

Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Atap Gedung Kampus Efarina menuju Green Eco Campus

¹Saut Matedius Situmorang, ²*Victor Maruli Pakpahan
^{1,2}Universitas Efarina

¹mathedyusmail@gmail.com, ²victor.pakpahan@gmail.com

*Penulis Korespondensi

Diajukan : 25/01/2023

Diterima : 26/01/2023

Dipublikasi : 28/01/2023

ABSTRAK

Perguruan tinggi melalui tri dharma pendidikan menjadi motor transformasi sumber energi yang lebih bersih dan ramah lingkungan. Dalam hal ini, ketersediaan energi baru dan terbarukan berperan penting dalam penguatan industri untuk mengejar target pertumbuhan ekonomi di Indonesia dan menuju kampus mandiri energi dengan teknologi dalam negeri yang mutakhir. "Green Campus" bukan hanya ditunjukkan dengan "menghijaukan" kampus namun juga perlu diiringi dengan komitmen keberlanjutan lingkungan di institusi pendidikan, salah satunya dengan menggunakan energi bersih baru terbarukan. Konsep Green Campus mengartikan bahwa Universitas telah menerapkan kegiatan yang bertujuan melestarikan lingkungan, efisiensi energi, dan penciptaan kondisi yang nyaman untuk belajar dan bekerja. Pemanfaatan energi baru terbarukan merupakan salah satu langkah dalam upaya menuju Green Campus. Kajian ini ditujukan untuk menganalisa kelayakan secara teknik dan finansial pembangunan Pembangkit Listrik tenaga Surya di atap bangunan gedung dalam lingkungan kampus. Dengan menggunakan data masterplan kampus Universitas Efarina, telah dilakukan analisa kelayakan teknis dan finansial menggunakan software Homer, diperoleh hasil dengan luas atap yang tersedia, daya listrik yang dapat dibangkit sebesar 241,221 MW per tahun.

Kata Kunci : Green Campus, Energi baru, Pembangkit Listrik, Tenaga surya

I. PENDAHULUAN

Green campus didefinisikan sebagai kampus yang berwawasan lingkungan, yaitu yang mengintegrasikan ilmu pengetahuan lingkungan ke dalam kebijakan, manajemen dan kegiatan tridharma perguruan tinggi. *Green campus* mempunyai kapasitas intelektual dan sumber daya dalam mengintegrasikan ilmu pengetahuan dan tata nilai lingkungan ke dalam misi serta program-programnya. *Green campus* harus menjadi contoh implementasi pengintegrasian ilmu lingkungan dalam semua aspek manajemen dan *best practices* pembangunan berkelanjutan (Pangaribuan & dkk, 2020)

Konsep *Green Campus* mengartikan bahwa Universitas telah menerapkan kegiatan yang bertujuan melestarikan lingkungan seperti: pengumpulan limbah, efisiensi energi, promosi penggunaan sepeda, dan penciptaan kondisi yang nyaman untuk belajar dan bekerja. Disisi lain adanya gagasan implementasi pembangunan berkelanjutan yang merupakan upaya bersama seluruh civitas akademika Universitas.

Kebutuhan energi yang terus meningkat dapat dijadikan sebagai indikator kemakmuran manusia, namun bersamaan dengan hal itu akan menimbulkan masalah dalam usaha

penyediaanya. Sebagian besar manusia masih mengandalkan energi fosil untuk memenuhi kebutuhan energi. Sehingga semakin lama energi fosil yang ada akan semakin menipis. Selama tahun 2010-2015, konsumsi jumlah energi meningkat rata-rata 1,3 % per tahun (Tarigan, 2018) Konsumsi jumlah energi terus meningkat sejalan dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi penduduk.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran perancangan energi alternatif atau sumber energi baru terbarukan dari energi matahari untuk dimanfaatkan di kampus Efarina. Dalam hal ini, bagaimana menerapkan IPTEK dalam *green eco campus*, bagaimana mendapatkan data sumber energi baru terbarukan, serta bagaimana merancang energi alternatif yang bersumber dari energi matahari untuk dimanfaatkan di kampus Efarina.

II. STUDI LITERATUR

A. Tenaga Suya Rooftop

Banyak penelitian yang telah dilakukan mengenai pemanfaatan energi matahari sebagai sumber energi listrik di dalam kampus untuk mendukung implementasi konsep Green Campus. Menurut (Tarigan, 2018) melakukan penelitian tentang penggunaan tenaga surya atap untuk menyalakan beberapa bangunan di sebuah universitas di Surabaya. Temuan menyimpulkan bahwa sistem fotovoltaik (PV) tidak hanya penyedia energi listrik, tetapi juga berdampak signifikan pada kebijakan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengurangi dampak lingkungan.

Kampus-kampus yang ada banyak yang memiliki lahan yang luas, berupa kavling yang luas, dan tidak terhalang oleh bangunan lain, sehingga terdapat potensi besar penerapan pembangkit listrik fotovoltaik khususnya sistem fotovoltaik atap yang tersembunyi.

Solar atap adalah sistem yang mengubah sinar matahari menjadi listrik menggunakan satu atau lebih panel fotovoltaik yang dipasang di atap bangunan tempat tinggal atau komersial. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen seperti panel photovoltaic, sistem kontrol, kabel listrik, solar inverter dan aksesoris listrik lainnya.

Lingkungan Kampus menawarkan ruang atap terbuka yang besar dan secara inheren dapat menghindari potensi penggunaan lahan dan masalah lingkungan. Perkiraan jumlah radiasi matahari yang dapat diterima panel PV dipengaruhi oleh musim, kondisi cuaca, bayangan dari bangunan terdekat, serta kemiringan dan bentuk atap (Silva, 2017).

Universitas Efarina sebagai Perguruan Tinggi Swasta yang baru berdiri pada tahun 2012, telah menerapkan konsep Green Campus dalam rencana pembangunan infrastruktur dimasa yang akan datang. Pemanfaatan sumberdaya energi baru terbarukan sebagai penyedia energi listrik adalah konsep Green Campus yang menjadi unggulan Efarina yang didukung oleh kegiatan penghijauan dan penanganan limbah. Tujuan utama kajian ini adalah melakukan analisis potensi pemanfaatan atap bangunan gedung untuk pemasangan PV sistem.

B. Energi Matahari

Energi matahari adalah salah satu sumber energi terbarukan yang paling tersedia dan berlimpah yang semakin banyak digunakan saat ini. Energi matahari dalam bentuk radiasi dapat diubah langsung menjadi energi listrik dengan menggunakan teknologi photovoltaic (PV). Perangkat tersebut sering disebut sel surya dan sistemnya disebut pembangkit listrik fotovoltaik (PLTS). Pengukuran potensi energi matahari pada suatu lokasi yang direncanakan akan dipasang sistem PLTS sangat diperlukan dan akan mempengaruhi keberhasilan implementasi sistem itu sendiri. Potensi energi yang dihasilkan sangat bergantung pada penyinaran matahari sekitar, salah satunya adalah struktur bangunan itu sendiri, yaitu mengidentifikasi luas atap (datar atau miring), mengklasifikasikan jumlah lantai dan bentuk atap untuk setiap bangunan Menggunakan teknologi

simulasi komputer untuk memprediksi kinerja array PV sebelum instalasi. Ya, teknologi ini meminimalkan biaya material dan instalasi (Lestari dkk, 2021).

C. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Sistem PLTS dapat dibagi menjadi beberapa jenis. (Florida Solar Energy Center, 2011), berdasarkan aplikasi dan konfigurasinya, PLTS secara umum dibagi menjadi dua jenis yaitu sistem PV terhubung jaringan (sistem PV on-grid) dan sistem PV off-grid dapat dipisahkan. Grid adalah grid (sistem PV grid-independen). atau PLTS mandiri (Kementerian ESDM, 2019). PLTS mandiri ini tidak hanya dapat beroperasi secara mandiri, tetapi juga dapat didukung oleh sumber daya lain seperti angin, genset, hidro dan mikrohidro yang dikenal dengan sistem PLTS hybrid.

Berdasarkan lokasi pemasangannya, sistem PLTS dapat dibagi menjadi dua bagian: sistem PV terdistribusi dan sistem PV pusat. Seperti yang disebutkan dalam grid, sistem PLTS yang terhubung ke jaringan tetap terhubung ke jaringan listrik PLN dan mendapatkan daya maksimum tergantung pada kondisi cuaca atau kebutuhan yang dikonsumsi oleh rumah itu sendiri. Pada waktu-waktu tertentu dalam sehari, seperti siang hari ketika intensitas sinar matahari rata-rata sangat tinggi, panel surya menyerap energi yang cukup dari sinar matahari, sehingga sistem tenaga surya mengubah panas dan sinar matahari pada waktu-waktu tertentu dalam sehari. energi listrik. Untuk mengubah daya yang dihasilkan oleh photovoltaic array menjadi energi (Irwan, 2021)

D. Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Surya

1. Modul Surya

Modul surya merupakan komponen utama sistem fotovoltaik (PV) yang mengubah sinar matahari menjadi listrik. Listrik yang dihasilkan adalah arus searah. Daya modul surya diukur dalam satuan Watt-peak (Wp), yaitu spesifikasi modul surya yang menunjukkan daya yang dihasilkan modul surya pada saat matahari bersinar atau radiasi matahari yang masuk dan diterima adalah 1000 W/m². suhu sekitar 25 °C. Daya dan arus listrik yang dihasilkan modul surya bervariasi sesuai dengan intensitas radiasi matahari yang diterima. Daya keluaran modul surya juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan, bayangan, sudut pemasangan dan kebersihan permukaan panel surya.



Gambar 1. Modul Surya (Pangaribuan dkk, 2020)

2. Inverter

Inverter adalah perangkat elektronik yang bertugas mengubah arus searah (DC) dari panel surya atau baterai menjadi arus bolak-balik (AC) pada frekuensi 50/60 Hz. Pada PLTS, inverter satu fasa biasanya digunakan pada sistem beban rendah, sedangkan inverter tiga fasa

digunakan pada sistem beban tinggi atau sistem yang terhubung ke PLN (*grid-connected*). Modulasi lebar pulsa (PWM) digunakan untuk membuat bentuk gelombang yang dihasilkan sinusoidal. Teknik PWM ini memungkinkan penyetelan untuk menghasilkan bentuk gelombang output frekuensi yang baik sesuai dengan nilai rms (Pangaribuan dkk, 2020).

E. Perhitungan Daya yang Dihasilkan PLTS

Jumlah daya yang dihasilkan oleh PLTS (Watt Peak) pada tabel perhitungan luas. dapat dihitung dengan persamaan berikut: (Kristiawan, 2018)

$$P \text{ (Watt Peak)} = \text{Luas} \times \text{PSI} \times \eta_{pv} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana: P (Watt Peak) = Daya yang dihasilkan PLTS, PSI = Puncak radiasi matahari (1000w/m²) dan η_{pv} = efisiensi panel surya Selain itu, berdasarkan daya yang dihasilkan, jumlah panel surya yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan berikut (Kristiawan, 2018).

$$\text{Jumlah panel surya} = P \text{ Watt Peak} / P_{mpp} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana: P (Watt Peak) = Daya yang dihasilkan oleh PLTS dan P_{mpp} = Daya keluaran maksimum panel surya

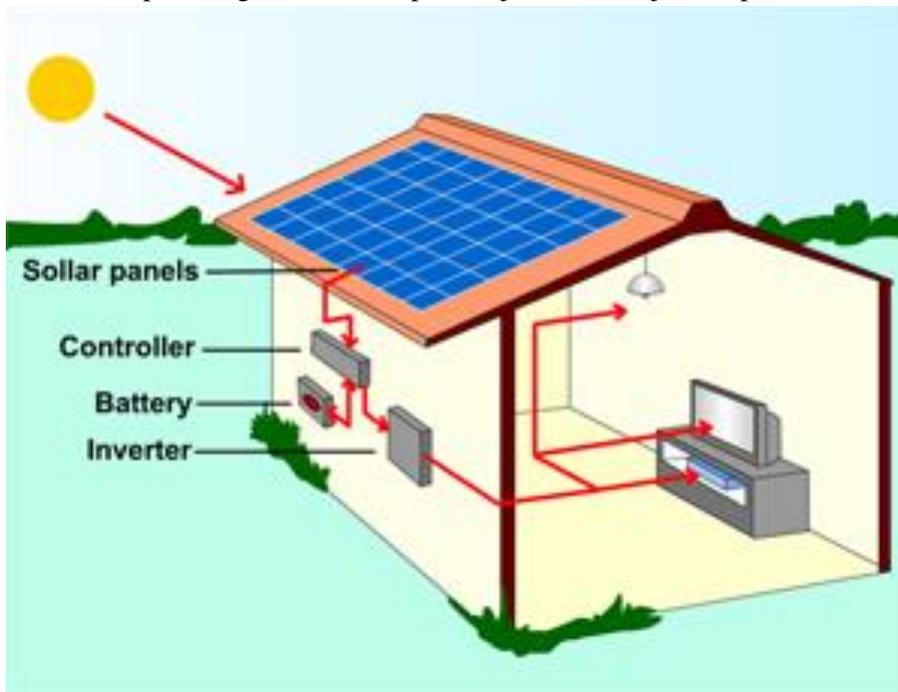
III. METODE PENELITIAN

1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik elektro Universitas Efarina yang adalah salah satu Perguruan Tinggi Swasta di Provinsi Sumatera utara, yang terletak di Kota Siantar. Secara geografi Universitas Efarina letaknya pada 2.975302878767252^o Lintang Utara, dan 99.05573576688766^o Bujur Timur, . Elevasi berada 450 m diatas permukaan laut.

2. Desain PLTS Atap

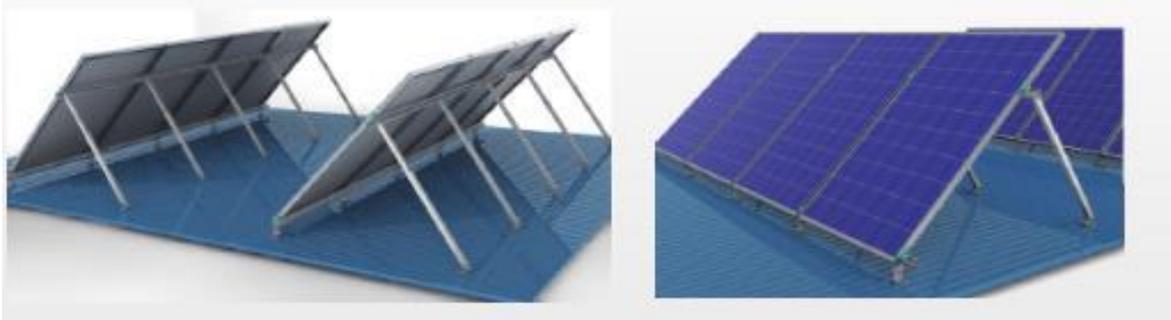
Desain sistem pembangkit listrik PV pada kajian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain sistem pembangkit listrik PV

Lokasi eletakan panel PV direncanakan seluruhnya akan diletakkan diatas atap bangun yang akan dibangun.

Sedangkan metode pelatukan panel PV ditunjukkan dalam Gambar 3. Sudut kemiringan yang diusulkan untuk pembangkit listrik tenaga surya sama dengan garis lintang lokasi, karena yang terbaik untuk penyerapan maksimum radiasi matahari. Garis lintang lokasi bangunan gedung yang direncanakan adalah 4.45° , sehingga sudut kemiringannya diambil $\sim 5^\circ$.



Gambar 3. Rencana peletakan PV diatas atap datar

Rangkaian peralatan PLTSP ada saat ini telah tersedia berbagai jenis panel PV dipasar dan telah digunakan pada berbagai pembangkit listrik tenaga surya. dalam berbagai industri ini. Untuk pemakaian pada pembangkit listrik skala besar, banyak digunakan panel PV jenis *polycrystalline*. Pada kajian ini akan digunakan PV Renesola, model - JC260M-24 / Bbh-b, dengan daya total 4.999 Wp pada STC dan 4498 Wp pada kondisi operasi (pada 50°C). Karakteristik operasi array adalah U_{mp} 591 V dan I_{mp} 7609 A. Laju degradasi untuk panel dianggap 0,5%/tahun. Panel PV dapat dipasang pada atap datar atau miring. Untuk aplikasi di belahan bumi utara, panel harus dipasang menghadap ke selatan. Ketika modul miring relatif ke permukaan atap, bayangan akan terbentuk dan ruang yang memadai harus dipertahankan antara barisan modul untuk meminimalkan kehilangan pengumpulan energi karena naungan. Untuk inverter dipilih produksi ABB Corporation, model ULTRA 750-TL-OUTD-2-US690-M/S, yang beroperasi pada 470-600 V, dan memiliki daya nominal 600 kWac. Analisa dilakukan berdasarkan luas atap bangunan gedung yang akan dipasang panel PV. Menggunakan data dimensi panel PV, dapat ditentukan jumlah panel PV yang dapat dipasang pada masing-masing atap bangunan gedung. Kemudian dilanjutkan analisis kinerja sistem pembangkit listrik tenaga surya menggunakan perangkat lunak homer.

3. Pengumpulan Data

1) Analisa Ekonomi

Analisis investasi merupakan bagian dari kelayakan suatu pekerjaan, yang merupakan penelitian tentang dapat tidaknya suatu pekerjaan (pekerjaan investasi) dilaksanakan bisa berhasil dan bermanfaat. Maksud dilaksanakan evaluasi kelayakan pekerjaan yaitu untuk menganalisis terhadap suatu pekerjaan tertentu, baik pekerjaan yang akan dilaksanakan, sedang dilaksanakan ataupun yang sudah selesai dilaksanakan sebagai bahan perbaikan serta penilaian terhadap pelaksanaan pekerjaan tersebut

a. Metode Analisis

Tiga metode utama analisa keuntungan dan biaya *Cost Benefit Analysis* dalam menentukan keputusan apakah melakukan atau tidak kegiatan/proyek, yaitu:

Net Present Value (NPV)

NPV didefinisikan sebagai nilai dari pekerjaan yang bersangkutan yang diperoleh berdasarkan selisih antara *cash flow* yang dihasilkan terhadap investasi yang dikeluarkan. NPV dianggap layak adalah NPV yang bernilai positif. NPV bernilai positif mengindikasikan

cash flow yang dihasilkan melebihi jumlah yang diinvestasikan.
Internal Rate of Return (IRR)

IRR adalah tingkat bunga pengembalian dari modal yang digunakan. Dalam analisis IRR selalu diharapkan lebih besar dari tingkat suku bunga yang berlaku dan pada umumnya pengusaha selalu cenderung menanamkan modalnya pada usaha yang menghasilkan IRR lebih besar.

Benefit Cost Ratio (BCR)

Analisis BCR adalah satu cara yang secara umum digunakan dibanyak tempat untuk evaluasi-evaluasi kepastian relative dari alternative investasi pekerjaan, untuk mencapai alokasi yang efektif dari sumber daya yang ada.

2) Biaya Investasi

Setiap pembangunan sistem pembangkit selalumemperhitungkan biaya investasi, sehingga diperlukandata – data yang akurat tentang berbagai komponen PLTMH. Biaya investasi dapat dikelompokan atas beberapa komponen. Untuk mempermudah perhitunganya di kelompokan menjadi dua komponen yaitu biaya modal dan biaya tahunan (Kodati J,R, 1996) ;
Biaya Modal

Biaya modal adalah semua pengeluaran yang dibutuhkan selama proyek berlangsung mulai dari prasurvey sampai proyek selesai dibangun yang termasuk di dalam biaya modal adalah:

- 1) Biaya pekerjaan survey.
- 2) Biaya pekerjaan sipil.
- 3) Biaya pekerjaan mekanikal dan elektrikal.
- 4) Biaya pekerjaan jaringan distribusi.
- 5) Biaya tidak langsung (biaya tak terduga),

presentaseny dapat diestimasikan antara 5 % sampai dengan 15 % (Kodati J,R 1996).

Biaya tahunan

Menurut Ismail dalam Ilves (Jo, 2017), Biaya tahunan adalah biaya yang harus ditanggung oleh proyek selama umur proyek , yang termasuk biaya tahunan adalah :

- 1) Bunga
- 2) Biaya penyusutan
- 3) Biaya operasional pembangkit dan pemeliharaannya.

Payback period dapat diartikan dengan lamanyawaktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan biayainvestasi. Semakin pendek *payback period* dari periodeyang disyaratkan perusahaan, maka proyek investasitersebut dapat diterima.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil perhitungan diperoleh produksi energi yang diterima oleh sistem adalah 38.476.608 kWh/tahun, sedangkan energi listrik yang dapat dimanfaatkan adalah sebesar 4.506.304 kWh/tahun. Maka efisiensi energi pada sistem PLTS adalah sebesar 12,31%. Kehilangan energi terbesar (10.364%) adalah diakibatkan oleh panel PV dalam mengkonversikan energi dari surya menjadi arus DC.

a. Perhitungan Investasi Sistem PLTS

Yang termasuk ke dalam biaya investasi awal untuk rancangan sistem PLTS di Universitas Efarina adalah: biaya untuk komponen sistem PLTS, biaya pengiriman komponen dan biaya instalasi sistem PLTS. Yang termasuk kedalam komponen biaya sistem PLTS adalah pembelian panel dan *inverter*. Untuk jenis biaya pemasangan rak panel sudah termasuk untuk biaya instalasi sistem PLTS.

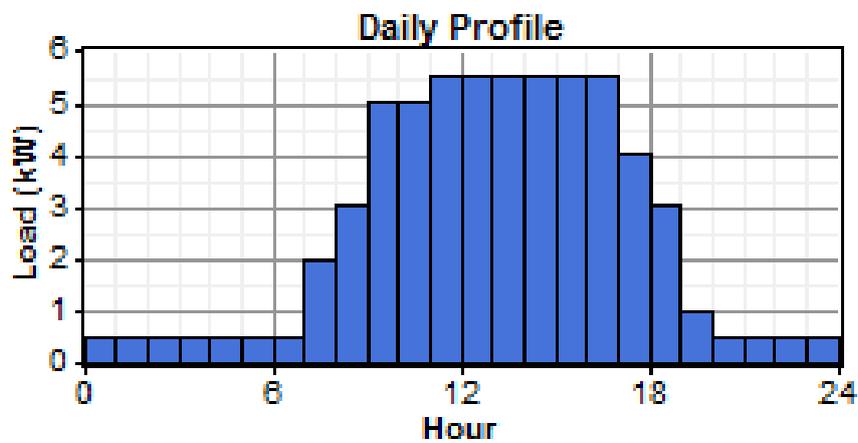
Tabel 1. Investasi Sistem PLTS

Nama Komponen	Item	Harga (Rp)	Total harga (Rp)
Panel Surya YGE	200	2.600.000	520.000.000
Biaya Pengiriman	1	15.000.000	15.000.000

Instalasi	80	1500000	120.000.000
Akomodasi	1	20000000	20.000.000
Rak Panel	50	4550000	227.500.000
Pengiriman rak	50	30000	1.500.000
Kanopi	500	1200000	600.000.000
Inverter	2	70000000	140.000.000
Pengiriman inverter	1	10000000	10.000.000
Total dana investasi			1.654.000.000

b. Beban Listrik Harian

Beban listrik harian dihitung berdasarkan rata-rata pemakaian energi listrik setiap hari di universitas Efarina.

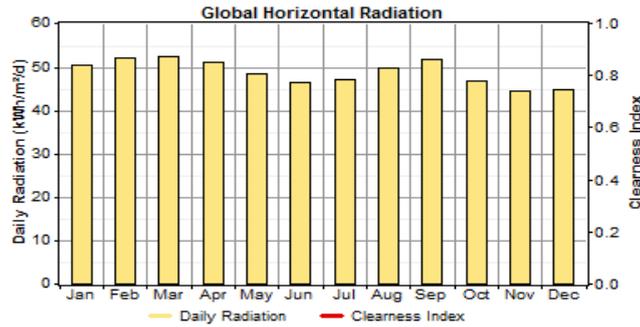


c. Gambar 4 Profil Be Profil Radiasi Matahari

Berdasarkan data yang diperoleh dari simulasi Homer pada lokasi geografis Kampus Efarina yang telah disebutkan sebelumnya diperoleh rata-rata radiasi matahari dan daya yang dihasilkan sebagai berikut:

Tabel 2. Beban Harian

Month	Clearness Index	Daily Radiation (kWh/m ² /d)
January	5.000	50.309
February	5.000	51.929
March	5.000	52.537
April	5.000	51.016
May	5.000	48.275
June	5.000	46.528
July	5.000	47.159
August	5.000	49.578
September	5.000	51.648
October	4.500	46.616
November	4.400	44.409
December	4.500	44.589



Gambar 5. Data Radiasi Harian

d. **Produksi Listrik**

Dari hasil perhitungan diperoleh produksi energi yang diterima oleh sistem adalah 241,221 kWh/tahun, yang dihasilkan dari PV array sebesar 237,927 kWh/tahun dan PLN grid sebesar 3,294 kWh/tahun

Tabel 3. Produksi Listrik dalam 1 Tahun

Component	Production	Fraction
	(kWh/yr)	
PV array	237,927	99%
Grid purchases	3,294	1%
Total	241,221	100%

e. **Konsumsi Listrik Pertahun**

Berikut konsumsi listrik dalam setahun yang dihasilkan oleh simulasi Homer di kampus Efarina:

Tabel 4. Konsumsi Listrik dalam Setahun

Load	Consumption	Fraction
	(kWh/yr)	
AC primary load	22,448	10%
Grid sales	194,981	90%
Total	217,428	100%

Tabel 5. Produksi Listrik vs Penjualan energy

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Purchases (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge (\$)	Demand Charge (\$)
Jan	277	16,614	-16,337	5	0	1,192
Feb	243	15,725	-15,482	4	0	1,068
Mar	285	17,449	-17,164	5	0	1,2
Apr	277	16,493	-16,216	5	0	1,246
May	269	16,079	-15,81	4	0	1,078
Jun	272	14,642	-14,371	4	0	1,076
Jul	279	15,447	-15,168	5	0	1,237
Aug	296	16,252	-15,955	5	0	1,205
Sep	269	16,461	-16,192	5	0	1,173

Oct	276	17,339	-17,063	5	0	1,148
Nov	274	16,058	-15,784	5	0	1,3
Dec	276	16,421	-16,144	4	0	1,068
Annual	3,294	194,981	-191,686	5	- 143,765	13,991

Dari tabel 5 diperoleh energi bersih adalah sebesar 3,294 kW/pertahun dan Energi listrik yang dijual Ke PLN lewat grid sebesar 194,981 kW/pertahun dalam hal ini harga yang diasumsikan pembelian listrik dari PLN sebesar Rp. 1500 per kWh dan energi listrik yang dijual kembali ke PLN sebesar Rp.750 per kWh sesuai dengan peraturan yang berlaku.

f. Analisis Ekonomi Kelayakan Investasi simulasi

Kelayakan investasi PLTS yang akan dirancang di Universitas Efarina ditentukan berdasarkan hasil perhitungan Net Present Value (NPV), Profitability Index (PI) dan Discounted Payback Period (DPP)

Tabel 6. Net Present Cost dan Annualized Cost
Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
PV	34,666	0	14,094	0	-5,118	43,641
Grid	100,000	0	-1,814,937	0	0	-1,714,937
Converter	9,333	4,489	1,409	0	-919	14,313
Other	182,266	0	28,188	0	0	210,454
System	326,265	4,489	-1,771,246	0	-6,037	-1,446,529

Annualized Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
PV	2,460	0	1,000	0	-363	3,096
Grid	7,095	0	-128,774	0	0	-121,679
Converter	662	319	100	0	-65	1,016
Other	12,932	0	2,000	0	0	14,932
System	23,149	319	-125,674	0	-428	-102,635

Berdasarkan tabel 6 diatas investasi ini layak karena sudah memenuhi ketiga kriteria kelayakan dari ketiga metode tersebut dengan harga jual energi sebesar Rp1.440,2. Harga jual energi sebesar Rp 1.440,2 investasi ini jumlahnya masih jauh dengan harga yang sudah ditetapkan sebesar Rp 750. Hal ini tentu saja membebankan PLN dan Pemerintah karena hanya mensubsidi sebesar Rp 760. Tetapi PLN diuntungkan karena tidak mengeluarkan biaya untuk pembangunan PLTS.

V. KESIMPULAN

Setelah melalui tahapan perancangan dan simulasi system secara keseluruhan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemasangan PLTS pada atap bangunan gedung yang didasarkan pada Masterplan Universitas Earina, akan mampu menghasilkan daya listrik 241,221 MW per tahun. Karena sebagian besar kebutuhan listrik di kampus adalah pada siang hari, maka pemasangan PLTS sangat cocok untuk menjadi pertimbangan.
2. Dari hasil analisis dengan investasi awal \$1,446,529, akan berkurang secara signifikan, dan di jika diperhitungkan akan mampu mengembalikan investasi awal selama 25 tahun.
3. Pembangkit listrik tenaga surya yang diusulkan akan menjadi peluang bagi Unifersitas Efarina untuk mendukung target Pemerintah Indonesia dalam penggunaan energi baru terbarukan.
4. Disisi lain kemandirian energi kampus Efarina akan menjadi langkah perintis dalam konteks pembangunan berkelanjutan dalam koteks *green campus*

VI. REFERENSI

- Irwan. (2021). Perancangan PLTS Atap pada Gedung Kantor Bupati Tapanuli Utara dengan Arsitektur Adat Batak Toba. *SPEKTRUM*, 270-280.
- Jo, J. H. (2017). Implementation of a large-scale solar photovoltaic system at a higher Education Institution in Illinois, USA. *AIMS Energy*, 54-62.
- Kristiawan, R. B., Widiastuti, I., & Suharno, S. (2018). Technical and economical feasibility analysis of photovoltaic power installation on a university campus in Indonesia. *MATEC Web of Conferences*, 1-5.
- Lestari, N. M. (2021). Review Status Panel Surya di Indonesia Menuju Realisasi Kapasitas PLTS Nasional 6500 MW. *SPEKTRUM*, 27-37.
- Mineral, K. E. (2019). *Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Pangaribuan, B. M., & dkk. (2020). Desain PLTS Atap Kampus Universitas Udayana: Gedung Rektorat. *SPEKTRUM*, 90-100.
- Silva, G. D. (2017). Utilisation of the System Advisor Model to Estimate Electricity . *International Journal of Software Engineering and its Applications*, 1-12.
- Tarigan, E. (2018). Simulation and Feasibility Studies of Rooftop PV System for University Campus Building in Surabaya, Indonesia. *INternational Journal of Renewable Energy Research*, 896-908.