. Listrik tenaga surya ini dihasilkan melalui proses yang dinamai *photovoltaic*. Sebuah sistem *photovoltaic* mengubah cahaya menjadi listrik arus searah (DC).

Efisiensi yang diperoleh dari penggunaan listrik yang dihasilkan dari tenaga matahari akan jauh lebih tinggi apabila dikombinasikan dengan penggunaan lampu LED, karena lampu LED menghasilkan output cahaya yang sama terang dengan lampu neon namun penggunaan daya lampu LED lebih rendah daripada lampu neon. Keunggulan dari sel surya yang lain adalah mudah dipasang dan ditempatkan dimana saja asalkan terjangkau sinar matahari dan hal ini sangat sesuai dengan negara Indonesia yang hampir sepanjang tahun mendapatkan paparan sinar matahari.

Sel surya terbuat dari potongan-potongan silikon berukuran sangat kecil dengan lapisan bahan kimia khusus guna membentuk dasar dari sel surya. Sel surya pada umumnya mempunyai ketebalan minimum, yaitu 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan dua buah kutub (kutub positif dan kutub negatif). Tiap sel surya normalnya akan menghasilkan tegangan 0,5 volt.

Sambungan (*junction*) pada sel surya berada di antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor. Masing-masing sambungan diketahui sebagai semikonduktor jenis P (positif) dan semikonduktor jenis N (negatif). [6]

D. Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTBayu)

Energi angin merupakan salah satu jenis sumber energi terbarukan yang memiliki potensi untuk menghasilkan energi listrik maupun energi mekanik. Energi angin melalui proses konversi ke mekanik dan selanjutnya dikonversikan ke energi listrik. Energi kinetik yang diperoleh dari energi angin dapat dirubah menjadi energi mekanik untuk memutar peralatan, seperti pompa piston, penggilingan, dan lain sebagainya. Pengolahan selanjutnya dari energi mekanik disalurkan untuk memutar generator yang dapat menghasilkan listrik. Kedua proses perubahan energi tersebut dinamai konversi energi angin. Sedangkan sistem ataupun alat yang melakukannya disebut SKEA (sistem konversi energi angin) dan untuk menghasilkan listrik disebut SKEA Listrik atau yang lebih dikenal sebagai turbin angin. Pemanfaatan energi angin yang lebih umum sekarang ini adalah dalam bentuk energi listrik. Sementara bentuk energi mekanik atau pemanfaatan langsung mulai berkurang.

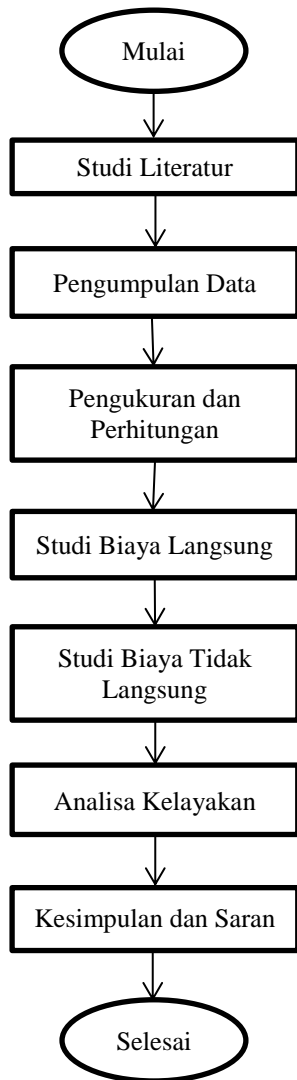
Dalam pemanfaatannya, diperlukan informasi atau data tentang potensi energi angin aktual dan terkini yang tersedia dilokasi pemasangan serta kebutuhan bebannya. Kajian serta evaluasi yang lebih akurat tentang dua aspek tersebut dibarengi dengan aspek ekonomi akan menghasilkan pemanfaatan SKEA yang optimal dilokasi yang diharapkan.

Pemerintah telah mengeluarkan berbagai kebijakan, keputusan, peraturan, strategi dan tindakan nyata secara terencana untuk mendorong pengembangan dan pengimplementasian penggunaan energi baru dan terbarukan (EBT) agar mampu memanfaatkan EBT mencapai persentase minimal 23% dalam lingkup nasional pada 2025 dan menjadi 31% pada tahun 2050. Dengan target tersebut pemanfaatan

EBT harus dioptimalkan agar dapat memanfaatkan energi yang ramah lingkungan dan mendukung pembangunan atau pengembangan di daerah-daerah terpencil dan terisolasi. [7]

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui tahapan-tahapan yang sistematis dan secara garis besar digambarkan dalam diagram alir penelitian sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Penelitian Pra Studi Kelayakan Rancang Bangun Pembangkit *Hybrid* (Surya-Angin) di Pulau Parang ini dimulai dengan melakukan studi literatur dengan membaca jurnal, skripsi, dan hasil penelitian lain guna memperoleh pemahaman awal. Setelah itu mengumpulkan data-data sekunder antara lain, informasi dari pihak-pihak terkait diantaranya pemerintah desa Parang untuk mengetahui perizinan dan jumlah penduduk di Pulau Parang.

Setelah mendapat informasi yang cukup, dilakukan survei lokasi untuk bertemu pihak pemerintah desa serta pengelola pembangkit energi listrik guna mengetahui jumlah beban dan

energi yang dibangkitkan setiap harinya, serta mengukur kecepatan angin di Pulau Parang. Untuk mendekati hasil sempurna dilakukan wawancara langsung kepada kepala pengelola pembangkit energi listrik Pulau Parang serta datang ke lokasi pembangkit dan dilakukan pengambilan sampel warga dengan metode wawancara guna mengetahui peralatan-peralatan elektronik yang digunakan dan biaya yang dikeluarkan masyarakat untuk memenuhi kebutuhan listrik sehari-hari.

Setelah data sekunder diperoleh tahap selanjutnya adalah penentuan biaya langsung dan biaya tidak langsung yang dibutuhkan dalam proses penelitian, seperti biaya modal, biaya perawatan, biaya operasional, biaya penggantian komponen, biaya penyimpanan, hingga penentuan nilai inflasi dan nilai *discount rate*.

Tahapan selanjutnya adalah analisa dan pembahasan terkait pra studi kelayakan rancang bangun pembangkit *hybrid* (surya-angin) di Pulau Parang.

IV. HASIL DAN ANALISIS

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 dikolaborasi 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.

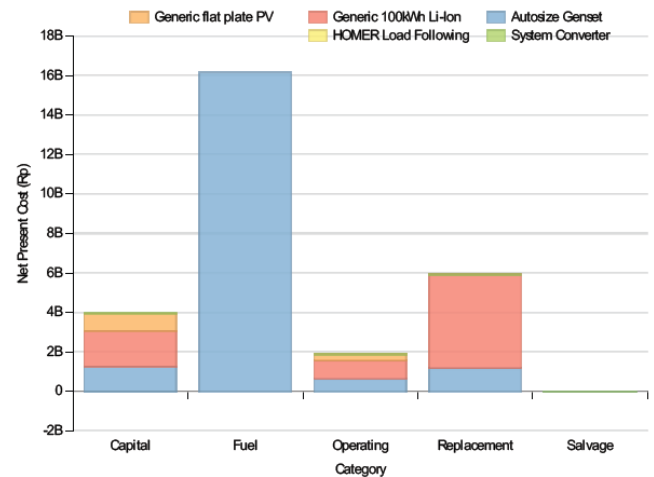
Perangkat lunak Homer menampilkan saran konfigurasi seperti pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa nilai NPC terendah senilai Rp.27,9 miliar dengan komponen tidak lengkap, yaitu PV, generator, baterai, konverter dan tanpa *wind turbin*, dengan modal awal (*initial capital*) senilai Rp.3,95 miliar. NPC tertinggi 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 1
SARAN YANG DITAMPILKAN DALAM PERANGKAT LUNAK
HOMER

Architecture	PV		
	Wind Turbin		
	Generator		
	Baterai		
	Converter		
	PV (kW)	350	350
	G1	-	1
	Gen (kW)	450	450
	100 Li	4	4
	Converter	55,0	55,0
Dispatch	LF	LF	
Cost	COE (Rp)	4.348	4.366
	NPC (Rp)	27,9 B	28,0 B
	Operating Cost (Rp)	1,29 B	1,30 B
	Initial Capital (Rp)	3,95 B	3,97 B
System	Ren. Frac (%)	43	43
	Production (kWh)	196.631	196.631
Gen	Fuel (L)	62.158	62.158
	O&M Cost (Rp)	33.660.000	33.660.000
	Fuel Cost (Rp)	870.213.760	870.213.760
	Capital Cost (Rp)	875.213.760	875.213.760
PV	Production (kWh)	572.790	572.790
	Capital Cost (Rp)	-	20.000.000
G1	Production (kWh)	-	371
	O&M Cost (Rp)	-	5.000.000
100 Li	Autonomy (hr)	8,1	8,1
	Annual Throughput (kWh)	123.672	123.532
Converter	Rectifier Mean Output (kW)	3	3
	Inverter Mean Output (kW)	21	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 1.



Gambar 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 2
RINGKASAN BIAYA NPC

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

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 3
RINCIAN TOTAL BIAYA NPC SISTEM SELAMA PROYEK
BERLANGSUNG

Component	Capital (Rp dalam Juta)	Replacement (Rp dalam Juta)	O&M (Rp dalam Juta)	Fuel (Rp dalam Juta)	Salvage (Rp dalam Juta)	Total (Rp dalam Juta)
Generic flat plate PV	875	0	324,843	0	0	1.199,843
Autosize Genset	1.260	1.172,412	624,812	16.153,305	-5,820	19.204,709
HOMER Load Following	0	0	0	0	0	0
Generic 100 kWh Li-ion	1.800	4.748,430	928,123	0	0	7.476,553
System Converter	19,250	17,283	20,419	0	-11,115	45.836,338
System	3.954,250	5.938,125	1.898,197	16.153,305	-16,935	27.926,941

TABEL 4
HASIL PRODUKSI MASING-MASING KOMPONEN PER TAHUN

Component	Productin (kWh/yr)	Percent (%)
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 5
HASIL KINERJA KELISTRIKAN SISTEM

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

Dari hasil kelistrikan yang ditunjukkan pada Tabel 5 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 6
BIAYA TAHUNAN DARI PENGGUNAAN KOMPONEN

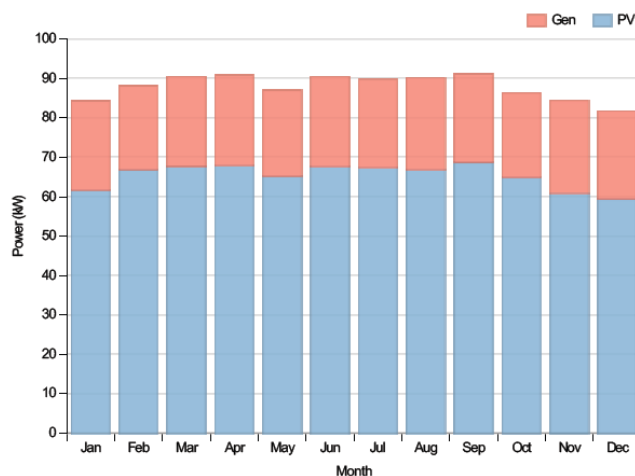
Component	Capital (Rp dalam Juta)	Replacement (Rp dalam Juta)	O&M (Rp dalam Juta)	Fuel (Rp dalam Juta)	Salvage (Rp dalam Juta)	Total (Rp dalam Juta)
Generic flate plate PV	47,138	0	17,500	0	0	64,638
Autosize Genset	67,878	63,160	33,660	870,213	-0,313	1.034,599
HOMER Load Following	0	0	0	0	0	0
Generic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

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 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 7
RINCIAN HASIL SIMULASI PV

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	350	kW
Mean Output	65	kW
Mean Output	1,569,29	kW/d
Capacity Factor	18,68	%
Total Production	572.790	kWh/yr
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	335,68	kW
PV Penetration	165,54	%
Hours of Operation	4.388	hrs/yr
Levelized Cost	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 8
RINCIAN HASIL SIMULASI GENERATOR

Quantity	Value	Units
Hours of Operation	1.496	hrs/yr
Number of Starts	656	Starts/yr
Operational Life	10	Yr
Fixed Generation Cost	225.952,14	Rp/yr
Marginal Generation Cost	3.516,80	Rp/kWh
Electrical Production	196.631	kWh/yr
Mean Electrical Output	131	kW
Min. Electrical Output	113	kW
Max. Electrical Output	353	kW
Fuel Consumption	62.158	L/yr
Specific Fuel Consumption	0,32	L/kWh
Fuel Energy Input	611.636	kWh/yr
Mean Electrical Efficiency	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 9
RINCIAN HASIL SIMULASI BATERAI

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

V. KESIMPULAN

1. Melalui pra studi kelayakan rancang bangun pembangkit *hybrid* (surya-angin) di Pulau Parang menggunakan perangkat lunak Homer menunjukkan turbin angin tidak menjadi pilihan yang terbaik untuk di terapkan di Pulau Parang karena turbin angin menambah beban biaya investasi
2. Dari segi produksi energi listrik PV memproduksi energi listrik sebanyak 572.790 kWh/tahun atau sebanyak 74% dan generator memproduksi listrik 196.631 kWh/tahun atau sebanyak 26%
3. Dari hasil akhir simulasi perangkat lunak Homer menunjukkan bahwa PV membutuhkan biaya yang murah dari pada generator dan PV dapat menghasilkan energi listrik lebih banyak dari generator senilai 376.159 kWh/tahun.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arif Febriansyah Juwito, Sasongko Pramonohadi, & T. Haryono, "Optimalisasi Energi Terbarukan pada Pembangkit Tenaga Listrik dalam Menghadapi Desa Mandiri Energi di Margajaya", JURNAL ILMIAH SEMESTA TEKNIKA, Vol. 15, No. 1, 22-34, Mei 2012.
- [2] Kunaifi, "Program Homer Untuk Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Hibrida di Propinsi Riau", Seminar Nasional Informatika (semnasIF 2010), UPN Veteran Yogyakarta 22 Mei, 2010.
- [3] Homer Energy LLC. *Homer Pro* (On-line). Available at <http://www.homerenergy.com/software.html>, 2017.
- [4] Ahmad Jisaja. *Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)* (On-Line). Available at

http://www.sekedarposting.com/2014/01/pembangkit-listrik-tenaga-diesel-pltd_18.html, 2014.

- [5] Frans Daniel Sinaga. *Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)* (On-Line). Available at <https://franspower.wordpress.com/2015/08/29/pembangkit-listrik-tenaga-diesel-pltd>, 2015.
- [6] Politeknik Negeri Bandung, Jurusan Teknik Konversi Energi
- [7] Outlook Energi Indonesia. Pusat Teknologi Pengembangan Sumber Daya Energi. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. Kebijakan Energi Nasional Halaman 21, 2015.
- [8] Kementrian Keuangan, *Peraturan Menteri Keuangan (PMK) Nomor 93.PMK.011/2014 tentang Sasaran Inflasi Tahun 2016, Tahun 2017, dan Tahun 2018*, Juni. 2014.
- [9] Homer Energy, *Excess electricity*, (On-line) Available at https://www.homerenergy.com/support/docs/3.10/excess_electricity.html, 2017.
- [10] *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2016 Tentang Tarif Tenaga Listrik yang Disediakan Oleh PT Perusahaan Listrik Negara (PERSERO)* Luhut Binsar Pandjaitan, 2016.