



Simulasi Energi dan Keekonomian Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk Fungsi *Peak Load Shaving* pada Bangunan di Lingkungan Kampus ITB

Received 21th April 2021
Accepted 22th April 2021
Published 24th Mei 2021

Open Access

DOI: 10.35472/jsat.v5i1.449

Irsyad Nashirul Haq^{*a}, Justin Pradipta^a, Muhamad Riezar Satria Sheba^a, Alief Widjoseno Damar Persada^a, F.X. Nugroho Soelami^a, Edi Leksono^a

^a Program Studi Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 40132

* Corresponding E-mail: irsyad@tf.itb.ac.id

Abstract: In this contribution, grid-tied solar PV system will be analyzed which is the part of a smart microgrid installation project in Center for Advanced Sciences (CAS) building in ITB Campus. Two systems will be considered, which are: 40 kWp PV system without storage, and 10 kWp PV system with battery storage system which is connected to critical load. Both systems were designed with peak shaving in mind which goal to minimize the imbalance of solar PV production and electricity demand. The systems analyzed through simulation based on their energy and economic performance using PVsyst and Homer software. Can be obtained from the simulation that the 40kWp system yields the performance ratio (PR) of 0.833, renewable fraction of 18.73%, and cost of energy (COE) of Rp. 1,251.85/kWh. Those values fulfill the business target of PR > 0.8, and COE < Rp 1.467,28/kWh but miss the RF > 35%. Whereas the simulation of the 10kWp system yields the PR of 0.77, the RF range of 44.38% to 52.19%, and COE values of Rp. 2,103/kWh to Rp 6,315/kWh in span of 20% - 80% depth of discharge. For the 10kWp system simulation, only the RF values fulfill the business target of 35%.

Keywords: solar PV, economic analysis, peak load shaving, performance ratio, renewable fraction, campus building

Abstrak: Pada paper ini, dilakukan simulasi produksi energi dan keekonomian dari sistem PLTS terintegrasi dengan jaringan listrik yang merupakan bagian dari proyek instalasi sistem *smart microgrid* di bangunan Center for Advanced Sciences (CAS) ITB. Terdapat dua sistem PLTS yang dianalisis yaitu sistem PLTS 40 kWp tanpa baterai, dan sistem PLTS 10 kWp dengan baterai yang terhubung ke beban kritis. Kedua sistem PLTS tersebut dirancang dengan tujuan *peak load shaving* yang dapat meminimalisir adanya ketidakseimbangan antara produksi energi surya dan permintaan listrik. Kedua sistem dianalisis dengan metoda simulasi berdasarkan aspek energi dan ekonomi menggunakan perangkat lunak PVsyst dan Homer. Dari hasil simulasi sistem PLTS 40 kWp didapatkan nilai *performance ratio* (PR) sebesar 0,833, *renewable fraction* (RF) sebesar 18,73%, dan *cost of energy* (COE) sebesar Rp 1.251,85/kWh yang mana nilai PR dan COE telah memenuhi target bisnis: PR > 0.8 dan COE < Rp 1.467,28/kWh tetapi tidak memenuhi target RF > 35%. Sementara dari hasil simulasi sistem PLTS 10 kWp didapatkan nilai PR sebesar 0,77, RF sebesar 44,38% hingga 52,19% pada rentang *depth of discharge* 20% - 80%, dan COE sebesar Rp 2.103/kWh hingga Rp 6.315/kWh pada rentang DoD 20% - 80% yang mana hanya nilai RF telah memenuhi target bisnis.

Kata Kunci : plts, keekonomian, *peak load shaving*, *performance ratio*, *renewable fraction*, bangunan kampus

Pendahuluan

Berdasarkan data Indonesia Energi Outlook 2019 [1], saat ini kebutuhan energi listrik di Indonesia yang dipenuhi oleh pembangkit-pembangkit listrik memiliki total kapasitas mencapai 64,5 GW. Dari total tersebut, sebesar 50% masih menggunakan sumber energi dari batu bara, gas alam sebesar 29%, BBM sebesar 7%, sementara itu sumber energi terbarukan hanya berkontribusi sebesar 14%. Persentase ini masih sangat jauh dari target Indonesia yang tercantum dalam

Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) bahwa Indonesia akan siap menggunakan 23% dari total produksi energi pada tahun 2025 yang berasal dari sumber energi yang dapat diperbaharui atau disebut juga Energi Baru Terbarukan (EBT)[2]. Salah jenis dari EBT adalah energi surya yang memiliki potensi besar di Indonesia.

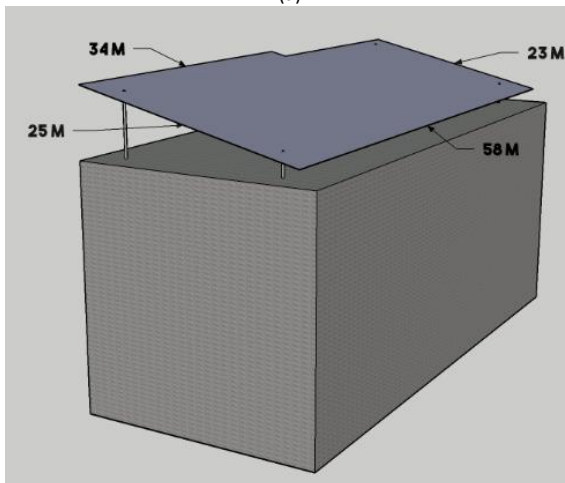
Wilayah Indonesia berada di garis khatulistiwa, yang artinya sinar matahari akan selalu bersinar di sepanjang tahun. Hal ini merupakan sebuah potensi yang harus



dimanfaatkan untuk pemanfaatan energi listrik. Maka dari itu keuntungan ini dapat dimanfaatkan oleh Indonesia untuk membuat Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai penyokong sumber energi yang dapat diperbaharui. Namun terdapat permasalahan di sistem PLTS dikarenakan sifatnya yang *intermittent* yaitu menjadikan adanya ketidakseimbangan antara produksi energi yang dihasilkan oleh PLTS dan permintaan energi dari sisi konsumen dan juga terkait dengan keekonomian dengan periode *return of invesment* yang panjang.



(a)



(b)

Gambar 1. Bangunan CAS (a) Tampak Depan (b) Dimensi Kanopi

Objek yang menjadi penelitian ini adalah bangunan Center of Advance Science (CAS) yang merupakan terletak di kampus ITB terletak di 6.888014 derajat lintang selatan dan 107.611309 derajat bujur timur.

Kanopi bangunan tempat pemasangan modul surya memiliki dimensi 58 m x 25 m dengan kemiringan kanopi sebesar 11.15° ke arah timur seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Kanopi ini digunakan untuk menopang sejumlah 120 buah modul surya pada sistem 40 kWp dan 48 buah modul surya pada sistem 10 kWp, dimana sumber daya komponennya merupakan bagian dari hibah Dinas EDSM Pemprov Jabar dan Kementerian Perindustrian RI. Dengan merujuk pada dokumen manual dari modul surya, didapat luas daerah kanopi yang ditutupi oleh susunan modul surya dari kedua sistem PLTS tersebut adalah sebesar 296,04 m².

Pada penelitian ini dilakukan simulasi energi dan keekonomian sistem PLTS terintegrasi pada bangunan untuk meminimalisir ketidakseimbangan antara produksi dan konsumsi energi surya dengan metode *peak load shaving* sehingga diperoleh rancangan manajemen energi yang dapat dilakukan pada bangunan. Sistem PLTS yang dianalisis terbagi menjadi dua bagian utama yaitu sistem PLTS 40 kWp untuk memenuhi kebutuhan beban bangunan sebagai fungsi *peak load shaving* tanpa baterai dan sistem PLTS 10 kWp yang dilengkapi sistem baterai untuk menangani beban listrik yang kritis. Target dari manajemen energi kedua sistem PLTS tersebut adalah diperoleh nilai *performance ratio* lebih besar dari 0,8 [3], nilai *renewable fraction* lebih besar dari 35% [4], dan nilai *cost of energy* lebih kecil dari Rp 1.467,28/kWh yang merupakan tarif tenaga listrik [5].

Metode

Peak Load Shaving merupakan metode manajemen energi untuk membuat profil konsumsi energi menjadi rata dengan mengurangi jumlah beban puncak atau dengan menggeser penggunaan beban listrik ke waktu beban yang lebih rendah [6].

Secara tradisional, *peak load shaving* telah diimplementasikan sebagai solusi *system-centric*, yang berarti hanya sistem yang akan diatur operasinya [7], [8]. Namun *peak load shaving* juga bisa menjadi solusi *human-centric* yang mengandalkan penggunaannya untuk melakukan perubahan [9]. Terdapat 5 metode untuk melakukan *peak load shaving*, antara lain: mengelola penggunaan beban secara manual, mengelola penggunaan beban menggunakan *controller*, menggunakan generator selama beban puncak, menggunakan sistem PLTS, dan menggunakan baterai dalam sistem PLTS.

Secara umum, pengisian baterai secara *cyclic* pada sistem PLTS memiliki waktu *charging* dan *discharging*. Waktu *charging* terjadi saat terdapat kelebihan energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya, sehingga bisa disimpan dalam baterai. Sementara waktu *discharging* baterai terjadi saat energi listrik dari baterai disalurkan untuk memasok beban. Pada baterai sistem PLTS, total kapasitas energi yang dapat digunakan oleh baterai disebut dengan *state of charge* (SoC). Kebalikan dari SoC adalah *depth of discharge* (DoD), yaitu nilai yang menunjukkan besarnya kapasitas baterai yang telah digunakan dalam satuan persen.

Besaran yang digunakan untuk mengevaluasi produksi energi rancangan PLTS antara lain *performance ratio* (PR) dan *renewable fraction* (RF). PR merupakan kemampuan sistem untuk menghasilkan energi berbanding dengan hasil teoretisnya, dimana dijelaskan dalam standard IEC 61724 [10], yang dapat dilihat pada persamaan (1) berikut.

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} = \frac{E_{AC}}{P_p} \cdot \frac{G_o}{H_t} = \frac{E_{grid}}{GlobInc \cdot Pnom} \quad (1)$$

Dimana Y_f merupakan hasil akhir produksi energi dalam satu waktu atau satu tahun, Y_r hasil berdasarkan referensi, E_{AC} merupakan keluaran nyata data listrik AC, P_p merupakan daya puncak sistem, G_o merupakan iradiansi global pada keadaan *standard test condition*, H_t merupakan iradiansi yang terjadi pada panel secara horizontal, E_{grid} merupakan energi listrik AC yang disalurkan ke jaringan listrik, G_{lobInc} merupakan iradiansi yang diterima oleh modul surya dan P_{nom} adalah daya nominal dari sistem PLTS. Pada penelitian ini analisis PR diperoleh dengan cara melakukan pemodelan dan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak PVSyst seperti digunakan pada beberapa sumber [11], [12] dan pada [13] simulasi PLTS pada bangunan akademik.

Faktor yang memengaruhi nilai PR antara lain rugi-rugi iradiansi, rugi-rugi termal, rugi-rugi konduksi, rugi-rugi transmisi, dan rugi-rugi akibat efisiensi *grid inverter*. RF merupakan besaran yang menunjukkan persentase beban yang dipenuhi oleh sistem PLTS [4], yang dapat dilihat pada persamaan (2) berikut.

$$RF = \frac{E_{sc}}{E_{load}} \times 100\% \quad (2)$$

Tingginya nilai RF menyebabkan sedikitnya energi listrik yang perlu dibeli dari PLN. Besaran yang digunakan untuk mengevaluasi rancangan PLTS dari sisi ekonomi

antara lain *Net Present Cost* (NPC), *Cost of Energy* (COE), dan *payback period* [14]. NPC merupakan total seluruh *present cost* yang terdiri dari biaya modal, biaya penggantian, serta biaya operasi dan perawatan sistem, yang dapat dilihat pada persamaan (3) berikut.

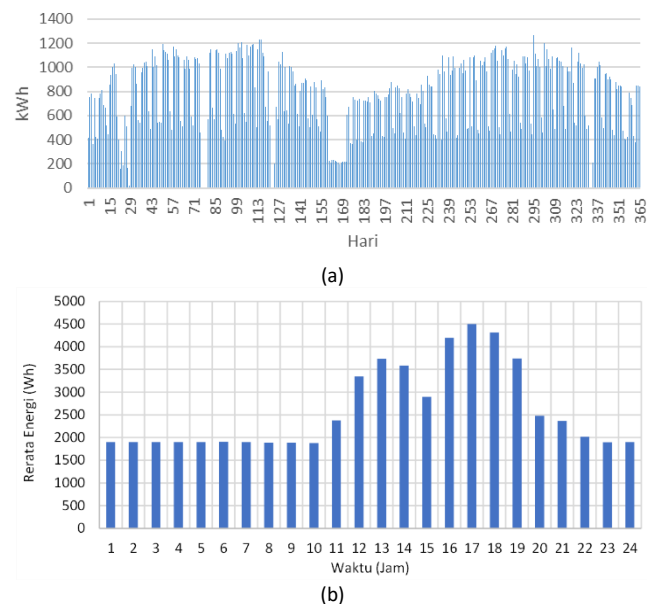
$$NPC = \frac{R_t}{(1+i)^t} \quad (3)$$

COE merupakan biaya listrik rata-rata per kWh. Besar COE dapat dicari dari total energi yang dihasilkan oleh pembangkit selama umur pakai dibagi dengan total biaya yang dikeluarkan selama umur pakai, yang dapat dilihat pada persamaan (4) berikut.

$$COE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (4)$$

Payback period merupakan perhitungan pengembalian modal dalam waktu tertentu, yang dapat dilihat pada persamaan (5) berikut.

$$Payback\ period = \frac{\text{Modal instalasi sistem}}{\text{Penghematan tahunan}} \quad (5)$$



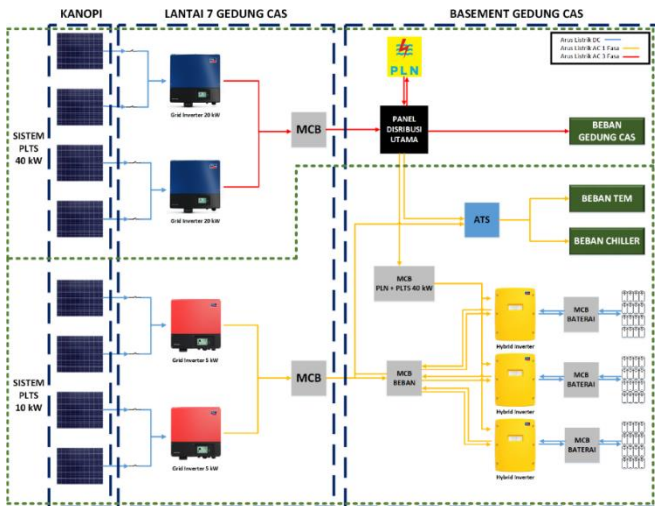
Gambar 2. Profil Penggunaan Energi Listrik (a) Profil konsumsi energi 1 tahun (b) Rerata harian konsumsi listrik TEM dan Chiller

Hasil dan Diskusi

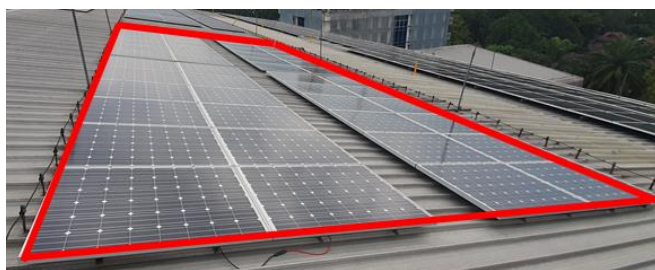
Dikarenakan belum terdapat pengukuran konsumsi energi pada bangunan CAS, digunakan profil bangunan sejenis yang ada di kampus ITB. Digunakan data satu tahun konsumsi energi bangunan Labtek VI dengan

pertimbangan bangunan tersebut digunakan untuk laboratorium penelitian dan ruangan pengajaran seperti halnya bangunan CAS. Profil untuk konsumsi energi bangunan digunakan sampel pada periode pemakaian tahun 2018. Sementara itu profil konsumsi energi laboratorium TEM dan *Chiller* di bangunan CAS digunakan sampel pada periode pemakaian 7 - 14 November 2019 yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Skema sistem PLTS ini meliputi rangkaian sistem dari perolehan sumber energi surya hingga ke beban dengan melibatkan komponen penting dan komponen pendukung. Secara umum, sistem PLTS menjadi dua bagian utama, yaitu sistem PLTS dengan kapasitas pembangkitan 10 kWp dan 40 kWp. Kedua sistem tersebut secara fungsional memang berbeda, namun pada perancangannya kedua sistem tersebut saling berhubungan. Gambar 3 merupakan skema sistem rancangan PLTS.



Gambar 3. Skema Rancangan Sistem PLTS



Gambar 4. Implementasi Sistem PLTS di kanopi bangunan CAS

Tabel 1. Spesifikasi modul surya 330W

Paramater	Keterangan
Tipe Sel	Polycrystalline
Dimensi	1960 x 992 x 35 mm
Berat	22.4 kg
Daya maksimum (Pmax)	330 W
Tegangan operasi maks (Vmp)	37.2 V
Arus operasi maks (Imp)	8.88 A
Tegangan terbuka (Voc)	45.6 V
Arus hubungan singkat (Isc)	9.45 A
Efisiensi modul	16.97%
Suhu operasi	-40°C ~ +85°C
Tegangan maksimum sistem	1000 V atau 1500 V

Tabel 2. Spesifikasi modul surya 210W

Spesifikasi	Keterangan
Tipe Sel	Multicrystalline
Dimensi	1324 x 987 x 45 mm
Berat	15.4 kg
Daya maksimum (Pmax)	210 W
Tegangan operasi maks (Vmp)	25.58 V
Arus operasi maks (Imp)	8.26 A
Tegangan terbuka (Voc)	30.58 V
Arus hubungan singkat (Isc)	8.80 A
Suhu operasi	-40°C ~ +85°C
Tegangan maksimum sistem	1000 V

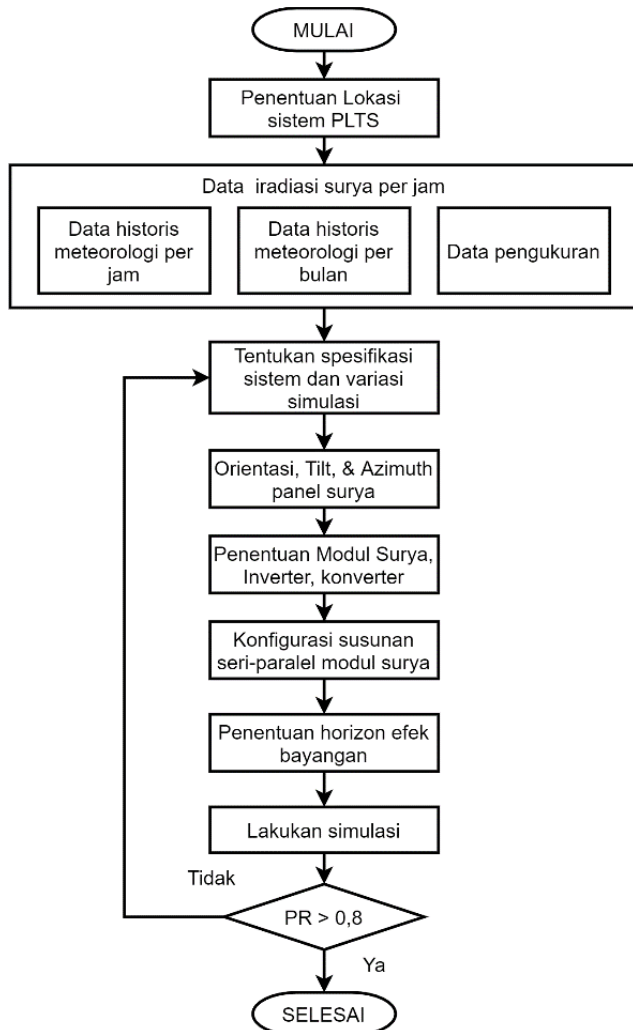
Tabel 3. Spesifikasi Baterai VLRA LFP12100D

Spesifikasi	Data
Tegangan Nominal	12 V
Dimensi	330 x 171 x 214 mm
Berat	30 kg
Kapasitas (25°C, 10HR, 10.8V)	100 Ah
Arus maksimum charge	30 A
Arus maksimum discharge	800 A (5 detik)
DoD (%)	30; 50; 100
Life Cycle	1375; 620; 275

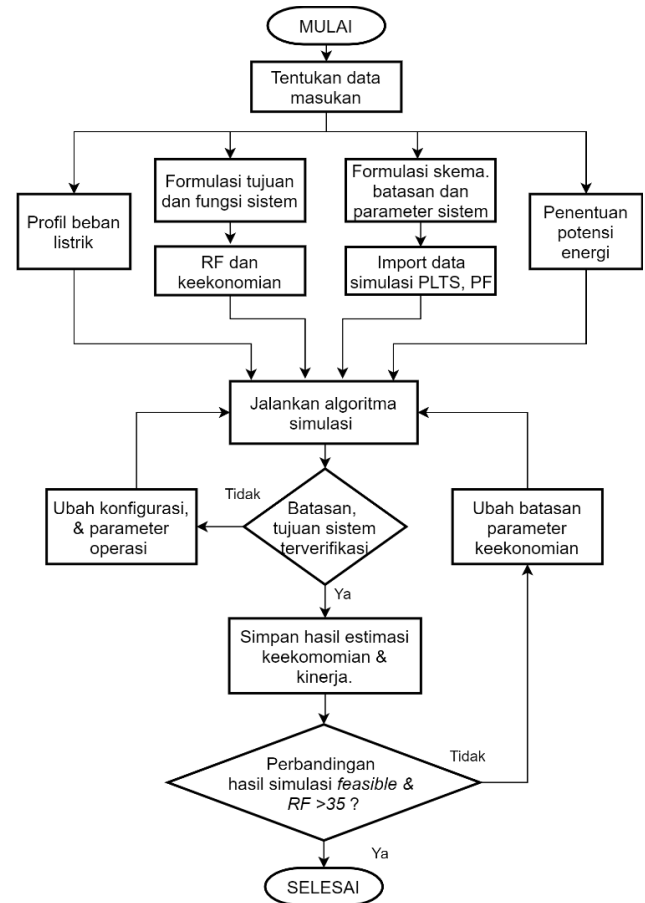
Skema perancangan yang sudah dibuat akan disimulasikan untuk mengetahui kinerjanya. Simulasi akan dilakukan pada dua perangkat lunak, PVsyst dan Homer. PVsyst digunakan untuk simulasi dan analisis produksi energi surya sementara Homer digunakan untuk menganalisis penggunaan energi dan keekonomian dari sistem.

Diagram alir simulasi produksi energi PLTS dijelaskan pada Gambar 5. Terdapat empat masukan yang harus diperhatikan untuk menjalankan simulasi PVsyst, yaitu: lokasi & cuaca, orientasi modul surya, skema sistem, dan efek bayangan. Masukan tersebut didapat dari hasil survei lokasi dan NASA *Surface Meteorology & Solar Energy* (NASA SSE) yang sudah terintegrasi dengan PVsyst. Ada beberapa poin yang menjadi fokus utama dalam hasil simulasi sistem PLTS, yaitu: neraca energi, hasil produksi ternormalisasi, energi yang diterima jaringan listrik, PR, dan rugi-rugi. Alur kerja simulasi produksi energi sistem PLTS adalah pertama-tama menentukan lokasi sistem PLTS yang kemudian dicari

data historis iradiasi surya setiap jamnya baik dari referensi ataupun dari pengukuran, lalu tentukan spesifikasi dari sistem yang akan disimulasikan mulai dari orientasi panel surya, pemilihan tipe dan model dari modul surya, inverter atau konverter yang kemudian ditentukan konfigurasi susunan seri-paralel dari modul tersebut. Apabila pada bidang horizon ada efek bayangan, maka dimasukkan informasinya. Setelah itu dijalankan simulasinya pada program yang kemudian diperiksa apakah nilai PR sudah melebihi 0,8, apabila belum maka kembali menentukan spesifikasi dari sistem untuk disimulasikan ulang.



Gambar 5. Diagram Alir Simulasi Produksi Energi Sistem PLTS



Gambar 6. Diagram Alir Simulasi Keekonomian Sistem PLTS

Diagram alir simulasi keekonomian dijelaskan pada Gambar 6, dimana pertama-tama data profil beban listrik, sumber dan potensi energi yang tersedia disertai dengan informasi fungsi serta batasan dari sistemnya.

Berdasarkan masukan yang digunakan untuk menjalankan simulasi Homer, yaitu: data produksi energi sistem PLTS (dari PVsyst), konsumsi energi listrik, dan data keekonomian sistem serta konfigurasi komponen sistem dilakukan simulasi untuk memvalidasi serta memperoleh hasil estimasi keekonomian dan kinerja berdasarkan parameter RF, COE, *payback period* dan biaya penghematan.

Apabila batasan parameter sistem belum terverifikasi maka dilakukan pengubahan konfigurasi dan parameter operasi dari komponen sistemnya, dan apabila terdapat beberapa hasil simulasi maka dapat dibandingkan dan dipilih mana hasil simulasi yang paling *feasible* dan memiliki nilai $RF > 35$.

Dari hasil simulasi PVsyst, didapat rancangan terbaik untuk sistem PLTS 40 kWp memiliki konfigurasi 20 modul surya/string dengan nilai PR sebesar 0,833 sementara untuk sistem PLTS 10 kWp memiliki konfigurasi 12 modul surya/string dengan nilai PR sebesar 0,77, dengan rincian pada Tabel 4 dan 5.

Tabel 4. Performance Ratio sistem PLTS 40 kWp (Pnom = 39,6 kWp)

Bulan	GlobHor kWh/m ²	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR
1	105	104,1	101,3	3503	3419	0,830
2	107,1	104,8	101,9	3558	3478	0,838
3	125,3	125,6	122,4	4214	4120	0,829
4	125	126,4	123,1	4255	4164	0,832
5	135,5	132,7	128,8	4488	4394	0,836
6	135,5	133,8	130,1	4571	4476	0,845
7	139,6	136,6	132,8	4656	4556	0,842
8	155,5	154,3	150,5	5239	5132	0,840
9	151,4	151,8	148,1	5086	4983	0,829
10	143,8	142,6	138,9	4746	4650	0,824
11	153,2	152,5	148,7	5053	4951	0,820
12	121,4	120	116,8	4022	3933	0,828
Sum /Ave	1598,3	1585	1543,7	53392	52256	0,833

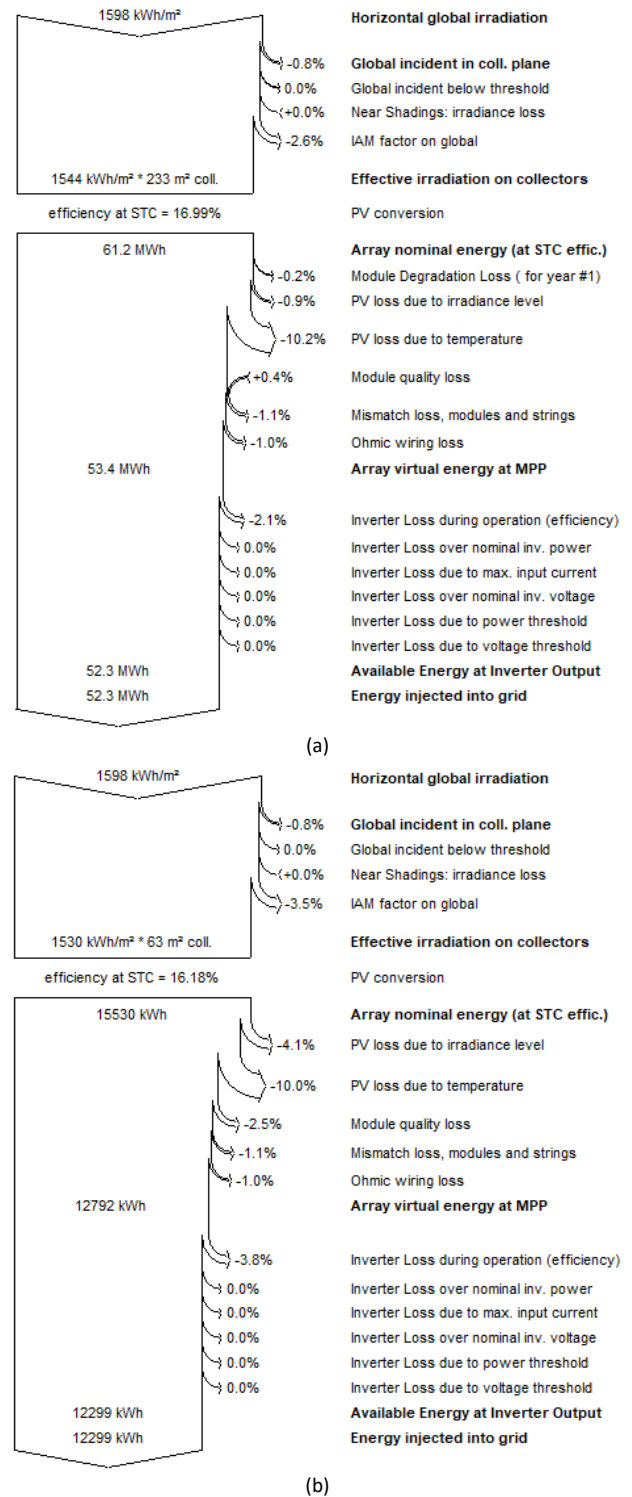
Tabel 5. Performance Ratio sistem PLTS 10 kWp (Pnom = 10,08 kW)

Bulan	GlobHor kWh/m ²	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR
1	105	104,1	100,4	836	800	0,763
2	107,1	104,8	101	846	812	0,769
3	125,3	125,6	121,4	1012	971	0,768
4	125	126,4	122,1	1019	980	0,769
5	135,5	132,7	127,6	1072	1031	0,771
6	135,5	133,8	128,9	1090	1049	0,778
7	139,6	136,6	131,6	1113	1070	0,777
8	155,5	154,3	149,3	1258	1211	0,779
9	151,4	151,8	147	1226	1181	0,771
10	143,8	142,6	137,8	1140	1097	0,764
11	153,2	152,5	147,6	1219	1174	0,764
12	121,4	120	115,8	961	922	0,763
Sum /Ave	1598,3	1585	1530,3	12791	12299	0,779

Diagram rugi-rugi dari diperoleh dari hasil simulasi yang dapat membantu dalam menganalisis berbagai kerugian yang harus dihadapi atau kendala yang harus dipertimbangkan saat memasang PLTS. Diagram tersebut dapat dilihat pada Gambar 7.

Dapat diamati dari Gambar 7, produksi energi surya yang dapat dimanfaatkan oleh sistem PLTS 40 kWp adalah 52,3 MWh/tahun sementara sistem PLTS adalah 12,3 MWh/tahun.

Hasil estimasi produksi dari simulasi PVsyst digunakan untuk menganalisis penggunaan energi pada Homer. Dari hasil simulasi Homer dan perhitungan, didapatkan RF untuk kedua sistem yang ditunjukkan pada Tabel 6.



Gambar 7. Diagram rugi-rugi sistem PLTS (a)40kWp (b) 10kWp

Tabel 6. Renewable Fraction dari kedua sistem PLTS.

Sistem	DoD (%)	Energi dari PLN (kWh/thn)	Energi dari PLTS (kWh/thn)	RF (%)
40 kWp	-	219.152	50.518	18,73

10 kWp					
	20	12.801	10.213	44,38	
	30	12.111	11.162	47,96	
	40	11.657	11.784	50,27	
	50	11.399	12.134	51,56	
	60	11.305	12.258	52,02	
	70	11.273	12.295	52,17	
	80	11.266	12.299	52,19	

Berdasarkan Tabel 6, PLTS 40 kWp memiliki nilai RF 18,73% sehingga masih belum mencapai target diatas >35%. Sistem PLTS 40 kWp memiliki operasi secara *grid-tie* dimana langsung terhubung ke jaringan PLN bangunan dan tidak terhubung langsung ke sistem baterai, oleh karena itu perhitungan DoD tidak menjadi pertimbangan pada sistem PLTS 40kWp.

PLTS 10 kWp secara konfigurasi dapat beroperasi dengan konsep *smart microgrid*, dimana modeny dapat berjalan secara *grid-tie*, *off-grid*, *hybrid* ataupun *backup*. Sistem daya PLTS 10kWp ini secara langsung berinteraksi menggunakan sistem baterai dan dengan skema DoD 80% pada Tabel 6 yang memiliki nilai RF sebesar 52,19% sehingga sudah mencapai target berdasarkan tujuan bisnisnya.

Dari hasil simulasi Homer dan perhitungan untuk keekonomian sistem, didapatkan nilai NPC, COE, *payback period* dan biaya penghematan yang ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Analisis keekonomian kedua sistem PLTS.

Keterangan	PLTS 10 kWp							PLTS 40 kWp
	Depth of Discharge (DoD)							
	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	
NPC (Rp. miliar)	2,903	2,542	2,196	1,963	1,566	1,269	1,058	7,043
Penghematan selama 25 tahun (Rp. miliar)	-2,322	-1,961	-1,615	-1,382	-0,985	-0,688	-0,477	1,159
COE (Rp/kWh)	6.315	5.529	4.767	4.239	3.329	2.626	2.103	1.251
<i>Payback Period</i> (tahun)	-	-	-	-	-	-	-	5,6

Berdasarkan Tabel 7, PLTS 40 kWp tanpa baterai memiliki nilai COE Rp 1.251/kWh sehingga sudah mencapai target dari tujuan bisnis (<Rp 1.467,28/kWh) dengan *payback period* hanya 5,6 tahun saja. Sementara PLTS 10 kWp menggunakan baterai dengan skema DoD 20% - 80% memiliki nilai COE sebesar Rp 2.103/kWh hingga Rp 6.315/kWh sehingga belum mencapai target dari tujuan bisnis.

Kesimpulan

Perancangan sistem PLTS berdasarkan analisis energi dan ekonomi untuk sistem PLTS 40 kWp tanpa baterai dengan mode operasi *grid tie* dan sistem PLTS 10 kWp yang dilengkapi baterai dengan konsep *smart microgrid*, dimana mode operasinya dapat berjalan secara *grid-tie*, *off-grid*, *hybrid* ataupun *backup* telah dilakukan dan diimplementasikan di Bangunan CAS ITB. Simulasi pemodelan kedua sistem dilakukan dan didapat bahwa PLTS 40 kWp dapat menyuplai energi sebesar 52,3 MWh per tahun dengan PR rata-rata tahunan 0,833. Sementara PLTS 10 kWp dapat menyuplai energi sebesar 12,3 MWh per tahun dengan PR rata-rata tahunan 0,77. Dari analisis segi ekonomi, perancangan sistem 40 kWp dengan penjualan energi berlebih memberikan penghematan sebesar Rp 1.159.230.000 dan nilai COE sebesar Rp 1.260.61/kWh dengan *payback period* selama 5,6 tahun. Sementara pada perancangan sistem 10 kWp, dengan penggunaan baterai memberikan nilai COE sebesar Rp 2.103/kWh hingga Rp 6.315/kWh pada rentang DoD 20% - 80%. Sistem ini diperlukan untuk menjaga keandalan beban listrik TEM dan *chiller*. Dari analisis segi penggunaan energi, perancangan sistem 40 kWp memiliki nilai *renewable fraction* sebesar 18,73%. Sementara pada sistem 10 kWp, dengan pemakaian baterai memiliki nilai *renewable fraction* sebesar 44,38% hingga 52,19% pada rentang DoD 20% - 80%.

Konflik Kepentingan

Tidak ada konflik kepentingan pada penelitian ini.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didukung oleh Program Penelitian ITB, Kementerian Riset dan Teknologi / Badan Penelitian dan Inovasi Nasional Indonesia, Kementerian Perindustrian Republik Indonesia dan Dinas ESDM Provinsi Jawa Barat.

Referensi

- [1] Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, "Indonesia Energy Outlook 2019," 2019, [Daring]. Tersedia pada: <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-outlook-energi-indonesia-2019-bahasa-indonesia.pdf>.
- [2] Insitute for Essential Services Reform, "Indonesia Clean Energy Outlook: Tracking Progress and Review of Clean Energy Development in Indonesia," *Jakarta Inst. Essent. Serv. Reform (IESR)*, December 2019, hal. 1–72, 2019, [Daring]. Tersedia pada: www.iesr.or.id.
- [3] R. Sharma dan S. Goel, "Performance analysis of a 11.2 kWp roof top grid-connected PV system in Eastern India," *Energy Reports*, vol. 3, hal. 76–84, 2017, doi: 10.1016/j.egy.2017.05.001.
- [4] Y. V. Pavan Kumar dan R. Bhimasingu, "Renewable energy based

- microgrid system sizing and energy management for green buildings,” *J. Mod. Power Syst. Clean Energy*, vol. 3, no. 1, hal. 1–13, 2015, doi: 10.1007/s40565-015-0101-7.
- [5] “Penetapan Penyesuaian Tarif Tenaga Listrik Bulan April-Juni 2020,” Diakses: Jul 01, 2020. [Daring]. Tersedia pada: <https://web.pln.co.id/statics/uploads/2020/03/TA-April-Juni-2020.jpg>.
- [6] M. Uddin, M. F. Romlie, M. F. Abdullah, S. Abd Halim, A. H. Abu Bakar, dan T. Chia Kwang, “A review on peak load shaving strategies,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, no. November 2017, hal. 3323–3332, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.10.056.
- [7] P. Saatwong dan S. Suwankawin, “An Interoperable Building Energy Management System With IEEE1888 Open Protocol for Peak-Load Shaving,” *IEEE Open J. Ind. Appl.*, vol. 1, no. September 2019, hal. 11–22, 2020, doi: 10.1109/ojia.2020.2967185.
- [8] K. Tokuda, S. Matsumoto, dan M. Nakamura, “Implementing a mobile application for spontaneous peak shaving of home electricity,” *Int. Conf. Wirel. Mob. Comput. Netw. Commun.*, hal. 273–278, 2013, doi: 10.1109/WiMOB.2013.6673372.
- [9] K. Tzanidakis, C. Malavazos, dan B. O. Flynn, “Optimized Consumer-Centric Demand Response,” 2018.
- [10] J. M. Paredes-Parra, A. Mateo-Aroca, G. Silvente-Niñirola, M. C. Bueso, dan Á. Molina-García, “PV module monitoring system based on low-cost solutions: Wireless raspberry application and assessment,” *Energies*, vol. 11, no. 11, 2018, doi: 10.3390/en11113051.
- [11] P. Wolf dan J. Včelák, “Simulation of a simple PV system for local energy usage considering the time resolution of input data,” *J. Energy Storage*, vol. 15, hal. 1–7, 2018, doi: 10.1016/j.est.2017.10.009.
- [12] A. Raghoebarsing dan A. Kalpoe, “Performance and economic analysis of a 27 kW grid-connected photovoltaic system in Suriname,” *IET Renew. Power Gener.*, vol. 11, no. 12, hal. 1545–1554, 2017, doi: 10.1049/iet-rpg.2017.0204.
- [13] S. Sharma, C. P. Kurian, dan L. S. Paragond, “Solar PV System Design Using PVsyst: A Case Study of an Academic Institute,” *2018 Int. Conf. Control. Power, Commun. Comput. Technol. ICCPCCT 2018*, hal. 123–128, 2018, doi: 10.1109/ICCPCT.2018.8574334.
- [14] C. J. Sarasa-Maestro, R. Dufo-López, dan J. L. Bernal-Agustín, “Analysis of photovoltaic self-consumption systems,” *Energies*, 2016, doi: 10.3390/en9090681.