EPIC (Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control)
Teknik Elektro – Universitas Pamulang
Vol. 8, No. 1, Bulan Juni, Tahun 2025, Hal 42-52
http://openjournal.unpam.ac.id/index.php/jit
DOI: 10.32493/epic.v8i1.58181

pISSN 2615-0646
eISSN 2614-8595

Analisa Ekonomi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida PV – Diesel Genset berbasis Homer© berdasarkan Zona Iklim

Faraida Nafiri[1]
[1]*Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik , Universitas Pamulang*
[1]*Jl. Raya Puspitek No 46 Buaran Setu, Tangerang Selatan, Banten 15310, Indonesia*

[1]*dosen00253@unpam.ac.id*

INFORMASI ARTIKEL

diajukan : 25-11-2024
revisi : 05-01-2025
diterima : 11-05-2025
dipublish : 30-06-2025

ABSTRAK

Kombinasi antara fotovoltaik dan generator diesel dalam satu sistem pembangkit listrik tenaga EBT (Energi Baru Terbarukan) saling memberikan kelebihan dan mengisi kekurangan. Sistem fotovoltaik tidak membutuhkan bahan bakar, namun tinggi investasi dan bergantung keberadaan matahari. Di sisi lain, generator membutuhkan biaya operasional dan perawatan tinggi, namun rendah investasi dan dapat membangkitkan energi kapan pun dibutuhkan. Skenario sistem pembangkit hibrida PV-Diesel Genset mengatasi masalah biaya investasi fotovoltaik, dan operasional/perawatan generator yang tinggi. Fakta lain, pasokan listrik dari matahari membutuhkan sistem penyimpanan (baterai) agar sistem dapat terus membangkitkan energi. Namun baterai memiliki kelemahan dalam hal perawatan, membutuhkan operasional secara bijak, umur teknis pendek, prosedur daur ulang cukup rumit (terkait ketersediaan lembaga pengelola dan dampak limbah kimia beracun), dan investasi tinggi. Dengan sistem hibrida, ketergantungan terhadap baterai dapat dikurangi. Baterai hanya berfungsi sebagai buffer. Tujuan akhir penelitian adalah mencari solar-fraction yang optimal dan nilai ekonomis (mencakup biaya kapital, operasional, perawatan, penggantian, dan bahan bakar diesel) dalam perancangan sistem hibrida PV-Diesel Genset berdasarkan zona iklim.

Kata kunci: plts;, sistem plts hibrida; pltd; generator set diesel; homer; energi terbarukan' off grid system

PENDAHULUAN

Sistem on-grid atau grid-connected adalah istilah untuk koneksi pembangkitan listrik oleh PLN. Beberapa negara sudah menerapkan sistem insentif penjualan listrik ke jaringan listrik negara. Sistem on-grid tanpa menggunakan baterai memberi keunggulan lebih dalam hal pengurangan operasional dan perawatan baterai yang dirasa kurang efisien. Pada kenyataannya penyediaan listrik melalui jaringan PLN untuk daerah terpencil dirasa tidak ekonomis karena kendala jarak, sehingga merugikan dalam aspek biaya transportasi.

Sistem off-grid adalah suatu sistem pembangkitan listrik AC di suatu daerah, jika jaringan PLN tidak tersedia, atau karena investasi pembangkitan jaringan PLN terlalu

EPIC (Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control)
Teknik Elektro – Universitas Pamulang
Vol. 8, No. 1, Bulan Juni, Tahun 2025, Hal 42-52
http://openjournal.unpam.ac.id/index.php/jit
DOI: 10.32493/epic.v8i1.58181
pISSN 2615-0646
eISSN 2614-8595

mahal di daerah tersebut. Sistem ini sangat umum diimplementasikan di daerah-daerah terpencil. Salah satu keunggulannya adalah pasokan listriknya yang tidak terpengaruh oleh sistem pembangkit lain, atau independen. Dan karena kemampuannya menjangkau daerah yang sangat terpencil, menjadikannya relatif ekonomis disbanding biaya infrastruktur yang harus dikeluarkan untuk membangun sebuah jaringan listrik PLN.

Sistem off-grid yang disertai baterai sebagai cadangan dapat memberikan kehandalan pasokan listrik, tergantung dari letak daerah, kebutuhan, dan biaya. Salah satu kerugian dengan baterai sebagai penyimpan energi adalah ketergantungan sistem pada kondisi cuaca. Sehingga jika terjadi cuaca ekstrem di luar perancangan sistem yang mengakibatkan pasokan energi dari alam berkurang, maka mau tidak mau penggunaan energi oleh konsumen harus dikurangi. Sebaliknya, jika baterai dapat diisi penuh sementara energi yang dihasilkan melebihi kebutuhan, energi berlebih ini menjadi terbuang (biasanya pada kondisi tertentu kelebihan energi ini dapat dimanfaatkan sebagai pemanas air).

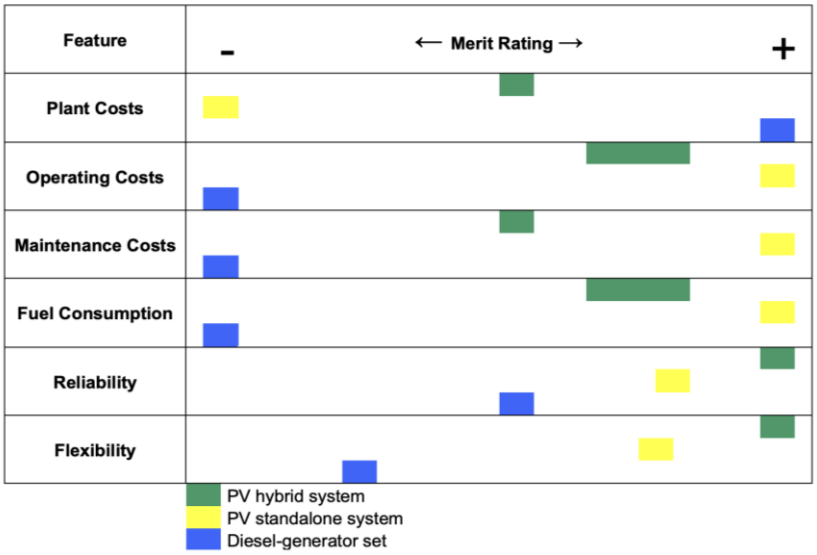
Namun masalah utama yang dihadapi dengan penyertaan baterai sebagai penyimpan energi adalah biaya investasi, perawatan, dan penggantian yang besar. Baterai yang khusus digunakan pada sistem pembangkit listrik tenaga terbarukan relatif mahal, dan membutuhkan perawatan khusus demi untuk menjaga keawetan umurnya.

Sistem Pembangkit Hibrida di daerah terpencil atau dikenal dengan Off-Grid Hybrid System adalah pembangkit dengan mengkombinasikan dua atau lebih sumber tenaga alternatif atau di Indonesia dikenal dengan istilah Energi Baru Terbarukan (EBT), dan terpisah dari jaringan PLN. Bisa berasal dari kombinasi dari energi matahari, angin, biomasa, mikrohidro, gas, atau juga dengan bahan bakar diesel. Misal, PV-DGS (*Photovoltaic–Diesel Genset*), PV–Wind–DGS, PV–Wind–Mikrohidro–DGS, dsb.

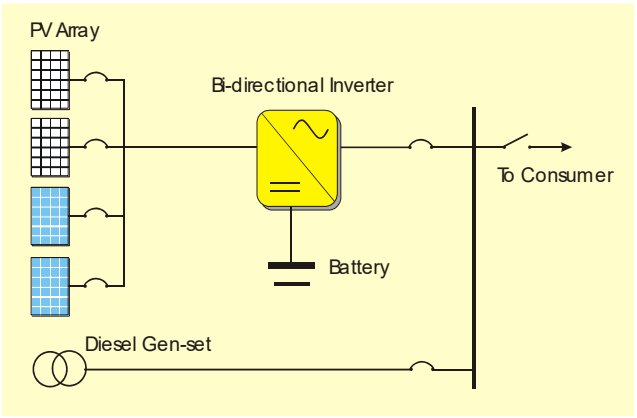
Fokus penelitian ini adalah Sistem Hibrida PV–Diesel Genset. Fotovoltaik atau panel surya memiliki biaya perawatan yang sangat rendah namun membutuhkan investasi besar, dan pembangkitannya bergantung pada radiasi matahari. Sedangkan generator membutuhkan biaya perawatan cukup tinggi meskipun investasinya relatif murah.

Kombinasi keduanya dalam satu sistem pembangkit hibrida akan memberikan nilai ekonomis, mengurangi konsumsi bahan bakar diesel, subsidi bensin, dan memperbaiki polusi lingkungan.

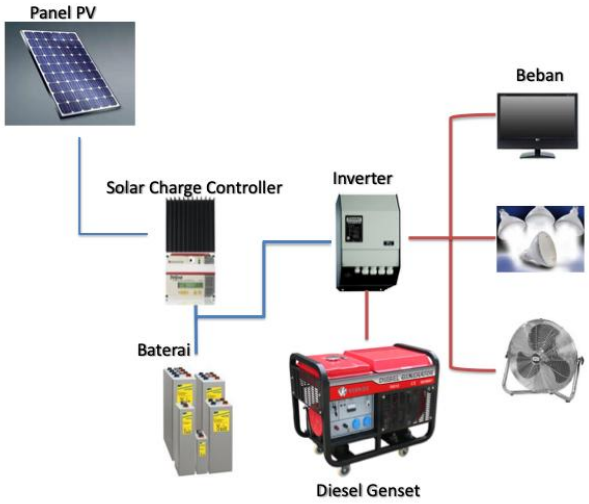
EPIC (Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control)
Teknik Elektro – Universitas Pamulang
Vol. 8, No. 1, Bulan Juni, Tahun 2025, Hal 42-52
http://openjournal.unpam.ac.id/index.php/jit
DOI: 10.32493/epic.v8i1.58181
pISSN 2615-0646
eISSN 2614-8595



Gambar 1. Kelebihan sistem hibrida PV-Diesel Genset secara Teknis dan Ekonomis



Gambar 2. Sistem Hibrida PV-Diesel Genset dengan Inverter *Bidirectional*



Gambar 3. Sistem Hibrida PV-Diesel Genset dengan Inverter Modular

Gambar 2 dan 3 mengilustrasikan skema hibrida PV-diesel genset. Salah satu kelebihan sistem hibrida PV–diesel genset adalah mengurangi konsumsi bahan bakar diesel kaitannya dengan meningkatnya harga bahan bakar diesel, menipisnya cadangan dunia, ditambah dengan kontribusi emisi gas buangnya terhadap lingkungan.

Kombinasi panel surya fotovoltaik dengan operasi generator mampu mengoptimisasikan sistem pembangkit. Pasokan listrik diberikan oleh panel pembangkit. surya pada saat matahari bersinar, yang disalurkan ke baterai untuk digunakan pada pagi hingga malam. Generator hanya beroperasi pada saat beban puncak di malam hari, atau hanya jika dibutuhkan saat mendung berhari-hari. Dengan sistem ini listrik selalu tersedia, tanpa generator diesel beroperasi secara konstan.

EPIC (Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control)
Teknik Elektro – Universitas Pamulang
Vol. 8, No. 1, Bulan Juni, Tahun 2025, Hal 42-52
http://openjournal.unpam.ac.id/index.php/jit
DOI: 10.32493/epic.v8i1.58181
pISSN 2615-0646
eISSN 2614-8595

METODOLOGI

Energi dari radiasi matahari setelah dikonversi ke listrik DC (arus searah), energinya kemudian disimpan ke baterai melalui charge controller. Energi yang tersimpan tersebut disuplai ke beban saat dibutuhkan, setelah dikonversi melalui inverter menjadi AC (arus bolak-balik).

Inverter memonitor kondisi *State-of-Charge* (SOC) baterai. Pada saat batas bawah tegangan baterai tercapai, sinyal akan diberikan untuk menyalakan generator yang kemudian beroperasi untuk mengisi baterai, sekaligus mensuplai listrik beban. Pada saat batas atas tegangan baterai tercapai, inverter memberikan sinyal untuk mematikan generator.

Listrik yang disuplai ke konsumen biasanya dalam bentuk AC, untuk itu inverter harus mampu mengkonversikan energi dengan kualitas yang sesuai kebutuhan transmisi listrik ke konsumen. Secara umum, inverter dikenal juga sebagai konverter yang mengubah listrik DC ke AC.

Konfigurasi umum sistem hibrida fotovoltaik/generator diesel, adalah masing-masing panel surya mampu mengisi generator keduanya mengisi batere. Konfigurasi seperti ini untuk mengoptimisasi fungsi kedua sumber listrik tersebut pada operasi normal.

Pada sistem pembangkit hibrida, fotovoltaik–generator, panel surya dirancang untuk mensuplai beban pada kondisi normal, yaitu pada siang hari atau saat matahari bersinar. Generator hanya digunakan beroperasi hanya pada saat cuaca mendung berhari-hari, pada beban puncak malam hari, dan pada saat beban tinggi di luar kebiasaan. Generator hanya beroperasi sebentar, dan bekerja 80–90% dari daya maksimumnya. Kondisi ini akan mengurangi frekuensi perawatan dan menekan biaya bahan bakar diesel, serta memperpanjang umur generator.

Rancangan sistem hibrida bergantung pada distribusi beban yang harus disuplai oleh generator dan panel surya. Semakin besar kapasitas panel surya, semakin kecil jam operasi generator.

Sistem hibrida membutuhkan baterai yang lebih kecil kapasitasnya dibanding sistem fotovoltaik standalone. Hal ini dikarenakan generator yang mampu mempertahankan SOC baterai di atas batas yang direkomendasikan.

Dalam penelitian ini, digunakan beberapa informasi mengenai kendala teknis, tipikal iklim, dan beberapa implementasi sistem yang sudah ada di 3 benua; Asia, Eropa, dan Australia. Informasi tersebut didapat melalui korespondensi dengan beberapa narasumber di tiga benua tersebut.

Penelitian lapangan juga dilakukan penulis melalui beberapa instalasi sistem yang sedang maupun lampau yang sudah terpasang di berbagai pelosok kepulauan Indonesia.

Pendekatan lain yang digunakan adalah penyebaran kuesioner ke beberapa korespondensi di tiga benua tersebut demi menaksir tipikal aplikasi off-grid, profil beban, dan besar kebutuhan energi.

Data-data yang terkumpul menjadi input kalkulasi dan simulasi sistem. Parameter-parameter penting lainnya adalah radiasi matahari untuk 4 zona iklim dan biaya sistem (mencakup biaya kapital, operasional, perawatan, penggantian, dan bahan bakar diesel).

Simulasi sistem menggunakan piranti lunak HOMER dengan plot skenario sebagai berikut:

- Porsi fotovoltaik dalam pembangkitan;
- Variasi jam operasional generator;
- Variasi harga bahan bakar diesel;
- Variasi radiasi matahari;
- 1-hari otonomi untuk sistem penyimpanan energi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancangan sistem hibrida bergantung pada distribusi beban yang harus disuplai oleh generator dan panel surya. Semakin

EPIC (Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control)
Teknik Elektro – Universitas Pamulang
Vol. 8, No. 1, Bulan Juni, Tahun 2025, Hal 42-52
http://openjournal.unpam.ac.id/index.php/jit
DOI: 10.32493/epic.v8i1.58181
pISSN 2615-0646
eISSN 2614-8595

besar kapasitas panel surya, semakin kecil jam operasi generator.

Tabel 1. Hasil Kuesioner Informasi beberapa proyek Hibrida PV-Diesel Genset terimplementasi di beberapa Negara Eropa dan Amerika (GRE = Greece; CYP = Cyprus; FRA = France; MEX = Mexico)

Category of Application	Inverter Power Class																			
	1500-5000 W					5000-10000 W					10000-15000 W					15000-45000 W				
	GRE	CYP	FRA	USA	MEX	GRE	CYP	FRA	USA	MEX	GRE	CYP	FRA	USA	MEX	GRE	CYP	FRA	USA	MEX
1 Public/Development	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 Residential/Private	200	15	0	1500	0	80	10	2	85	0	0	0	3	0	0	5	0	0	0	0
3 Commercial	0	0	2	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 Professional	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data hasil kuesioner dijelaskan pada tabel 1 berisi informasi proyek–proyek yang sudah diimplementasikan di Yunani, Perancis, Siprus, dan beberapa negara lainnya serta di beberapa negara USA dan Meksiko. Informasi pada tabel berbeda menggambarkan kondisi kebutuhan yang berbeda di tiap negara. Koleksi data ini tidak dibatasi oleh kurun waktu. Data jumlah sistem terpasang berasal dari database proyek atau berdasarkan perkiraan perhitungan unit penjualan.

Kategori beban berdasarkan data kuesioner:

1. Publik / Pengembangan
   a. Pembangkit listrik pedesaan skala kecil: untuk 20–50 KK;
   b. Pembangkit listrik pedesaan skala besar: 100 KK atau lebih;
   c. Pembangkit listrik untuk fasilitas umum, misalnya sekolah dan puskesmas.
2. Tempat Tinggal / Pribadi: Konsumen utama adalah pemilik rumah pribadi.
3. Komersial
   a. Peternak dan pemilik hotel adalah target aplikasi kategori ini, yang biasanya dipasang untuk kebutuhan:
      • Sistem pompa air;
      • Tempat tinggal komersial, misalnya hotel dan peternakan;
   b. Workshop, perkantoran, dan toko.
4. Profesional.
   a. Pembangkit listrik untuk proses produksi, antara lain desalinasi air, proses makanan, mesin listrik, penerangan, dsb;
   b. Sistem pembangkit untuk Base Transceiver Station (BTS), stasiun repeater telepon/TV.

Kelima kategori di atas kemudian disederhanakan menjadi 6 profil beban utama:

1. Rumah tangga;
2. Sekolah;
3. Pusat pelayanan kesehatan;
4. Hotel/penginapan;
5. Peternakan;
6. Perkantoran/pusat perbelanjaan/bengkel.

Simulasi HOMER membutuhkan beberapa parameter berupa besar kapasitas panel surya, kapasitas generator, jam operasional generator, kapasitas batere, radiasi matahari, biaya kapital tiap komponen, dan biaya bahan bakar.

Data radiasi matahari wilayah-wilayah di Tabel 2 diambil dari data NASA Surface Meteorological dan situs energi matahari.

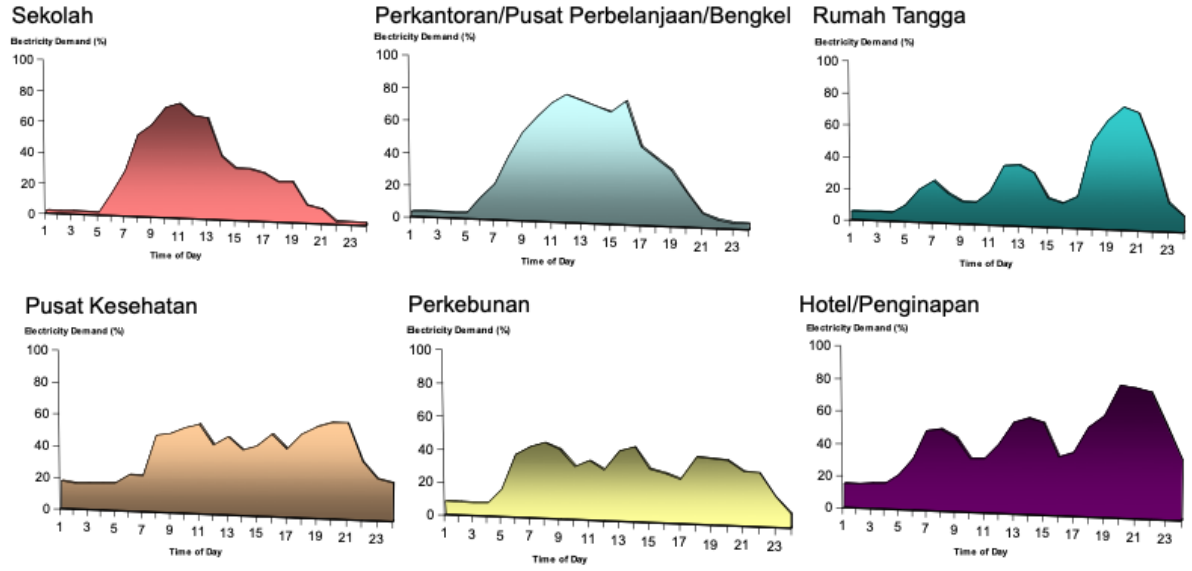
Tabel 2. Data Radiasi dari Lokasi Rujukan

	Wilayah	Lintang	Bujur	Radiasi Surya (kWh/m^2/tahun)
Zone 1	Swedia	60°5 U	14°9 T	2.49

EPIC (Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control)
Teknik Elektro – Universitas Pamulang
Vol. 8, No. 1, Bulan Juni, Tahun 2025, Hal 42-52
http://openjournal.unpam.ac.id/index.php/jit
DOI: 10.32493/epic.v8i1.58181
pISSN 2615-0646
eISSN 2614-8595

Zone 2	Jerman	47°59 U	7°49 T	3.25
Zone 3	Indonesia	5°19 U	106°22 T	4.70
Zone 4	Australia	24°51 S	120°42 T	5.91

Definisi biaya energi adalah biaya per kWh dari penggunaan energi listrik yang dihasilkan sistem. HOMER menghitung biaya energi dengan membagi biaya tahunan produksi listrik (total biaya tahunan dikurangi biaya yang dipakai beban termal) dengan total penggunaan energi listrik.



Gambar 4. Enam Tipikal Profil Beban

Biaya energi atau disingkat COE (Cost of Energy) dijelaskan dalam persamaan berikut:

$$COE\ (\$/\text{kWh}) = \frac{Total\ Biaya\ Tahunan\ (\$/kWh)}{Beban\ Listrik\ Tahunan\ (kWh/tahun)}$$

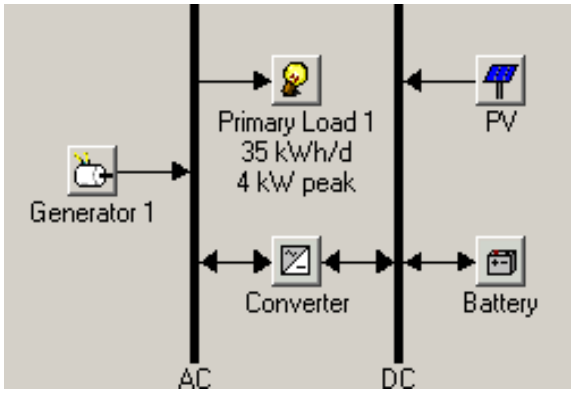
Dimana:
- Total biaya tahunan ($/tahun): Jumlah biaya investasi tahunan, penggantian tahunan, operasional dan perawatan tahunan, dan bahan bakar tahunan.
- Biaya kapital tahunan ($/tahun): Biaya tahunan tiap komponen sistem.
- Biaya penggantian tahunan ($/tahun): Nilai seluruh biaya penggantian tahunan, menentukan usia pakai proyek.
- Biaya operasional dan perawatan tahunan ($/tahun): Biaya operasional dan perawatan tahunan tiap komponen sistem.
- Biaya bahan bakar tahunan: Biaya bahan bakar tahunan.
- Biaya listrik tahunan (kWh/tahun): Kebutuhan listrik tahunan yang harus tersedia.

Net Present Cost (NPC) pada HOMER adalah besar biaya terkini dari penginstalasian dan operasional sistem selama usia pakai sistem. NPC dihitung berdasarkan persamaan:

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

Dimana:
$C_{ann,tot}$ = total biaya tahunan [$/tahun]
$CRF(i,R_{proj})$ = faktor pengembalian biaya kapital
I = persentase bunga [%]
R_{proj} = umur sistem [tahun]

EPIC (Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control)
Teknik Elektro – Universitas Pamulang
Vol. 8, No. 1, Bulan Juni, Tahun 2025, Hal 42-52
http://openjournal.unpam.ac.id/index.php/jit
DOI: 10.32493/epic.v8i1.58181
pISSN 2615-0646
eISSN 2614-8595

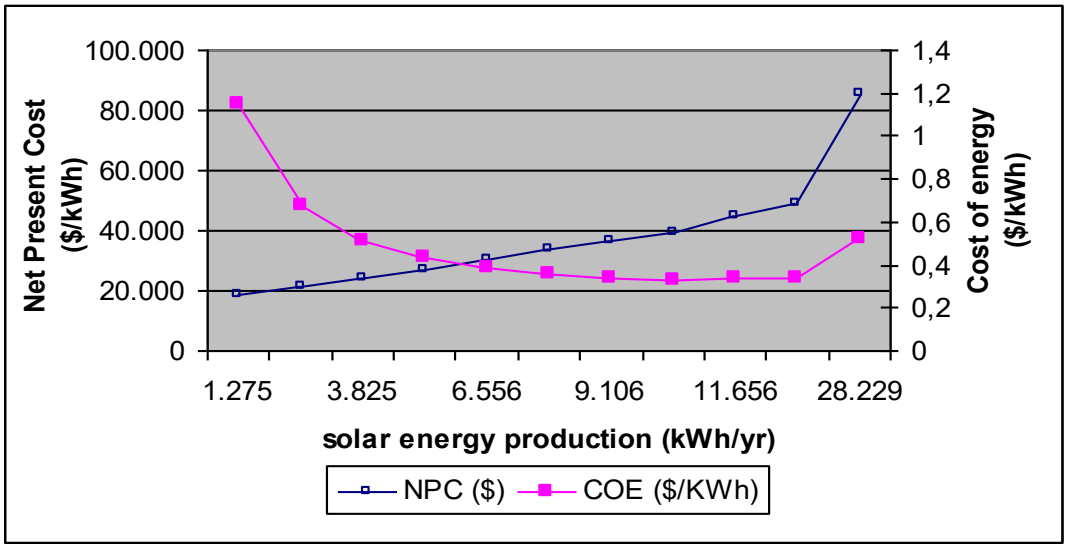


Gambar 5. Komponen Sistem Hibrida PV-Diesel Genset dengan Simulasi HOMER

Konsep COE adalah perhitungan biaya per kWh listrik per tahun. Namun jika sistem melayani beban listrik dan termal, kedua biaya sudah termasuk dalam NPC sebagai nilai total niaya proyek selama usia pakai sistem. Kombinasi kedua metrik ekonomi ini akan mengoptimisasi biaya proyek.

Studi ini mengurut hasil simulasi COE untuk mendapatkan biaya listrik. HOMER mengurut sistem secara ekonomis berdasarkan nilai NPC.

Sebagai ilustrasi, variasi produksi energi matahari dengan plot usia proyek 15 tahun, untuk memasok kebutuhan 12.867 kWh/tahun. COE untuk sistem tunggal fotovoltaik yang memproduksi 28.229 kWh/tahun memakan biaya 0,5195 per kWh listrik. Total NPC untuk sistem selama 15 tahun adalah 85.809 $. NPC terus meningkat sejalan dengan meningkatnya kebutuhan beban, namun nilai COE bergantung pada rasio biaya sistem dan kebutuhan listrik.



Gambar 6. Perbedaan antara NPC ($) dan COE ($/kWh)

Renewable fraction dalam sistem hibrida adalah porsi total produksi energi sistem yang dihasilkan oleh sumber energi terbarukan. HOMER menghitung porsi fotovoltaik sebagai renewable fraction dengan rasio produksi energi surya tahunan dan total energi yang dihasilkan sistem. Jika produksi energi total 15.359 kWh/tahun, dan produksi panel surya 6.556 kWh/tahun, porsi renewable fraction adalah 6.556/15.359 = 43%.

Persentasi produksi energi surya adalah porsi kebutuhan energi tahunan yang dipasok dari produksi energi panel surya tahunan. Jika kebutuhan energi tahunan sebesar 12.867 kWh/tahun, dan produksi panel surya tahunan 6.556 kWh/tahun, maka persentase produksi energi surya adalah 6.556/12.867 = 51%. Studi ini berdasarkan persentase produksi energi surya, untuk membantu mencari

EPIC (Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control)
Teknik Elektro – Universitas Pamulang
Vol. 8, No. 1, Bulan Juni, Tahun 2025, Hal 42-52
http://openjournal.unpam.ac.id/index.php/jit
DOI: 10.32493/epic.v8i1.58181
pISSN 2615-0646
eISSN 2614-8595

konfigurasi sistem hibrida yang paling ekonomis.

Unmet load fraction adalah proporsi total beban listrik tahunan yang tidak terpenuhi karena kurangnya pembangkitan listrik. Jika 100% renewable fraction bisa memasok 37% produksi energi surya, maka unmet load sebesar 63%. Total unmet load adalah total beban per tahun. Persamaan total unmet load fraction adalah:

$$f_{unmet}=E_{unmet}/L_{tot}$$

Dimana:
E_{unmet} = beban listrik yang tidak dapat disuplai [kWh/tahun]
L_{tot} = total biaya listrik tahunan [kWh/tahun]

Kebutuhan beban 12.867 kWh per tahun membutuhkan produksi sistem pembangkit listrik 12.867 kWh per tahun untuk memenuhi unmet load sebesar 0%.

Konfigurasi pembangkitan listrik menunjukkan dua plot. Simulasi diterapkan pada musim radiasi rendah di zona 4 dengan rata-rata radiasi 3,52 kWh/m²/hari. Grafik menunjukkan porsi produksi panel surya terhadap total produksi energi sistem per tahun. Porsi terendah yaitu 0,445 kWh/tahun dicapai saat porsi panel rendah.

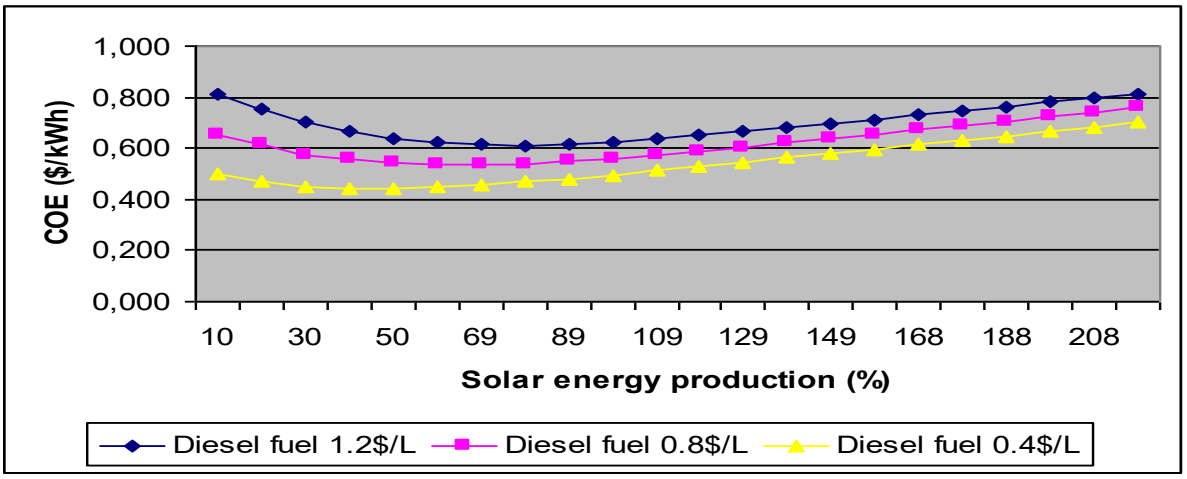
Parameter tetap untuk simulasi berdasarkan pada kebutuhan beban 35 kWh per hari, untuk 4 zona berbeda. Beban puncak rata-rata per jam sebesar 4 kW, sehingga dipilih generator 8 kW. Rincian biaya generator adalah sebagai berikut:

- Biaya bahan bakar: 0,4 – 1,2 $/liter
- Biaya investasi: $8.760
- Biaya instalasi: 25% dari biaya investasi
- Perbaikan rutin setiap 200 jam operasi: $175
- Overhaul setelah 5000 jam: $1.460
- Usia pakai generator: 15.000 jam

Inverter yang dipilih adalah inverter bi-directional 4 kW/48 Vdc. Efisiensi diasumsikan 95% dengan harga $4.964/kW. Usia pakainya 15 tahun dan biaya perawatan sudah termasuk dalam biaya perawatan generator.

Generator beroperasi beberapa jam saja dan pada beban puncak atau saat SOC baterai 30%. Generator dimatikan bila beban turun 30% dari kapasitas generator. SOC baterai diatur 30%, dengan kapasitas C10, dan dirancang untuk 1-hari otonomi.

Di skenario ini, generator hanya diijinkan beroperasi 4 jam di malam hari, dan sedikit porsi di siang hari hanya jika dibutuhkan yaitu saat produksi energi matahari tidak mencukupi atau pada saat musim hujan. Sistem harus memasok kebutuhan energi sekitar 12.876 kWh per tahun.



Gambar 7. Harga Bahan Bakar Diesel

EPIC (Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control)
Teknik Elektro – Universitas Pamulang
Vol. 8, No. 1, Bulan Juni, Tahun 2025, Hal 42-52
http://openjournal.unpam.ac.id/index.php/jit
DOI: 10.32493/epic.v8i1.58181
pISSN 2615-0646
eISSN 2614-8595

Gambar 7 menunjukkan bahwa harga bahan bakar diesel hanya sedikit mempengaruhi COE. Semakin tinggi harga bahan bakar, harga sistem pun bertambah secara eksponensial.

Perhitungan COE berdasarkan skema antara lain:

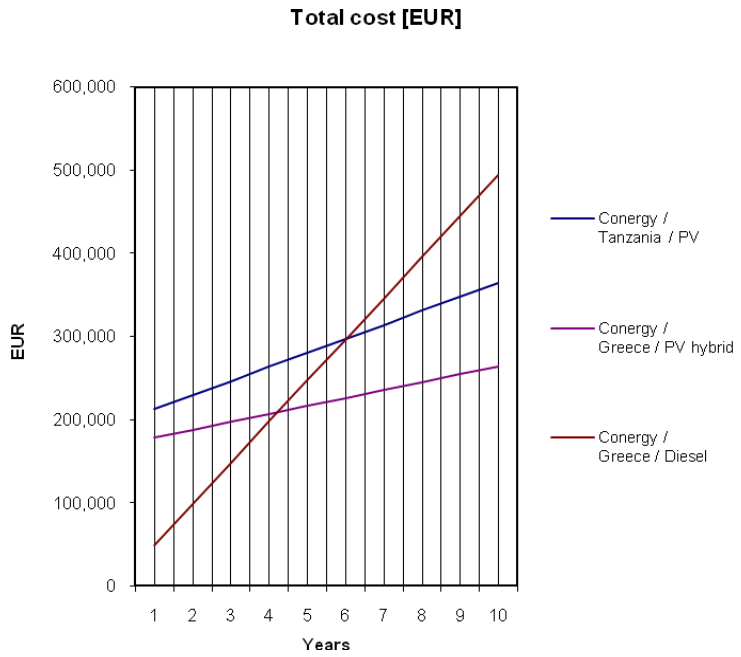
- Beban puncak saat tanpa radiasi surya (malam hari), disuplai dari generator. Baterai kapasitas kecil sebagai buffer di saat-saat tertentu.
- Beban puncak saat radiasi surya (pagi, siang, dan sore), disuplai dari panel fotovoltaik.

Gambar 10 menjelaskan hasil sistem dengan radiasi global 5,91 kWh/m²/hari, dan harga bahan bakar $0,40/L.

Gambar 13 mengilustrasikan peningkatan total biaya dari ketiga sistem: sistem generator, sistem tunggal fotovoltaik, sistem hibrida fotovoltaik–generator, selama 10 tahun usia proyek.

KESIMPULAN

Disain optimal sistem hibrida PV/Diesel-Genset antara 30 – 60% solar fraction, untuk semua kondisi. Dibutuhkan penelitian lebih rinci untuk wilayah dengan radiasi ekstrim rendah (zona 1). Sementara solar fraction lebih dari 80% tidak ekonomis, untuk semua kondisi.



Gambar Total Biaya selama Usia Proyek

Harga bahan bakar diesel berdampak kecil terhadap nilai ekonomis (*cost effectiveness*). Jika harga bahan bakar diesel melonjak drastis, genset dioperasikan pada waktu-waktu tertentu tahunan (peak season).

Membatasi durasi operasional genset memberikan dampak nilai ekonomis. Kalkulasi Berdasarkan solar fraction.

Sistem penyimpanan energi (baterai) dirancang dengan kapasitas kecil, dengan scenario 1-hari otonomi.

Setelah Sistem Hibrida PV/Diesel-Genset mencapai batas usia teknis (project lifetime), diesel-genset dapat ditiadakan dari sistem. Sistem berubah menjadi Sistem Standalone PV, dimana sistem menjadi ekonomis & kompetitif.

EPIC (Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control)
Teknik Elektro – Universitas Pamulang
Vol. 8, No. 1, Bulan Juni, Tahun 2025, Hal 42-52
http://openjournal.unpam.ac.id/index.php/jit
DOI: 10.32493/epic.v8i1.58181
pISSN 2615-0646
eISSN 2614-8595

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada para narasumber atas bantuan teknis:

1. Conergy AG Hamburg atas pendanaan penelitian dan penulisan.
2. Baeza, Francisco Javier Solis: Conergy Mexico S. de R. L. de C.V, de Mexico, Sales Europe ROW – Sales North America Department, Head of Sales, Mexico.
3. Budiono, Chayun: PT Gerbang Multindo Nusantara, Energy Technology & Services, Director, Indonesia.
4. Chrysostomou, Michael: Conergy Limited Limassol Cyprus, Sales Europe – Sales Cyprus – Technics Department, Head of Photovoltaic Department, Cyprus.
5. Chung, Donald: Conergy Inc. Denver, GTT PV-modules – Portfolio Management – Product Management Department, Product Manager, USA.
6. Guillou, Jean Marc: Conergy SAS Brignoles, Sales Europe – Sales France Department, Head of Technical Office, France.
7. Kasturi, Satyan: Conergy AG Hamburg, GTT Electronics – PM Off-grid Department, Business Developer Off-grid, Germany.
8. Kessler, Jan Oliver Kessler: Conergy AG Hamburg, GTT Electronics – PM Off-grid Department, Portfolio Manager Off-grid Products, Germany.
9. Lippkau, Anja: Conergy AG Hamburg, GTT Electronics – PM Off-grid Department, Product Engineer, Germany.
10. Mastorakis, Stavros: Conergy EPE Glyfada Athens, Sales Europe – Sales Greece – Technics Department, Technical Manager, Greece.
11. Perrin, Marion: Conergy AG Hamburg, GTT Electronics – PM Off-grid Department, Electrical Storage Expert, Germany.

DAFTAR PUSTAKA

O. Bach, D. Benchetrite, M. Le gall, E Mattera, M. Perrin. Optimization of charge parameters for lead-acid batteries used in photovoltaic systems, 2004.

Georg Bopp, Hans-Georg Puls, Dirk Uwe Suer: Least Cost Planning for Autonomous Energy Supply Systems, Fraunhofer Institute, 2006.

T. Gül: Integrated Analysis of Hybrid Systems for Rural Electrification in Developing Countries, Stockholm, 2004.

John M. Hawkin: Storage devices in PV system: latest developments, technology and integration problems (no year).

P. Kremer, -Dipl.-Ing, C. Mainka, Sebastian Schmitt, -Dipl.-Ing.: Photovoltaic Hybrid Systems Enhance Reliability of Power Supply, Siemens AG, Germany (no year).

Tom Lambert: National Renewable Energy Laboratory, HOMER programmer, Homer Help index, 2004.

S. Martel, D. Turcotte: PV Horizon: Workshop on Photovoltaic Hybrid Systems – Summary and Conclusions of the Workshop, Natural Resource Canada – CANMET, Energy Diversification Research Laboratory, Canada, November 2001.

P. Mints: Market Study: Analysis of Worldwide Markets for Photovoltaik Products and Five-Year Application Forecast. Report #NPS-Global1, April 2006. Copyright 2006 Navigant Consulting.

Andrew L. Rosenthal: Paper: PV Hybrid System Performance. Southwest Technology Development Institute, USA (no year).

EPIC (Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control)
Teknik Elektro – Universitas Pamulang
Vol. 8, No. 1, Bulan Juni, Tahun 2025, Hal 42-52
http://openjournal.unpam.ac.id/index.php/jit
DOI: 10.32493/epic.v8i1.58181
pISSN 2615-0646
eISSN 2614-8595