



DESAIN SISTEM CADANGAN ENERGI LISTRIK MENGUNAKAN TENAGA SURYA PADA GEDUNG TEKNIK ELEKTRO FT - UNIMED

¹Denny Haryanto Sinaga, ²Wanapri Pangaribuan, ³Muhammad
Aulia Rahman Sembiring ⁴Andi Hilmy Syahrir

¹²³Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur Universitas Negeri Medan

¹⁴ Program Studi Teknik Elektro Universitas Negeri Medan

denny.sinaga@unimed.ac.id

ABSTRAK

Kebutuhan energi yang terus meningkat dan semakin menipis cadangan energi fosil mengakibatkan terjadinya defisit energi listrik. Hal ini membutuhkan sumber energi alternatif sebagai dalam mengatasi masalah kebutuhan energi listrik terutama untuk kebutuhan listrik pada sarana pendidikan seperti perkuliahan. Energi terbarukan energi surya merupakan salah satu solusi paling efektif dalam memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat. Hal ini juga dapat menurunkan dampak negatif emisi karbon terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui prospek penerapan energi terbarukan pada gedung Teknik Elektro FT-Unimed, dengan melakukan simulasi sistem cadangan energi listrik melalui pemanfaatan tenaga surya. Hal ini dilakukan dengan memadukan energi terbarukan dari tenaga surya, baterai dan sumber dari jaringan Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai sumber energi cadangan dalam meningkatkan ketersediaan energi listrik. Sistem akan disimulasikan menggunakan perangkat lunak homer pro. Aspek yang akan dibahas dalam simulasi adalah perbandingan nilai ekonomis dari pembangkitan off grid, on-grid dan hybrid yang dinyatakan dalam nilai Net present cost (NPC) dan Cost of energy (COE).

Kata Kunci : *Cadangan Energi, Photovoltaic, Grid, Net present cost, Cost of energy*

ABSTRACT

The increasing demand for energy and the depletion of fossil energy reserves have resulted in a deficit of electrical energy. This requires alternative energy sources to overcome the problem of electrical energy needs, especially for electricity needs in educational facilities such as lectures. Renewable energy solar energy is one of the most effective solutions in meeting the ever-increasing energy needs. It can also reduce the negative impact of carbon emissions on the environment. This study aims to determine the prospect of applying renewable energy in the Electrical Engineering building FT- Unimed, by simulating an electrical energy backup system through the use of solar power. This is done by combining renewable energy from solar power, batteries and sources from the National Electricity Company (PLN) grid as a backup energy source in increasing the availability of electrical energy. The system will be simulated using homer pro software. The aspect that will be discussed in the simulation is the comparison of the economic value of off-grid, on-grid and hybrid generation which is expressed in Net present cost (NPC) and Cost of energy (COE).

Keywords : *Energy Backup, Photovoltaic, Grid, Net present cost, Cost of energy*

1. Pendahuluan

Energi listrik saat ini telah menjadi kebutuhan primer dan hal penting dalam menunjang kehidupan manusia. Terjadinya krisis energi dunia salah satunya disebabkan oleh semakin berkurangnya ketersediaan sumber energi tak terbarukan berupa energi fosil. Hal ini menjadi tantangan untuk memenuhi kebutuhan energi yang semakin meningkat terutama di sarana umum seperti gedung kuliah yang sangat membutuhkan penyediaan energi listrik. Syarat keandalan merupakan hal yang penting agar kegiatan pembelajaran yang dilakukan tidak terganggu oleh pemadaman energi listrik dari jaringan.

Selain masalah ketersediaannya, polutan udara yang dapat merusak ozon merupakan dampak negative dari penggunaan energi fosil yang tidak ramah lingkungan seperti minyak bumi dan batubara (Zaheeruddin dkk., 2015). Sebagai solusi dari permasalahan pembangkit konvensional dan untuk membantu mengatasi masalah ketersediaan energi listrik, pemanfaatan energi baru dan terbarukan merupakan hal yang dapat dilakukan untuk mampu memenuhi kebutuhan energi setidaknya 23% dari total kebutuhan energi sampai dengan tahun 2050 (Sukarna, 2011). Proyeksi rasio elektrifikasi Indonesia berdasarkan RUPTL PLN terus ditingkatkan dari 84 % pada 2015 menjadi 97% pada 2019 (BPPT, 2015)

Energi surya adalah segmen yang berkembang dari bauran pembangkit energi kita, hal ini akan memainkan peran yang sangat penting dalam produksi energi di masa depan. Pemanfaatan energi surya untuk menghasilkan energi listrik memiliki keuntungan lebih besar dibandingkan bahan bakar fosil dan hemat dari sisi biaya (Sinaga dkk., 2016).

Desain dan Simulasi sistem cadangan energi listrik ini akan dilakukan pada Gedung Lab. Teknik Elektro yang masih menggunakan sumber listrik utama yang berasal dari jaringan perusahaan listrik negara (PLN). Penelitian ini menggunakan Perangkat lunak HOMER Pro (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewable*) telah digunakan sebagai alat optimasi dan sizing dalam penelitian ini. Perangkat lunak ini dikembangkan oleh Laboratorium Energi Terbarukan Nasional AS (NREL) dan disempurnakan serta didistribusikan oleh *HOMER Energy*. Perangkat lunak ini membandingkan permintaan beban listrik per jam dengan pasokan per jam oleh komponen sistem dan menghitung aliran energi ke dan dari setiap komponen. Solusi sistem yang optimal ditentukan oleh perangkat lunak Homer untuk memenuhi batasan spesifik pada total net present cost (NPC)

dan cost of energy (COE) terendah (N & Hr, 2019).

Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan sebagai sumber energi listrik diharapkan dapat mengurangi ketergantungan kita pada energi fosil yang masih mendominasi pada pembangkit listrik di Indonesia. Penggunaan sistem cadangan energi listrik ini diharapkan dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil, mengurangi pencemaran lingkungan akibat emisi yang dihasilkan pembangkit, serta meningkatkan keadaan penyediaan energi listrik dalam mendukung proses belajar yang baik pada Gedung Teknik Elektro.

2. Kajian Literatur

Sumber energi terbarukan yang tersedia dan paling menjanjikan salah satunya adalah energi surya. Energi dari radiasi matahari yang diterima bumi adalah sebesar 174 triliun kWh setiap jam. Artinya, matahari memberikan energi sebesar $1,74 \times 10^{17}$ watt daya kepada bumi. (Tanim dkk., 2014). Seiring perkembangan waktu, energi surya memiliki daya tarik yang semakin meningkat. Energi surya disukai karena lokasi penempatannya juga karena merupakan energi bersih dan tanpa kebisingan saat beroperasi. Meskipun kapasitasnya diperbesar, energi surya tidak memerlukan sebuah daerah yang luas untuk beroperasi (ESDM, 2014). Energi surya merupakan sumber energi yang mempunyai prospek yang sangat besar jika dimanfaatkan dengan maksimal dan efisien.

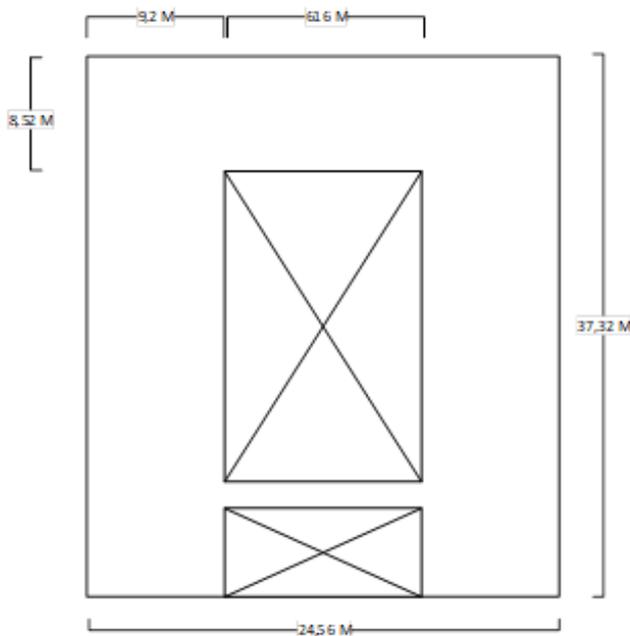
Beberapa penelitian telah dilakukan tentang penggunaan tenaga surya sebagai sumber energi listrik. Optimalisasi sistem fotovoltaik dilakukan untuk beban residensial yang terletak di dekat Siliguri, Benggala Barat dengan perangkat lunak HOMER (Tanim dkk., 2014). N. Shilpa dan H.R. Sridevi (N & Hr, 2019) menyajikan studi desain sistem tenaga surya atap untuk menyediakan daya listrik di gedung lembaga pendidikan dengan membandingkan PV - terhubung grid dan PV - Generator Diesel. Studi menunjukkan bahwa sistem PLTS on-grid dengan kapasitas bank baterai yang tepat lebih efisien dan ekonomis dibandingkan dengan PLTS-DG off-grid untuk beban yang sama. Peneliti terkait efisiensi energi sistem energi terbarukan dengan mempertimbangkan generator diesel AC terisolasi dan mempertimbangkan dua kasus dengan dua profil beban yang berbeda untuk menunjukkan bahwa profil beban mempengaruhi respons sistem energi terbarukan dan biaya dari beberapa peralatan sistem (Okedu & Uhumwangho, 2014).

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa lokasi,

sistem penggunaan dan beban listrik menentukan besar kapasitas modul surya yang diperlukan pada suatu sistem PLTS untuk menghasilkan energi listrik sesuai dengan kebutuhan maksimal penggunaannya. Sehingga dalam merancang sistem cadangan energi listrik dengan memanfaatkan tenaga surya, perlu untuk mengetahui jumlah beban listrik dan potensi radiasi matahari di daerah tersebut untuk menentukan ukuran yang optimal. Metode Penelitian

a. Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Gedung Teknik Elektro Universitas Negeri Medan yang memiliki 3 lantai dengan luas 739,2 m². Gedung ini terletak pada koordinat di 03°36'36.66"N 98°42'48.10"E. Beban listrik yang digunakan pada penelitian ini berfokus pada ruangan belajar yang berada di lantai 3. Data berupa penggunaan alat-alat elektronik seperti lampu, kipas angin, komputer, dan proyektor yang umumnya digunakan dalam proses kegiatan belajar dikumpulkan dan dibuat dalam bentuk profil beban listrik. Data tersebut kemudian disesuaikan berdasarkan prioritas lalu dimasukkan ke perangkat lunak *Homer Pro* untuk menemukan jumlah beban yang dibutuhkan. Luas dimensi atap gedung Teknik Elektro dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Dimensi Atap Gedung

b. Perhitungan beban

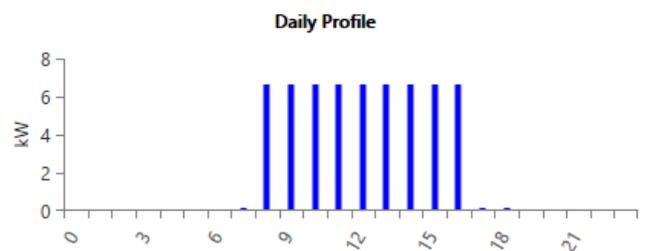
Data penggunaan beban listrik pada ruang kuliah di Gedung Teknik elektro dikumpulkan untuk menghitung jumlah kebutuhan daya listrik. Profil beban diperoleh dari komponen elektronik yang digunakan pada ruang kelas (belajar). Spesifikasi yang terdapat pada komponen

tersebut dicatat untuk mengetahui kapasitas yang terpasang pada komponen tersebut. Diperlihatkan pada tabel di bawah ini, tabel 1 menampilkan total beban pada ruang belajar yang terletak di lantai 3.

Tabel 1. Penggunaan Beban

Ruang	Beban	Daya (W)	Jlh	Total Daya (W)
89.3.01	Lampu TL	36	6	216
	Proyektor	270	1	270
	Kipas	130	1	130
89.3.02	Lampu TL	36	4	144
	Proyektor	270	1	270
	Kipas	130	2	160
89.3.03 A	Lampu TL	36	2	72
	Proyektor	270	1	270
	Kipas	130	1	130
89.3.03 B	Lampu TL	36	4	144
	Proyektor	270	1	270
	Kipas	130	1	130
89.3.03	Lampu TL	36	2	72
	Proyektor	270	1	270
	Kipas	130	1	130
89.3.04	Lampu TL	36	6	216
	Proyektor	270	1	270
	Kipas	130	1	130
89.3.05	Lampu TL	36	6	216
	Proyektor	270	1	270
	Kipas	130	2	260
89.3.06	Lampu TL	36	6	216
	Proyektor	270	1	270
	Kipas	130	2	260
89.3.06	Lampu TL	36	6	216
	Proyektor	270	1	270
	Kipas	130	2	260
89.3.08	Lampu TL	36	2	72
	Proyektor	270	1	270
	Kipas	130	1	260
89.3.09	Lampu TL	36	6	216
	Proyektor	270	1	270
	Kipas	130	3	390
Lorong	Lampu CFL	23	8	184
Total				6,644

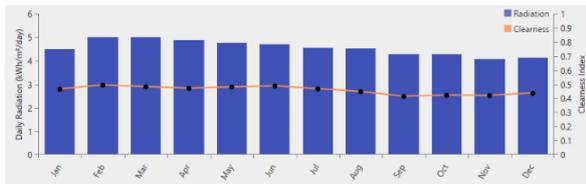
Total beban pada lantai 3 Gedung Lab. Teknik Elektro adalah sebesar 6,644 Watt yang terdiri dari ruang kelas dengan asumsi penggunaan sekitar 8 jam, yaitu pada saat proses belajar dari pukul 08.00 sampai dengan pukul 16.00. grafik profil beban harian yang digunakan ditampilkan pada gambar 2.



Gambar 2. Profil Beban Harian

c. Potensi Energi Surya

Potensi radiasi matahari sebagai sumber energi dinyatakan dalam indeks kejernihan dan data radiasi matahari, yang merupakan rata-rata radiasi matahari global pada permukaan horizontal. Data direpresentasikan dalam kWh/m² untuk setiap hari dalam setahun. Data radiasi di NASA (National Aeronautics and Space Administration) terhubung langsung dengan software HOMER Pro. Berdasarkan letak geografis, Gedung Teknik Elektro ini memiliki potensi radiasi matahari dengan indeks kecerahan rata-rata 0,456 dan radiasi harian rata-rata 4,56 kWh/m²/hari.



Gambar 3. Grafik Radiasi Matahari

Data penyinaran matahari selama satu tahun ditunjukkan pada Gambar 2. Intensitas penyinaran yang baik terjadi pada bulan Februari-Juni, dan daya penyinaran yang rendah terjadi pada bulan November-Desember

Tabel 2. Data radiasi matahari dalam setahun

Month	Clearness Index	Daily Radiation (kWh/m ² /day)
Jan	0.465	4.490
Feb	0.493	4.990
Mar	0.481	5.020
Apr	0.470	4.870
May	0.479	4.770
Jun	0.486	4.710
Jul	0.466	4.560
Aug	0.446	4.520
Sep	0.413	4.270
Oct	0.421	4.280
Nov	0.419	4.080
Dec	0.436	4.130

Annual Average (kWh/m²/day): 4.56

d. Panel Surya

Konversi energi surya ke energi listrik bergantung pada perangkat yang disebut sel *photovoltaic*, yang juga disebut sel surya. Perangkat ini menghasilkan listrik langsung dari radiasi elektromagnetik, khususnya cahaya. Modul atau panel surya merupakan komponen utama PV yang terdiri dari beberapa sel surya. Modul merupakan rangkaian dari sel-sel yang disusun seri dan parallel.

Output daya dan efisiensi dari PV-array dalam menghasilkan energi listrik dapat dihitung dari persamaan sebagai berikut (HOMER Energy, 2016):

$$P_{PV} = f_{PV} Y_{PV} \left(\frac{G_T}{G_{T,STC}} \right) [1 + \alpha_P (T_c - T_{c,STC})] \quad (1)$$

$$\text{Efisiensi}_{mp,STC} = \frac{Y_{PV}}{A_{PV} G_{T,STC}}$$

dengan :

f_{PV} : faktor penurunan daya

Y_{PV} : kapasitas rata-rata PV- array (kW)

G_T : radiasi matahari yang mengenai PV (kW/m²)

$G_{T,STC}$: radiasi yang terjadi pada kondisi pengujian standar (1 kW/m²)

α_P : koefisien suhu daya keluaran (% / °C)

T_c : suhu sel PV pada saat digunakan (°C)

$T_{c,STC}$: suhu sel PV pada kondisi pengujian standar (25 °C)

A_{PV} : luas dari modul panel surya yang digunakan (m²)

e. Baterai

Baterai merupakan penyimpanan energi listrik yang diperoleh dari panel surya ketika siang hari dan digunakan ketika malam hari saat panel surya tidak menghasilkan energi listrik. Terik matahari yang didapatkan panel surya mempengaruhi proses pengisian (*charging*) atau pengosongan (*discharging*) baterai.

Kemampuan dari lama baterai untuk memberikan aliran listrik ke beban yang sering disebut dengan kapasitas baterai dinyatakan dalam satuan Wh (*Watt hour*). Total kapasitas baterai merupakan hasil perhitungan dari persamaan 3, sedangkan baterai yang digunakan merupakan kapasitas baterai yang akan digunakan berdasarkan spesifikasi.

$$C_b = \frac{E_T}{DOD} \quad (3)$$

Dimana :

C_b = Kapasitas Baterai (Wh)

E_T = Energi Total (Wh)

DOD = *Depth Of Discharge*

$$\text{Jumlah Baterai} = \frac{C_b}{C_{use}} \quad (4)$$

Dimana :

C_b = Kapasitas Baterai (Wh)

C_{use} = Baterai yang digunakan (Wh)

f. Inverter

Inverter adalah elemen peralatan paling signifikan berikutnya dari sistem PV. Fungsi *inverter* adalah untuk mengubah daya DC yang dihasilkan oleh modul PV ke dalam bentuk daya AC untuk beban listrik sistem. Rasio Arus Searah

ke Arus Bolak-balik / ILR (Inverter Load Ratio) adalah parameter penting dalam merancang ukuran sistem energi surya. ILR 1,2 sering menghasilkan kerugian minimal.

g. Jaringan Listrik (Grid)

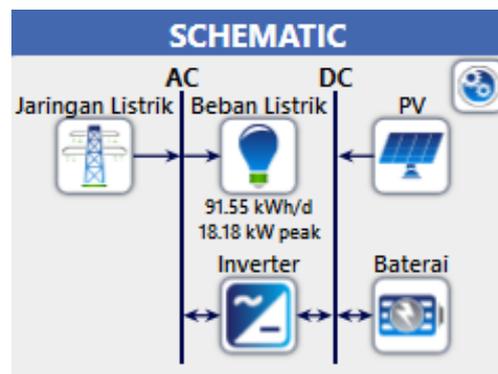
Grid adalah jaringan yang berasal dari PLN. Menu *advanced grid* pada *homer pro* dapat memodelkan sistem pembangkit yang terhubung dengan jaringan PLN (*grid*) dengan harga jaringan yang berbeda, spesifikasi jaringan yang terperinci atau sistem *off-grid* dimana penambahan jaringan dimungkinkan. Menu ini juga dapat memodelkan sistem yang terhubung ke jaringan dengan harga *real-time* atau terjadwal, serta waktu pemadaman jaringan.

h. Desain dan Parameter

Berdasarkan ketersediaan sumber energi terbarukan dan beberapa parameter input, sistem dimodelkan untuk mendapatkan konfigurasi terbaik melalui simulasi. Skema pemodelan sistem ditunjukkan pada Gambar 4. Sistem yang paling layak akan dipilih berdasarkan nilai NPC dan COE terendah berdasarkan parameter yang diinput pada simulasi yang ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Data Parameter Input Sistem

Komponen	Spesifikasi	
	Dekripsi	Nilai
Jaringan (Grid)	Harga Jual (\$/kWh)	0,098
	Harga Beli (\$/kWh)	0,063
Panel Surya	Jenis	Sharp ND-250QCS
	Daya modul (kW)	0,25
	Effisiensi (%)	15,30
	Harga (\$/unit)	275
	Biaya Operasi & Perawatan (\$/kW)	0
	Masa Pakai (tahun)	25
Baterai	Jenis	Trojan SSIG 12 255
	Kapasitas Nominal (kWh)	3,09
	Kapasitas (Ah)	257
	Tegangan (v)	12
	Effisiensi (%)	80
	Harga (\$/unit)	275
	Biaya Operasi & Perawatan (\$/kW)	0
Masa Pakai (tahun)	10	
Inverter	Harga (\$/kW)	171
	Biaya Pergantian (\$/kW)	171
	Biaya Operasi & Perawatan (\$/kW)	4
	Effisiensi (%)	90
	Masa Pakai (tahun)	15



Gambar 4. Desain Sistem

3. Hasil dan Pembahasan

a. Hasil

Hasil optimisasi diperoleh setelah proses simulasi selesai. Proses simulasi bertujuan untuk memodelkan dan merancang konfigurasi sistem secara khusus, sedangkan hasil optimisasi menampilkan beberapa kemungkinan terbaik dalam konfigurasi sistem yang disimulasikan. Berdasarkan simulasi yang dilakukan, dihasilkan beberapa konfigurasi yang berbeda sesuai dengan batasan minimum kontribusi energi terbarukan. Melalui simulasi tersebut ditunjukkan hasil optimal yang terdiri dari jumlah komponen dan biaya keseluruhan sistem selama jangka waktu tertentu yang dinotasikan dengan NPC (Net Present Cost) serta biaya energi yaitu cost of energy (COE). Berdasarkan tujuan untuk mendesain sebuah sistem cadangan energi, konfigurasi yang paling optimal dapat dilihat pada tabel 4. Terdapat 2 konfigurasi yang paling optimal dari sisi teknis dan ekonomis yaitu sistem PV - Grid dan PV - Baterai - Grid.

Tabel 4. Ringkasan Hasil Simulasi

Konfig	PV (kW)	Bat (unit)	INV (kW)	COE (\$)	NPC (\$)	Op Cost (\$/thn)
PV-Grid	27.8	0	12.5	0,0585	17.671	-157,81
PV-Baterai-Grid	27.8	10	12.5	0,0604	18.252	-397,81
PV-Baterai	126	15	17.8	0,144	43.349	-4.534

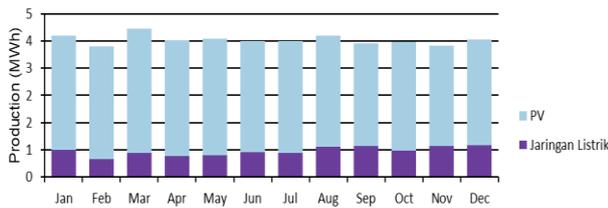
Nilai NPC dan COE yang berbeda disebabkan oleh konfigurasi dari pembangkit listrik yang berbeda. Hal ini terjadi karena biaya investasi dan operasi energi surya yang cukup besar terutama pada komponen baterai apabila

digunakan untuk menyuplai daya ke seluruh beban di sistem. Sistem cadangan energi listrik yang dipilih berdasarkan simulasi sebagai sistem energi cadangan adalah sistem dengan konfigurasi PV- Baterai dan Grid. Hasil simulasi secara keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 5. Ringkasan biaya yang dibutuhkan untuk setiap komponen dalam membangun sistem ini ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Ringkasan Biaya

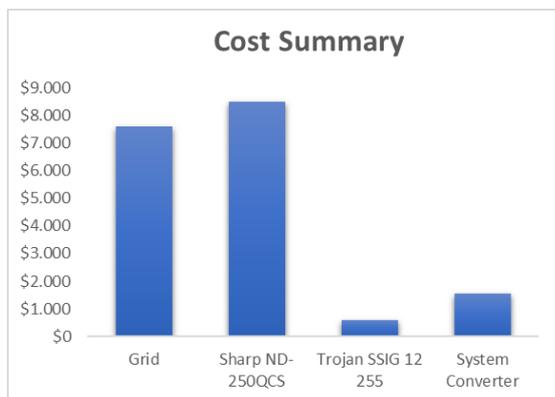
Comp	I (\$)	R (\$)	O&M (\$)	S (\$)	Total (\$)
Grid	0	0	7,610	0	7,610
PV	16,953	-	-	-8,443	8,510
Batt	2,750	0	90,39	- 2,260	580,57
Inv	2,145	0	0	- 593,38	1,551
System	21,848	0	7,700	-11,296	18,252

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem cadangan energi ini terdiri dari panel surya sebesar 27,8 kW, 10 unit baterai dan inverter 12,5 kW dengan sistem pengisian baterai cycle charging. Total net present cost dari konfigurasi sistem ini sebesar US\$ 18.252, biaya pembangkitan listrik (cost of energy) sebesar US\$ 0,0604/kWh untuk melayani beban listrik secara keseluruhan.



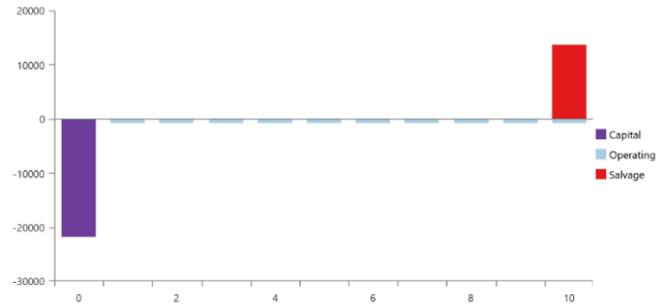
Gambar 5. Nilai NPC Per Komponen

Gambar 5 menunjukkan total produksi energi listrik yang dihasilkan dari energi surya sebesar 36.817 kWh/ tahun atau sekitar 81 % dan dari grid sebesar 8.608 kWh/ tahun atau sekitar 19 %. Output maksimum yang dihasilkan PV adalah sebesar 24,2 kW dan minimum sebesar 0 kW dengan rata-rata 4,2 kW atau 101 kWh/ hari yang ditunjukkan melalui Gambar 5.



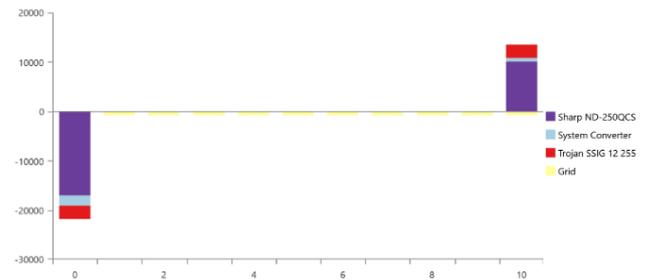
Gambar 6. Nilai NPC Per Komponen

Untuk membangun, mengoperasikan, dan memelihara sistem selama 10 tahun umur proyek, konfigurasi sistem ini menghabiskan total dana (NPC) sebesar \$18.252. Sebagian besar biaya dihabiskan untuk panel surya yang mencapai \$16.953. Biaya yang digunakan untuk baterai adalah \$ 2.750 dan biaya terkecil ada pada inverter yaitu \$ 2.145.



Gambar 7. Aliran Biaya Selama Masa Proyek

Selama 10 tahun umur proyek, sistem mengeluarkan biaya operasi dan pemeliharaan sistem sebesar \$ 851,89. Tidak terdapat penggantian komponen selama periode proyek. Nilai sisa proyek diperoleh pada akhir periode proyek sebesar \$ 11.259.



Gambar 8. Aliran Biaya Per Komponen Selama Masa Proyek

4. Kesimpulan

Desain optimal sistem cadangan energi listrik dengan memanfaatkan tenaga surya untuk ruang kuliah di Gedung Teknik elektro diusulkan dalam pekerjaan ini. Terlihat bahwa sistem Hybrid (Panel surya - Baterai - Grid) dengan kapasitas bank baterai yang tepat lebih efisien dan ekonomis. Net Present Cost dari model yang diusulkan lebih kecil dari model PLTS off-grid yaitu US\$ 18.252 atau sekitar Rp. 273,780,000 dengan kurs Rp. 15.000 per dolar amerika serikat. Nilai biaya energi per kWh (COE) pada sistem yang digunakan adalah sebesar US\$ 0,0604 atau sekitar Rp. 906. Meskipun sistem off-grid menggunakan energi terbarukan yang lengkap,

ada persyaratan untuk penyimpanan tambahan (baterai) atau generator diesel sebagai cadangan. Hal ini mengakibatkan biaya yang tinggi dan juga menghasilkan lebih banyak emisi (efek rumah kaca). Daya tambahan yang dihasilkan dari sistem yang tidak digunakan selama kuliah di luar hari kerja dapat diekspor / dijual ke jaringan. Oleh karena itu, sistem PV hybrid yang diusulkan saat ini paling optimal dan hemat biaya.

5. Saran

Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa sistem cadangan energi berbasis energi surya in dapat secara efektif digunakan untuk menjaga keandalan penyediaan daya listrik. Untuk mencapai kesempurnaan dan pengembangan, terdapat beberapa saran yang dapat digunakan pada penelitian berikutnya yaitu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan Analisa sensitifitas dengan mengkombinasikan beberapa jenis komponen, kapasistas yang diperlukan serta variabel lainnya untuk menentukan ukuran sistem yang lebih optimal dan efisien. Selain itu penelitian berikutnya dapat menggunakan sumber energi terbarukan yang lain dan menggabungkan beberapa sumber energi terbarukan untuk melihat prospek penerapan sumber energi terbarukan tersebut pada sistem cadangan energi.

6. Daftar Referensi

- BPPT. (2015). *Indonesia Energy Outlook 2015*. Pusat Teknologi Pengembangan Sumber Daya Energi - Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. www.bppt.go.id
- ESDM. (2014, November). *Matahari Untuk PLTS di Indonesia*.
<http://www.esdm.go.id/berita/artikel/56-artikel/5797-matahari-untuk-plts-di-indonesia-.html>
- HOMER Energy. (2016). *HOMER® Pro Version 3.7 User Manual*. Homer Energy. www.homerenergy.com
- N, S., & Hr, S. (2019). Optimum design of Rooftop PV System for An Education Campus Using HOMER. *2019 Global Conference for Advancement in Technology (GCAT)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/GCAT47503.2019.8978446>
- Okedu, K. E., & Uhunmwangho, R. (2014). *Optimization of Renewable Energy Efficiency using HOMER*. 4(2), 8.
- Rolls Surrette Battery 6 Volt 375AH S-480*. (t.t.). BatteryStuff.Com. Diambil 11 Januari 2018, dari <https://www.batterystuff.com/batteries/pv-solar/s-460.html>
- Sinaga, D. H., Wijaya, F. D., & Haryono, T. (2016). Desain Sistem Pembangkit Listrik Hibrida Biomassa – PV Untuk Elektrifikasi Pedesaan Di Desa Paluh Kurau Sumatera Utara. *Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang*, 1(1), 6.
- Sukarna, D. (2011). *Opportunity and Challenge in The Development of New and Renewable Energy* (Yogyakarta).
- Tanim, M., Chowdhury, N. A., Rahman, M. M., Ferdous, J., & others. (2014). Design of a photovoltaic-biogas hybrid power generation system for bangladeshi remote area using HOMER software. *Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET), 2014 3rd International Conference on the*, 1–5. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6861694
- Zaheeruddin, Kumar, R., Kumar, A., & Jain, V. K. (2015). Mitigation of CO2 emission in conventional power generation with renewable energy. *2015 International Conference on Futuristic Trends on Computational Analysis and Knowledge Management (ABLAZE)*, 734–738. <https://doi.org/10.1109/ABLAZE.2015.7154955>