

## Analisa Teknis-Ekonomis Pemanfaatan Genset dan Panel Surya sebagai Sumber Energi Listrik Mandiri untuk Rumah Tinggal

Wayan G. Santika<sup>1, a\*</sup> dan Putu Wijaya Sunu<sup>1, b</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin - Politeknik Negeri Bali, Indonesia

<sup>a</sup>wayan.santika@pnb.ac.id, <sup>b</sup>wijayasunu@pnb.ac.id

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan analisa kelayakan teknis dan ekonomis dari pemanfaatan genset dan panel PV sebagai sumber energi listrik mandiri (*off-grid*) bagi sebuah rumah kecil. Penelitian ini bermaksud menjawab beberapa pertanyaan penting dalam pengembangan pemanfaatan energi terbarukan, yaitu: apakah pemasangan panel PV sebagai pembangkit listrik lebih ekonomis dibandingkan dengan genset? Jika tidak, dalam kondisi seperti apa panel PV dapat lebih ekonomis dibandingkan dengan genset? Untuk mempermudah dan mempercepat analisa, perangkat lunak HOMER (*micropower optimization model*) sebagai alat simulasi dan optimasi. Sistem power mikro ini akan terdiri atas sebuah genset, panel PV, baterai, dan konverter. Hasil analisa menunjukkan bahwa sumber listrik dari panel surya saja, genset saja, dan kombinasi genset dan panel surya layak secara teknis untuk dimanfaatkan. Hasil analisa juga menunjukkan bahwa, untuk harga panel dan bahan bakar saat ini serta kekurangan kapasitas tahunan (*annual capacity shortage*) diset nol, kombinasi genset dan panel PV sebagai sumber energi listrik yang paling ekonomis. Kombinasi ini lebih ekonomis dari panel PV saja atau genset saja. Namun ketika *annual capacity shortage* diijinkan sedikitnya 1% maka pembangkitan listrik dengan panel PV saja menjadi lebih menguntungkan daripada dengan kombinasi PV dan genset atau dengan genset saja, meskipun harga-harga bahan bakar dan panel tetap seperti saat ini. Nilai-nilai yang dibandingkan adalah nilai sekarang dari biaya (*total net present cost/NPC*) dan COE (*cost of electricity* atau ongkos produksi energi).

**Kata kunci** : Genset, Panel Surya, Listrik rumah tinggal, HOMER, *Net present cost*, COE.

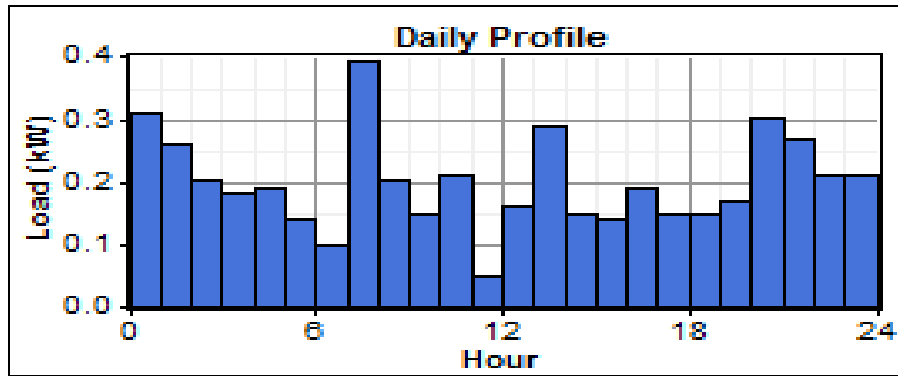
### Pendahuluan

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan analisa kelayakan teknis dan ekonomis dari pemanfaatan genset dan panel PV sebagai sumber energi listrik mandiri (*off-grid*) bagi sebuah rumah kecil. Penelitian ini bermaksud menjawab beberapa pertanyaan penting dalam pengembangan pemanfaatan energi terbarukan, yaitu: apakah pemasangan panel PV sebagai pembangkit listrik lebih ekonomis dibandingkan dengan genset? Jika tidak, dalam kondisi seperti apa panel PV dapat lebih ekonomis dibandingkan dengan genset? Untuk mempermudah dan mempercepat analisa, perangkat lunak HOMER (*micropower optimization model*) digunakan sebagai alat simulasi dan optimasi [1].

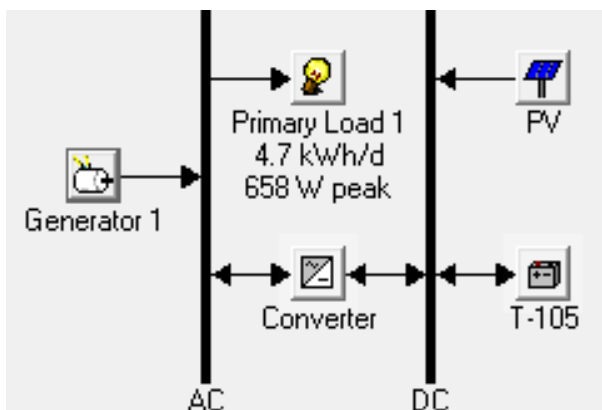
### Kajian Pustaka

HOMER menggunakan *total net present cost* (NPC) untuk membandingkan nilai ekonomi dari sistem-sistem daya yang dipertimbangkan. NPC adalah nilai sekarang dari total biaya yang dikeluarkan selama masa kerja sistem dikurangi dengan *total revenue* [2]. Biaya-biaya yang dimaksud termasuk biaya investasi, biaya penggantian, biaya operasional dan perawatan, dan biaya bahan bakar. Revenue biasanya berasal dari penjualan listrik ke PLN dan nilai penjualan dari peralatan ketika tidak digunakan lagi (*salvage value*).

NPC dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:



Gambar 1. Profil beban



Gambar 2. Sistem yang diusulkan

$$NPC = \frac{BTT}{FPM} \dots\dots\dots (1)$$

di mana *BTT* adalah biaya total tahunan (*total annualized cost*) dan *FPM* adalah faktor pengembalian modal (*capital recovery factor*) yang dihitung dengan persamaan berikut:

$$FPM = \frac{i(1+i)^n}{i(1+i)^n - 1} \dots\dots\dots (2)$$

dengan *i* adalah suku bunga riil tahunan dan *n* adalah umur proyek. Kadang-kadang lebih menguntungkan jika membandingkan kelebihan sistem menggunakan *levelized cost of energy (COE)*. *COE* dihitung dengan persamaan:

$$COE = \frac{BTT}{E_{prim} + E_{def} + E_{grid,sales}} \dots\dots\dots (3)$$

di mana  $E_{prim}$  adalah total beban primer yang dilayani per tahun,  $E_{def}$  adalah total beban tertunda yang dilayani per tahun, dan  $E_{grid,sales}$

adalah total listrik yang dijual ke PLN dalam setahun.

**Metodologi**

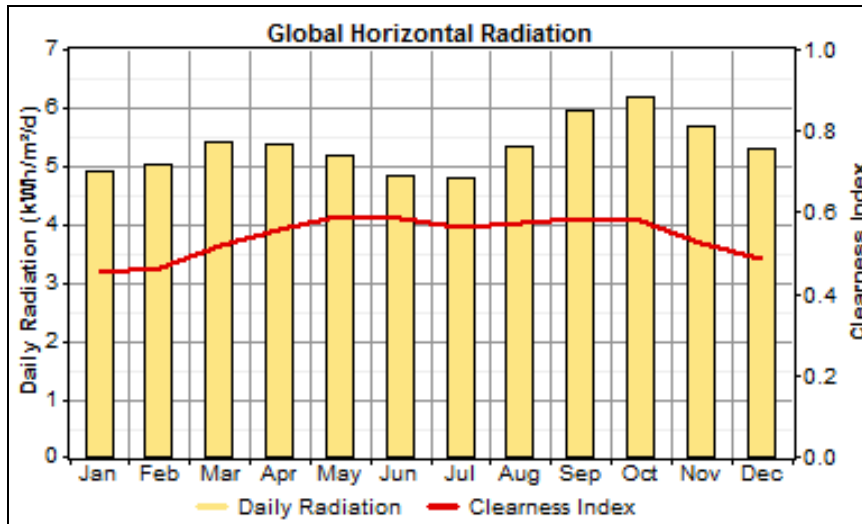
Agar simulasi dan optimasi dapat diproses, HOMER meminta pengguna untuk memasukkan informasi-informasi di bawah ini.

**Beban.** Beban diambil dari data konsumsi energi sebuah rumah kecil yang terletak di Bali dan diambil dari penelitian Santika dkk. sebelumnya (Gambar 1) [3]. Rumah tersebut dihuni oleh sebuah keluarga yang terdiri dari empat orang. Keluarga tersebut memiliki sebuah televisi, sebuah AC ½ PK, sebuah kulkas 80 watt, sebuah dispenser pemanas air, dan delapana lampu penerangan hemat energi.

**Peralatan.** Sistem power mikro ini akan terdiri atas sebuah genset, panel PV, baterai, dan konverter (Gambar 2).

**Genset.** Kapasitas genset yang dianalisa ada tiga, yaitu 0,9 kW, 1,8 kW, dan 2,5 kW. Harganya berturut-turut adalah 345 USD, 585 USD, dan 650 USD. Usia kerja genset diprediksi sekita 15000 jam dengan rasio beban minimum sebesar 30%. Bahan bakar genset adalah LPG atau gas alam seharga 0,73 USD/m<sup>3</sup>.

**Panel PV.** Panel surya diharapkan memiliki usia kerja 20 tahun dengan faktor *derating*, *slope*, *azimuth*, dan *ground reflectance* sebesar 90%, 8°, 180°, dan 20%. Harga panel diasumsikan sebesar 3000 USD/kW [4]. Panel yang direncanakan tidak memiliki tracking system. Panel PV yang dipertimbangkan adalah 1, 1,5, 2, 3, dan 4 kW.



Gambar 3. Rata-rata harian radiasi matahari dalam setahun

	PV (kW)	Gen (kW)	T-105	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Natural gas (m <sup>3</sup> )	Gen (hrs)
	1.0	0.9	12	0.5	\$ 5,345	403	\$ 9,616	0.526	0.80	0.00	154	648
	1.5		17	1.0	\$ 7,625	305	\$ 10,855	0.594	1.00	0.00		
		0.9	7	0.5	\$ 1,720	1,199	\$ 14,421	0.788	0.00	0.00	802	3,124

Gambar 4. Hasil optimasi terbaik untuk masing-masing kombinasi ketika *maximum annual capacity shortage* yang diijinkan sebesar 0%

**Baterai.** Baterai yang dipilih adalah Trojan T-105 dengan tegangan nominal 6V, kapasitas nominal 225 Ah (1,35 kWh), dan *lifetime throughput* 845 kWh. Asumsi harga sebuah baterai adalah 125 USD. Jumlah baterai yang dipertimbangkan adalah 5, 7, 10, 12,15,17 buah.

**Konverter.** Konverter memiliki usia kerja 15 tahun, efisiensi 90% saat mengubah arus DC menjadi AC, efisiensi 85% dari AC ke DC, dan harga 1000 USD/kW. Ukuran konverter yang dipertimbangkan adalah 0,5, 1, 2, dan 3 kW.

**Radiasi Matahari.** Data radiasi matahari didapatkan dari website milik NASA Surface Meteorology and Solar Energy [5]. Lokasi tempat data diambil adalah di Bali dengan koordinat 8° 48' lintang selatan dan 115° 8' bujur timur. Gambar 3 menunjukkan profil solar radiasi di lokasi.

**Asumsi-asumsi Ekonomi.** Asumsi yang kami pilih untuk bunga bang riil tahunan (*annual real interest rate*) adalah 7% [6] dengan usia proyek selama 20 tahun.

**Constrains.** Constrains adalah batasan-batasan yang harus dipenuhi oleh sistem agar dapat berfungsi dengan layak. Dalam hal ini kami membatasi bahwa *operating reserve* sebesar 10% dari beban per jamnya dan 25% dari output energi matahari.

### Hasil

Hasil simulasi HOMER menunjukkan bahwa sumber listrik dari panel surya saja, genset saja, dan kombinasi genset dan panel surya layak secara teknis. Gambar 4 menunjukkan hasil simulasi dan optimasi yang dilakukan HOMER. Hasil analisa ekonomis tersebut menunjukkan bahwa, untuk harga panel dan bahan bakar saat ini serta kekurangan kapasitas tahunan (*annual capacity shortage*) diset nol, kombinasi genset dan panel PV sebagai sumber energi listrik yang paling ekonomis. Hal ini dapat dilihat dari nilai NPC yang terkecil, dalam hal ini sebesar 9.616 USD. Kombinasi ini lebih ekonomis dari panel PV saja atau genset saja. NPC dari sistem dengan genset saja menjadi

paling besar (14.421 USD) meskipun nilai investasi awalnya paling kecil. Hal ini disebabkan karena biaya operasional dari sistem dengan genset sangat besar.

Sistem yang paling menguntungkan menurut hasil optimasi HOMER terdiri atas panel PV berkapasitas 1 kW, genset 0,9 kW, 12 baterai Trojan T-105 dan konverter 0,5 kW. Sistem ini membutuhkan investasi awal sebesar 5.345 USD, biaya operasional sebesar 403 USD/tahun, COE sebesar 0,526 USD/kWh, dan komposisi energi yang berasal dari sumber terbarukan sebesar 80%.

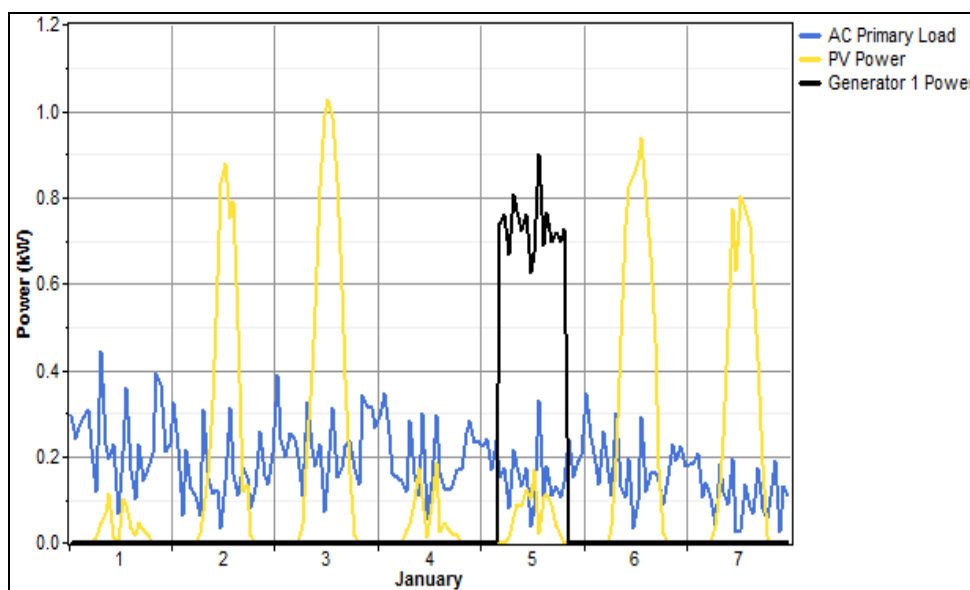
Namun ketika *annual capacity shortage* diijinkan sedikitnya 1% maka pembangkitan listrik dengan panel PV saja menjadi lebih menguntungkan daripada dengan kombinasi PV dan genset atau dengan genset saja, meskipun harga-harga bahan bakar dan panel tetap seperti saat ini (Gambar 5). Sistem ini menggunakan panel PV yang besarnya 1,5

kW, 15 baterai T-105, dan sebuah konverter 0,5 kW. Nilai investasi awal dari sistem ini terbesar dibandingkan sistem lain yaitu 6.875 USD, dengan biaya operasional terkecil yaitu 224 USD. NPC total dan COE dari sistem ini adalah, berturut-turut, 9.247 USD dan 0,507 USD.

Gambar 6 menunjukkan estimasi HOMER tentang bagaimana sistem dengan genset dan panel surya memproduksi energi listrik untuk memenuhi beban rumah tersebut. Beban bervariasi pada rentang 0 hingga 0,5 kW. Sementara itu daya yang diproduksi oleh panel PV dan genset bervariasi hingga maksimal sekitar 1 kW. Kelebihan daya yang diproduksi disimpan oleh baterai untuk digunakan saat beban lebih besar dari daya yang diproduksi. Tampak juga bahwa genset hanya bekerja satu hari dalam seminggu pertama di bulan Januari.

	PV (kW)	Gen (kW)	T-105	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Natural gas (m3)	Gen (hrs)
	1.5		15	0.5	\$ 6,875	224	\$ 9,247	0.507	1.00	0.01		
	1.0	0.9	12	0.5	\$ 5,345	403	\$ 9,616	0.526	0.80	0.00	154	648
		0.9	7	0.5	\$ 1,720	1,199	\$ 14,421	0.788	0.00	0.00	802	3,124

Gambar 5. Hasil optimasi terbaik untuk masing-masing kombinasi ketika *maximum annual capacity shortage* yang diijinkan sebesar 1%



Gambar 6. Perbandingan beban dan produksi eneri dari genset dan panel PV pada minggu pertama bulan Januari.

## Kesimpulan

Penelitian ini bermaksud menjawab beberapa pertanyaan penting dalam pengembangan pemanfaatan energi terbarukan, yaitu: apakah pemasangan panel PV sebagai pembangkit listrik lebih ekonomis dibandingkan dengan genset? Jika tidak, dalam kondisi seperti apa panel PV dapat lebih ekonomis dibandingkan dengan genset? Penelitian ini bertujuan untuk memberikan analisa kelayakan teknis dan ekonomis dari pemanfaatan genset dan panel PV sebagai sumber energi listrik mandiri (*off-grid*) bagi sebuah rumah kecil.

Hasil menunjukkan bahwa bahwa sumber listrik dari panel surya saja, genset saja, dan kombinasi genset dan panel surya layak secara teknis. Hasil analisa ekonomis menunjukkan bahwa, untuk harga panel dan bahan bakar saat ini serta kekurangan kapasitas tahunan (*maximum annual capacity shortage*) diset nol, kombinasi genset dan panel PV sebagai sumber energi listrik yang paling ekonomis. Namun ketika *maximum annual capacity shortage* diijinkan sedikitnya 1% maka pembangkitan listrik dengan panel PV saja menjadi lebih menguntungkan daripada dengan kombinasi PV dan genset atau dengan genset saja, meskipun harga-harga bahan bakar dan panel tetap seperti saat ini.

Hal ini menunjukkan bahwa *maximum annual capacity shortage* sangat berpengaruh terhadap kelayakan sebuah sistem pembangkitan listrik. Perubahan setting *maximum annual capacity shortage* dari 0% menjadi 1% telah menyebabkan perubahan dramatis terhadap kombinasi sistem yang dianjurkan oleh HOMER, yakni dari sistem dengan PV dan genset menjadi sistem dengan PV saja. *Maximum annual capacity shortage* sendiri dapat didefinisikan sebagai nilai kekurangan kapasitas terbesar yang diijinkan dalam setahun terhadap total beban listrik dalam tahun itu.

## Referensi

[1] T. Lambert, P. Gilman, P. Lilienthal, Micropower system modelling with HOMER, In: F.A. Farret, M.G. Simoes (Eds.), Integration of alternative sources of

energy, John Wiley & Son, Inc., 2006, pp. 379-418.

[2] W.G. Santika, Sudirman, I.N. Suamir, Feasibility Analyses of Grid/Wind/PV Hybrid Systems for Industrial Application, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, in press.

[3] W.G. Santika, P.W. Sunu, I.M. Arsawan, Feasibility Analysis of a Grid-connected PV System for Home Application, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, in press.

[4] US Department of Energy. 2014. Photovoltaic System Pricing Trends: Historical, Recent, and Near-Term Projections. Information on <http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/62558.pdf>. (diakses 25.07.2015).

[5] Informasi didapat dari NASA Surface Meteorology and Solar Energy. <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/> (diakses 25.07.2015).

[6] The World Bank. Informasi dari <http://data.worldbank.org/indicator/FR.INR.R.INR> (diakses 10.07.2015).