

MODEL PEMBANGKITAN LISTRIK HIBRID PV-GENSET BERBASIS KOMUNAL DI PULAU KARIMUNJAWA

Gunawan¹, Suryani Alifah², Moh. Arif Raziqy³

^{1,2,3}Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung
Jl. Raya Kaligawe KM 4 Semarang
Email : gunawan@unissula.ac.id

Abstrak

Kebutuhan energi listrik masyarakat Pulau Karimunjawa saat ini di suplai oleh Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan total daya produksi 400kW dengan rasio elektrifikasi 55%. Kontinuitas daya PLTD terkendala oleh tingginya biaya bahan bakar dan suplai yang tidak kontinyu sehingga generator dioperasikan secara terbatas pada jam 17.00 – 06.00. Penelitian bertujuan membuat model pembangkitan - pembebanan dengan memanfaatkan potensi sinar matahari sebagai komplemen dari sistem eksisting.

Metodologi yang digunakan adalah pemodelan biaya tahunan dari system (Annual Cost of System) berdasarkan analisis pola beban harian untuk menentukan biaya energy per kWh. Pada model yang dibuat, sejumlah unit PV dioperasikan pada system. Proyeksi daya tambahan pada sistem memperhitungkan jumlah dan kapasitas unit modul solarcell, baterai dan inverter. Biaya investasi perangkat pada gilirannya menentukan harga tiap kWh energi listrik yang diproduksi, serta luaran mengenai polutan dan emisi dari pembangkit yang digunakan. Model pembangkitan dan pembebanan didukung aplikasi HOMER yang menyediakan berbagai fitur mengenai pemilihan berbagai komponen beserta biayanya sistem pembangkit hybrid.

Model pertama berupa penambahan kapasitas daya sebesar 100kW menggunakan PV ke sistem pada saat beban puncak dengan durasi 3 jam dan pemasokan daya pada siang hari selama 5jam dihasilkan dari total produksi sebesar 800kWh/hari dengan harga jual adalah Rp 3.900;/kWh. Model kedua berupa penambahan kapasitas daya sebesar 100kW ke sistem pada siang hari selama 10 jam dan saat beban puncak selama 3 jam, dengan total produksi sebesar 1400kWh/hari dengan harga jual Rp 3867/kWh. Secara umum model pertama mampu mereduksi polutan dan emisi sebesar 13% dan model kedua sebesar 27%,

Kata kunci : Pembangkit Hibrid; PV-Diesel; HOMER Energy; Karimunjawa

Pendahuluan

Pulau Karimunjawa merupakan bagian dari Kecamatan Karimunjawa yang terpisah cukup jauh dengan daratan Kabupaten Jepara. Penyediaan energilistrik di pulau tersebut disuplai oleh beberapa Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) yang berasal dari beberapa genset, dengan rasio elektrifikasi lokal cukup kecil hanya mencapai 55%. Jaringan listrik tersebut tidak terhubung dengan grid pulau Jawa, maka sistem kelistrikannya berdiri sendiri. Masalah utama kelistrikan di pulau Karimunjawa adalah keterbatasan penyediaan energi listrik oleh Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) yang hanya berkapasitas 400kW, sementara jumlah pengguna dan beban listrik tumbuh dengan pesat karena merupakan daerah pariwisata yang berkembang. [5][6]

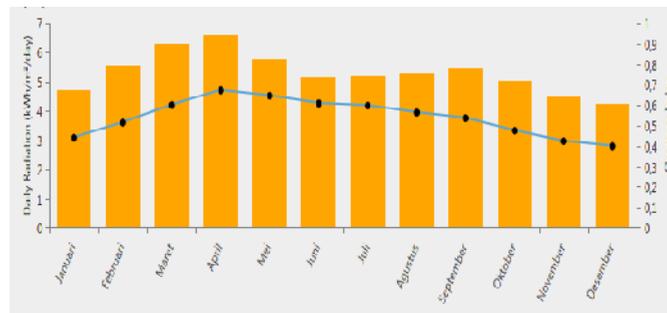
Selain kapasitas pembangkitan listrik yang kecil, kontinuitas suplai bahan bakar menjadi masalah besar terkait dengan harga bahan bakar dan pengangkutannya. Saat ini genset beroperasi mensuplai beban hanya pada sore sampai pagi hari, atau kurang lebih 13 jam setiap harinya sebagai langkah penghematan.

Selain rencana jangka panjang untuk membangun pembangkit dengan kapasitas yang besar oleh pemerintah, masyarakat dapat mengupayakan kebutuhan listrik secara mandiri. Penggunaan diesel kecil sebagai cadangan daya telah banyak dilakukan dan memiliki masalah yang sama karena tergantung dengan suplai bahan bakar fosil. Upaya pemanfaatan energi baru terbarukan dengan teknologi konversi yang tersedia di pasaran dapat dijadikan solusi alternatif. Potensi energiterbarukan yang tersedia di kepulauan Karimunjawa yang cukup besar adalah energi surya dan angin. Aplikasi Photo Voltaic (PV) sudah banyak digunakan, akan tetapi gagasan untuk membangun pembangkit listrik tenaga surya secara komunal perlu perhitungan secara cermat. Keberadaan genset yang tersedia menjadi basis perhitungan besarnya kebutuhan daya tambahan dan pola beban harian sebagai dasar kapan tambahan daya diperlukan.

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mendapatkan model pembangkitan dan pembebanan dengan pola kebutuhan listrik masyarakat setempat. Model sistem kelistrikan ini diharapkan memiliki fleksibilitas yang tinggi dalam perencanaan pengembangan pembangkit baru yang dikoneksikan ke sistem tenaga listrik. Kebutuhan jumlah daya tambahan pada waktu yang diinginkan dituangkan dalam konsep pembangkit hybrid PV-Genset. Konfigurasi sejumlah modul PV pada sistem ditujukan untuk memikul beban komunal. Total unit PV yang ada menggambarkan potensi daya listrik tambahan yang diinginkan. Komponen PV yang terdiri dari unit solar cell, baterai dan inverter memiliki kapasitas yang dapat disesuaikan kebutuhan dengan biayanya. Seluruh investasi yang dibutuhkan digunakan untuk melakukan prediksi jumlah produksi listrik dengan biaya energinya. [2][4] Cara penghitungan dan pemilihan komponen serta mengkoneksikan dengan pembangkit diesel yang tersedia merupakan sebuah model sistem tenaga listrik yang unik pada kasus di Pulau Karimunjawa.

Kelayakan Pembangkit Hybrid di Karimunjawa

Nilai rata-rata radiasi matahari global pada permukaan horisontal setiap jam per tahun dijadikan dasar perancangan sebuah sistem PV di lokasi yang ditentukan. Data sekunder radiasi matahari per jam yang diperoleh dari NASA menyebutkan bahwa energi matahari rata-rata tahunan yang akumulasi dari radiasi matahari harian pada permukaan horisontal untuk pulau Karimunjawa di lokasi 5°42' - 6°00' LS, 110°07' - 110°37' BT sebesar 5,23 (kWh/m²/d)[7]. Fluktuasi penyinaran matahari dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Potensi Intensitas Penyinaran Matahari Selama Setahun

Parameter Ekonomi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH), meliputi :

1. Biaya Net Total Saat Ini (*Total Net Present Cost*)

Biaya Net Total Saat Ini (*Total Net Present Cost/NPC*) merupakan parameter ekonomi yang paling utama untuk nilai suatu sistem PLTH. Total NPC dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut. [2][3][4]

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i, R_{proj})} \tag{1}$$

dimana :

- $C_{ann,tot}$ = total biaya tahunan (\$/tahun)
- $CRF()$ = faktor penutupan modal
- i = suku bunga (%)
- R_{proj} = lama waktu suatu proyek
- N = jumlah tahun

Sedangkan faktor penutupan modal bisa didapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \tag{2}$$

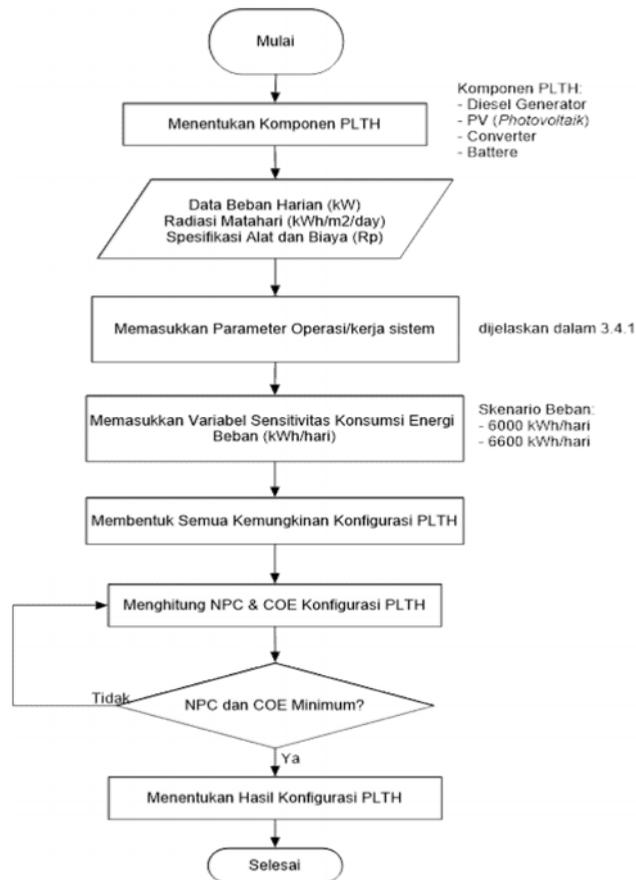
2. Biaya *Levelized Energi (Levelized Cost of Energy)*

Levelized Cost of Energy (COE) didefinisikan sebagai biaya rata-rata per kWh produksi energy listrik yang terpakai oleh sistem. Untuk menghitung COE biaya produksi energy listrik tahunan dibagi dengan total energi listrik terpakai yang diproduksi. Berikut adalah persamaannya [5].

$$COE = \frac{\text{total annualized cost}}{\text{consumption energy } \left(\frac{\text{kwh}}{\text{year}}\right)} \tag{3}$$

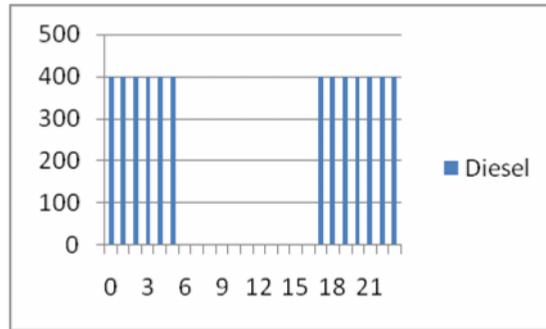
Metodologi Penelitian

Pemodelan dilakukan dengan menyusun skenario penambahan suplai daya pada waktu waktu yang dianggap strategis. Perencanaan sistem menggunakan *design tool* HOMER Energy sebagai perangkat lunak membuat model sistem pembangkitan - pembebanan. Metodologi yang digunakan adalah analisis skenarioterkait biaya tahunan dari system (*Annual Cost of System*) yang meliputi biaya modal (*Annual Capital Cost*), Biaya Operasi dan Perawatan (*Annual Operation Maintenace Cost*), Biaya penggantian komponen (*Annual Replacement Cost*), dan Biaya Kerusakan (*Annual Damage Cost*). Hasil akhir perhitungan biaya ini berupa konfigurasi Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid dengan langkah proses sebagai berikut.



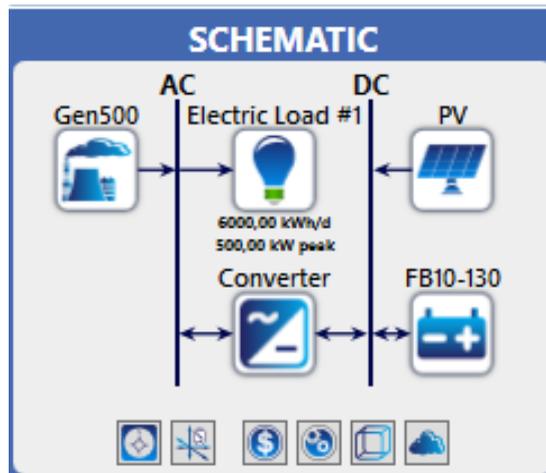
Gambar 2. Diagram alir kajian PLTH Karimunjawa

Data-data yang dibutuhkan antara lain, generator yang terdapat di P. Karimunjawa memiliki daya output 500kVA atau senilai bersih 400kW, untuk mensuplai sebanyak 850 pelanggan selama 13 jam mulai pukul 17.00 – 06.00. Pola beban diasumsikan flat tidak mengalami fluktuasi karena daya terserap seluruhnya selama durasi waktu tersebut, seperti di ilustrasikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Profil Daya Output Diesel P. Karimunjawa

Kondisi awal pembebanan adalah sesuai kapasitassuplai Generator 500kVA / 400kW. Pembebanan ini di asumsikan flat tidak mengalami fluktuasi beban listrik karena beban relatif stabil sesuai kapasitas maksimum genset. Genset mensuplai beban pada jam 17.00-06.00 selama 13 jam dan off dari grid pada jam 06.00-17.00. Skema dasar pembebanan dan pembangkitan energi listrik hanya menggunakan generator di pulau Karimunjawa. Disain dasar pembangkit listrik tenaga hibrid seperti Gambar 4.

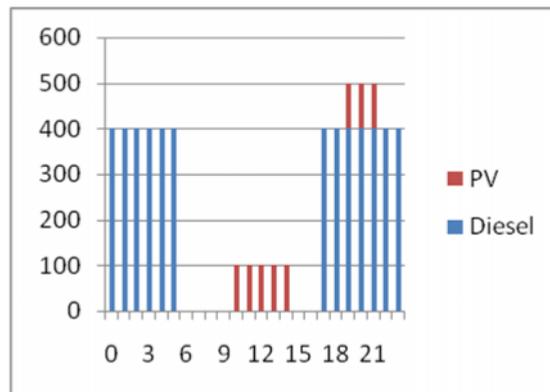


Gambar 4. Desain Pembangkit Listrik Hibrid di P. Karimunjawa dengan HOMER

Berdasarkan kondisi tersebut pemodelan pembangkitan-pembebanan sistem dapat dibuat secara terbuka, menentukan skala prioritas berdasarkan kapasitas, waktu dan durasi suplai daya listrik yang paling mendekati pola kebutuhan. Pola kebutuhan listrik masyarakat setempat disajikan dalam dua model. Model pertama, setting pembebanan pada jam 10.00 – 14.00, dengan beban listrik adalah 100 kW yang disuplai PV dan Generator mensuplai sebesar 400 kW selama jam 17.00 – 06.00. Pada saat beban puncak diharapkan dapat memikul 25% dari beban rata-rata harian yaitu sebesar 500 kW, 400 kW dari diesel dan 100 kW dari PV.

Hasil dan Pembahasan

Pada model pertama, didiskripsikan bahwa pada beban pagi-siang menggunakan PV dengan kapasitas 100 kW, baterai 100 kWh dan inverter 100 kW. Guna mensuplai beban puncak yang terjadi selama 3 jam, diperlukan penyimpanan daya sebesar 300 kWh. Asumsi energi maksimal cahaya matahari terjadi selama jam 09.00 – 14.00 yaitu 5 jam. Kapasitas PV 60 kW selama 5 jam menghasilkan output 300 kWh dengan kapasitas baterai 300 kWh dan inverter 100 kW. Total beban listrik di P. Karimunjawa 6000 kWh/hari, yang terdiri dari 5.200 kWh diesel dan 800 kWh PV. Kontribusi PV terhadap sistem adalah 13%. Skema pembebanan dan pembangkitan model pertama dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Skenario Pembebanan dan Pembangkitan Model 1

Tabel 1. Komposisi Model Pertama di PLTH P. Karimun Jawa

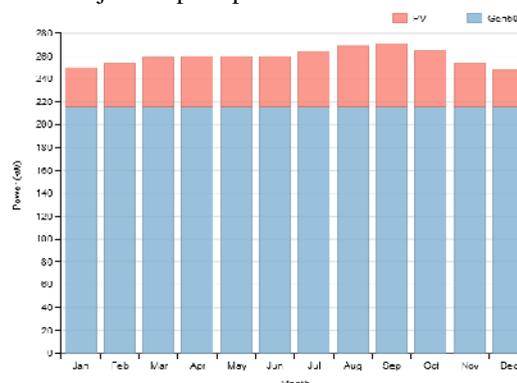
Komponen	Type	Jumlah	Unit
PV	Generic flat plate PV	250	kW
Generator	500kW Genset	400	kW
Battery	CELLCUBE® FB 10-130	82	Strings
Converter	System Converter	150	kW
Dispatch Strategy	Cycle Charging		

Tabel 2. Daftar Input Biaya Komponen

Componen	Capital (Rp)	Replacement (Rp)	O&M (Rp)
Generator	0	0	500.000/jam
PV Plat	17.080.000	0	500.000/thn
Battery Cell Cube	640.000.000	640.000.000	10.000.000/thn
Convertor (Inverter + Control)	1.600.000	0	500.000/thn

Setting Periode proyek PLTH ini selama 10 tahun. Biaya-biaya atau Total biaya pembangkit Hibrid ini akan di bagi menjadi 10 tahun sesuai lama proyek, jumlah biaya tahunan yang meliputi pengadaan komponen, penggantian komponen, biaya operasi pemeliharaan dan biaya bahan bakar akan di jumlah dan di bagi terhadap jumlah energi listrik yang di produksi hasilnya akan berpengaruh terhadap harga jual energi listrik tiap kWh. Biaya NPC total untuk model pertama adalah Rp 85.413.436.416.

Total produksi listrik model pertama 2.282.892 kWh/tahun yang terdiri dari PV 17% (384.892 kWh/tahun) dan diesel 83% (1.898.000 kWh/tahun). Produksi listrik bulanan Selama bulan Januari sampai Desember Diesel selalu konstant seperti pemodelan yang didesain flat menghasilkan listrik sebesar 216,7kW/bulan, sementara PV menghasilkan listrik terjadi fluktuasi berdasarkan tingkat pencahayaan matahari. Energi listrik yang dihasilkan adalah sebagai berikut: 34,0 kW; 38,2 kW; 44,0 kW; 44,2 kW, 44,9 kW; 44,4 kW; 48,2 kW; 53,4 kW; 55,3 kW; 49,1 kW; 38,8 kW; 32,5 kW. Untuk lebih jelas seperti pada Gambar 6.



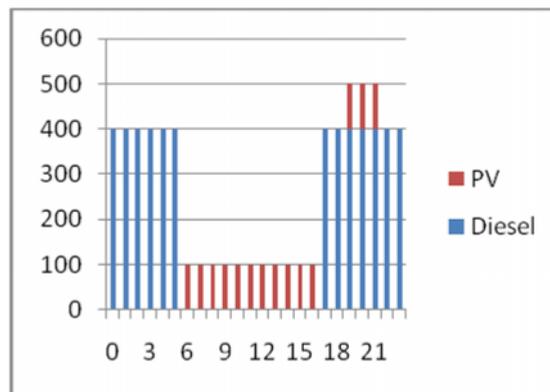
Gambar 6. Produksi listrik bulanan model pertama

Pada perencanaan model pertama dengan jumlah beban 6000kWh/hari seperti pada gambar 5 di suplai PV 13% (800 kWh/hari). Total biaya pengadaan komponen PLTH Rp 56.970.002.432; tidak ada biaya penggantian komponen, hal ini karena lamanya proyek adalah 10 tahun, peralatan tersebut masih berada dalam *lifetime* atau garansi, kecuali generator. Biaya operasi dan pemeliharaan semua komponen adalah Rp 12.572.498.944; Untuk biaya bahan bakar diesel selama 10 tahun adalah Rp 42.110.935.040,- dengan harga perliter adalah Rp 8.600; jumlah total kebutuhan pengadaan sistem adalah Rp 85.413.436.416; dibagi selama sepuluh tahun, maka biaya tahunan adalah Rp 8.541.343.872;. harga jual pemodelan pertama adalah Rp 3.900/kWh, ini diperoleh dari biaya operasi sistem tahunan Rp 8.541.343.872; dibagi terhadap jumlah konsumsi listrik yaitu 2.190.000 kWh/tahun.

Photo Voltaik 250 kW dengan output rata-rata 1054,50 kWh/hari, rata-rata 1kW menghasilkan 4.216 kWh/hari. Waktu oprasi PV berdasarkan data yang telah di input yang diperoleh dari NASA, yaitu selama 4.376 jam/tahun atau rata-rata sekitar 12 jam perhari. Harga *livelized cost* atau harga jual PV jika independent dari sistem adalah Rp 1.429 kWh/tahun, nilai ini didapat dari biaya total PV tanpa mengikut sertakan batere dan inverter Rp 549.999.992,- dibagi terhadap produksi PV pertahun 384.892 KWh/tahun.

Generator 400 KW beroperasi selama 4745 jam/tahun, produksi listrik 1.899.000 kWh/tahun. Biaya diesel jika independent terhadap sistem PLTH adalah Rp 2343/kWh. Kunsumsi bahan bakar sebesar 489.662 liter/tahun, dengan harga Rp 8.600/liter maka biaya konsumsi bahan bakar Rp 4.211.093.504;.

Model kedua dengan penambahan kapasitas PV terhadap sistem 21%, yaitu mengoperasikan listrik selama 24 jam dengan perincian PV mensuplai sebesar 100 KW dari jam 06.00-17.00 dan mensuplai pada beban puncak 100 kW dari PV , 400 kW dari diesel yang terjadi pada jam 19.00-21.00. Seperti model pertama diesel mensuplai dari jam 17.00-06.00 sebesar 400 KW.Pemodelan model kedua dapat di lihat pada gambar 7.



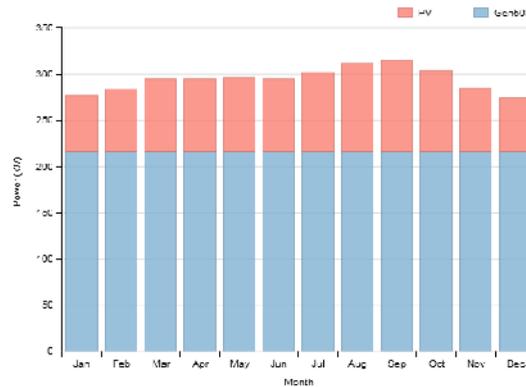
Gambar 7. Skenario Pembebanan dan Pembangkitan Model 2

Tabel 3. Komposisi Model kedua komponen PLTH P. Karimunjawa

Komponen	Type	Jumlah	Unit
PV	Generic flat plate PV	450	kW
Generator	500kW Genset	400	kW
Battery	CELLCUBE® FB 10-130	90	Strings
Converter	System Converter	150	kW
Dispatch Strategy	Cycle Charging		

Jumlah unit dari PV pada model kedua lebih besar yaitu 450 kW, jumlah baterai 90 buah, sementara generator dan inverter tetap sama. Sehingga biaya *capital* dan total sistem mengalami kenaikan. Total biaya sistem Rp 93.173.436.416;., sedangkan biaya tahunan sistem adalah 9.317.343.616.

Total produksi listrik pada model kedua adalah 2.590.807 kWh/tahun, yang terdiri dari PV 26,74% (692.807 kWh/tahun) dan Generator 73,265 (1.898.000 kWh/tahun). Produksi listrik diesel generator perbulan rata-rata selama setahun adalah 216,7 kWh. Sedangkan produksi PV bervariasi bergantung tingkat radiasi sinar matahari yang terjadi di Pulau Karimunjawa. Fluktuasi dari daya yang dihasilkan terlihat seperti Gambar 8.



Gambar 8. Produksi listrik bulanan model dua

Pada model kedua dengan menambah waktu suplai menjadi 24 jam seperti pada Gambar 7, pembebanan pada pagi hari sampai sore 100 KW dan malam hari sama seperti semula. Besaran komponen pembangkit generator 400 KW, PV 450 KW, Inverter 150 KW, dan Battrey 90 buah. Total jumlah beban 6600 kWh/hari, PV mensuplai 21% (1.400 kWh/hari). Biaya pengadaan peralatan Rp 65.490.001.920; Seperti pada model pertama biaya pengantian komponen di tiadakan juga. Biaya operasi dan pemeliharaan Rp 14.372.499.456; Biaya bahan bakar adalah Rp 42.110.535.040; Jumlah total biaya selama proyek adalah Rp 93.173.436.416; Biaya tahunan total sistem adalah Rp 9.317.343.616; denga konsumsi listrik sebesar 2.409.000 kWh/tahun, sehingga harga jual Rp 3867/kWh.

Pada model kedua harga *levelized cost* PV adalah Rp 1.429/KWh. Biaya ini diperoleh dari total biaya tahunan PV tanpa biaya batere dan inverter Rp 989.999.968; di bagi dengan produksi listrik 692.807 KWh/tahun. Sedangkan biaya produksi generator seperti pada model pertama.

Berdasarkan sistem *default* dari HOMER untuk generator 500 KVA / 400 KW menghasilkan emisi seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Polutan dan Emisi dari Pembangkit Diesel

Pollutant	Emissions	Units
Carbon dioxide	1289441	Kg/yr
Carbon monoxide	3183	Kg/yr
Unburned hydrocarbons	353	Kg/yr
Particulate matter	240	Kg/yr
Sulfur dioxide	2589	Kg/yr
Nitrogen oxide	28400	Kg/yr

Tabel 5. Potensi Polutan dan Emisi direduksi dengan PV

Pollutant	Scenario 1	Scenario 2	Units
	13% PV	27% PV	
Carbon dioxide	167627.33	348149.07	Kg/yr
Carbon monoxide	413.79	859.41	Kg/yr
Unburned hydrocarbons	45.89	95.31	Kg/yr
Particulate matter	31.2	64.8	Kg/yr
Sulfur dioxide	336.57	699.03	Kg/yr
Nitrogen oxide	3692	7668	Kg/yr

Penggunaan pembangkit PV sebagai pendukung dalam pemenuhan energi listrik secara hybrid dapat mengurangi potensi emisi gas buang berupa polutan dan emisi sebesar 13% untuk skenario 1 dan 27% untuk skenario 2 dari potensi emisi yang dikeluarkan oleh pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) yang terinstall, dengan komposisi seperti dalam tabel 5.

Kesimpulan

Berdasarkan uraian analisis pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Model pertama dengan kontribusi ke sistem sebesar 8 jam operasi, untuk beban 5.200 kWh/hari dengan penambahan energi 800 kWh/hari., didapatkan energi listrik dengan harga sebesar Rp 3.900/kWh. Sementara pada model kedua memberi kontribusi 15 jam dengan tambahan energi listrik 6600 kWh/hari, mendapatkan energi listrik dengan harga Rp 3.867/kWh.
2. System Hybrid- berbasis komunal dengan beberapa pembangkit listrik tenaga surya secara terpusat dengan penggunaan bersama berpotensi mengurangi polutan dan emisi sebesar 13% pada scenario 1 dan 27% pada scenario 2 dari nilai emisi generator yg digunakan, dimana menunjukkan bagaimana pemenuhan kebutuhan listrik tanpa menambah masalah lingkungan.

Daftar Pustaka

- Asian Development Bank (2015), "Tarif Untuk Pembangkit Tenaga Angin dan PV Surya Atap di Indonesia", Jakarta: pp 12-22
- Kunaifi, (2010). "Program Homer untuk studi kelayakan pembangkit listrik Hibrida di Propinsi Riau", Seminar Nasional Informatika, UPN Veteran
- Herlina, (2009), "Analisis Dampak Lingkungan dan Biaya Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid di Pulau Sebesi Lampung Selatan", Universitas Indonesia.
- Gilman, P., Lambert, T. (2006), "Micropower System Modeling with HOMER", National Renewable Energy Laboratory of United States Government.
- , (2014), "Rencana Usaha Pembangkit Tenaga Listrik (RUPTL) 2015-2024 PT. PLN (Persero) Distribusi Jateng DIY." PT PLN
- , (2014), "Laporan Rasio Elektrifikasi 2014 PT. PLN (Persero) Distribusi Jateng DIY", PT. PLN