

Analisa Desain Konfigurasi dan Kapasitas Pada Sistem On – Grid Dengan Implementasi Pada PV Saat Waktu Beban Puncak Menggunakan HOMER

Luluk Anjar Rahmawati^{1*}; Rinaldy Dalimi¹

1. Universitas Indonesia, Jl. Lingkar, Pondok Cina, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat
16424, Indonesia

**Email: luluk.anjar@ui.ac.id*

Received: 21 November 2023 | Accepted: 15 Januari 2024 | Published: 8 Januari 2024

Abstract

This research aims to provide information and methodology that functions to reduce electricity costs in the industrial sector which previously used fossil fuel as electricity fuel by using renewable energy using the Homer application. This research uses photovoltaics installed on the roof of an industry in Bekasi, Indonesia, as time management for industrial peak loads. So that obtain the lowest price with the best system, several scenarios are used that use comparisons to obtain the most appropriate and useful results for this industry. The first scenario is implemented only with the PLN power grid without photovoltaics, or PV. The second scenario applies PV installed and working during industrial WBP (peak load times) with BESS (Battery Energy Storage System), and the rest is carried out by the PLN electricity network with PV at industrial peak load times. The third is a scenario with PV and PLN electricity grid connection with low capital expenditure (material prices) but in compliance with needs. With the three types of scenarios above, a comparison of LCOE, NPV and IRR is used as a reference for the three scenarios and a third scenario is obtained that meets this industry. This is proven by economic results, namely, there is a decrease in daily tariffs to \$0.0818/kWh, IRR 11%, NPV \$14.6M and pay back period 8.6 years.

Keywords: Photovoltaic (PV); Hybrid Optimization Model for Electric Renewable (HOMER); On-Grid; Factory

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan informasi dan metodologi yang berfungsi untuk menurunkan biaya listrik pada sektor industri yang sebelumnya menggunakan fosil sebagai bahan bakar listrik berganti dengan memanfaatkan energi terbarukan dengan menggunakan aplikasi Homer. Penelitian ini menggunakan fotovoltaiik yang dipasang pada atap sebuah industri di Bekasi, Indonesia, sebagai manajemen waktu beban puncak industri. Supaya didapatkan harga terendah dengan sistem terbaik maka digunakan beberapa skenario yang menggunakan perbandingan guna memperoleh hasil yang paling sesuai dan berguna bagi industri ini. Skenario pertama diimplementasikan hanya dengan jaringan listrik PLN tanpa fotovoltaiik, atau PV. Skenario kedua menerapkan PV yang dipasang dan bekerja pada saat WBP (waktu beban puncak) industri dengan BESS (Battery Energy Storage System), dan selebihnya dilakukan oleh jaringan listrik PLN dengan PV pada waktu beban puncak industri. Yang ketiga adalah skenario dengan PV dan koneksi jaringan listrik PLN dengan belanja modal (harga material) yang rendah, namun sesuai dengan kebutuhan. Dengan ketiga jenis skenario di atas maka digunakan perbandingan LCOE, NPV dan IRR sebagai acuan dari ketiga skenario dan diperoleh skenario ketiga yang memenuhi industri ini. Hal ini dibuktikan dengan hasil secara ekonomi yaitu, terdapat penurunan tarif harian menjadi sebesar \$0,0818/kWh, IRR 11%, NPV \$14.6M dan payback period 8,6 tahun.

Kata kunci: Panel Surya (PV); Hybrid Optimization Model for Electric Renewable (HOMER); Jaringan Listrik, Pabrik

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki luas lautan 3.223.137 km² dan luas daratan 1.890.739km² [1] garis pantai terpanjang di dunia. Letak geografis Indonesia yang berada di antara dua benua (Australia dan Asia) serta dua samudera (Pasifik dan Hindia) yang dilintasi garis khatulistiwa menjadikan Indonesia memiliki kekayaan yang melimpah bagi negara ini. Namun kenyataannya Indonesia masih menggunakan bahan bakar fosil sebagai bahan bakar dasar pembakaran untuk menghasilkan listrik. Selain harganya yang murah, jika terus menerus menambang bahan fosil maka bahan tersebut akan semakin berkurang dan harganya semakin mahal karena kelangkaannya. Selain itu, penggunaan fosil sebagai bahan bakar secara massal akan menimbulkan banyak emisi karbon yang dampaknya dapat dirasakan langsung oleh masyarakat.

Dampak lain yang dapat dirasakan dari masifnya penggunaan bahan bakar fosil adalah menipisnya ozon, pemanasan global yang berujung pada bencana yang terjadi satu per satu [2]. Jika seluruh pemimpin negara tidak mengambil tindakan tegas terhadap hal ini, maka bisa menimbulkan bencana global karena seluruh dunia akan merasakan dampaknya secara langsung. Hal ini pula yang menjadi salah satu hal yang mendasari terbentuknya Perjanjian Paris pada tahun 2015 yang mempunyai komitmen bersama untuk menahan laju perubahan suhu rata-rata global di bawah 2° Celcius dan membatasi kenaikan suhu hingga 1,5° Celcius [2].

Salah satu langkah Indonesia dalam transisi Indonesia menuju masa rendah emisi dan iklim yang baik adalah pada sektor Energi Terbarukan (EBT) sesuai dengan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL), sektor Industri yaitu mitigasi CO₂ dan sektor Limbah [2].

Sesuai kebijakan energi nasional untuk dekarbonisasi hingga tahun 2050, kontribusi energi terbarukan mencapai 31,33% dan pada tahun 2025 mencapai 23,09%, dimana emisi gas rumah kaca akan turun menjadi 695,28 juta CO₂eq [9]. Sejalan dengan regulasi yang ada, jenis energi terbarukan yang mudah dipasang (photovoltaic) juga turut berkontribusi. Fotovoltaik atau yang dikenal dengan PV sangat cocok diterapkan di Indonesia seiring peningkatan rasio elektrifikasi. Hampir seluruh wilayah di Indonesia memiliki rata-rata daya listrik sebesar 4kWh/m² dengan rata-rata nasional sebesar 4,8kWh/m²/hari atau setara dengan 207.898MW [4].

Untuk itu dapat menjadi keuntungan bagi Indonesia jika menerapkan bauran energi sesuai RUPTL dan KEN yang dapat menerapkan fotovoltaik di darat pada semua aspek seperti: bangunan, pemukiman, industri, perumahan. Namun karena Indonesia memiliki jumlah pabrik yang banyak yaitu 37.609 tercatat pada bulan Desember 2022 [5]. Jadi, dalam hal ini akan ditekankan untuk pemasangan pabrik. Selain itu dapat menurunkan CO₂ dan menurunkan tarif listrik termasuk operasional dan pemeliharaan. Manfaat tersebut hanya dapat diperoleh melalui perencanaan yang baik karena penerapan PV pada waktu beban puncak dengan jaringan di luar waktu beban puncak memerlukan investasi awal yang cukup besar.

Penerapan energi terbarukan mempunyai keuntungan antara lain: pertama, menambah bauran energi nasional, kedua menurunkan biaya tarif listrik, ketiga harga material menurun [6] sehingga mengurangi biaya belanja modal. Anda hanya perlu menjaga kebersihan PV serta merawat sistem dan materialnya.

Saat ini sudah banyak instalasi PV yang dipasang di Indonesia. dan ini merupakan hal yang baik untuk penyebaran energi terbarukan. karena mudah dipasang. Di pabrik-pabrik terjadi kenaikan tarif listrik yang memungkinkan biaya produksi meningkat. Dasar dari penelitian ini adalah untuk menurunkan biaya tarif listrik guna menekan biaya produksi pada pabrik dimana PV akan digunakan pada waktu beban puncak. sehingga pabrik akan terus berkinerja baik secara ekonomi dengan biaya terbaik. Penggunaan PV pada saat beban puncak juga dimaksudkan agar kelebihan daya pada PV tidak hilang, sehingga daya tersebut akan terpakai penuh pada saat beban puncak.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

Total energi dapat dihitung dengan menggunakan data berdasarkan Global Horizontal Irradiation (GHI) yang diperoleh dari data pada aplikasi Homer dalam satuan kWh/m²/hari seperti terlihat pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Radiasi Harian

Bulan	Radiasi Harian (kWh/m ² /day)
Januari	5,81
Februari	5,99
Maret	5,78
April	5,72
Mei	5,68
Juni	5,80
Juli	5,86
Agustus	5,87
September	5,93
Oktober	6,08
November	5,86
Desember	5,76

Pada penelitian ini perhitungan dilakukan baik secara manual maupun dengan aplikasi. Dengan langkah-langkah berikut:

1. Menentukan lokasi dan mengetahui besarnya penyinaran di wilayah Bekasi menggunakan aplikasi Homer yang terhubung dengan NASA untuk mengetahui penyinaran. Dan tidak diperlukan metode khusus. Pada kriteria baik, PV paling sedikit mempunyai nilai Faktor Pemanfaatan Kapasitas (CuF) sebesar 0,16 – 0,2. Di atas itu bahkan bisa dikatakan memiliki CuF yang sangat baik.
2. Perhitungan dilakukan terhadap nilai rata-rata kapasitas PV dengan P dalam satuan watt peak (wp), Peak Solar Insolation (PSI) dalam satuan watt/m² dan dengan efisiensi modul PV yang digunakan dalam % [7]

$$P(wp) = PVarea \times PSI \times \eta_{pv}$$

3. Selanjutnya menghitung kebutuhan modul yang akan digunakan yaitu dengan N(pv) sebagai modul dibagi P dalam satuan watt peak (wp) dan daya keluaran maksimum modul P dalam watt peak (wp) unit.

$$PN(pv) = \frac{P(wp)}{P(modul)} \quad (1)$$

4. Selain PV, komponen terpenting lainnya adalah inverter, sebagai inverter arus yang sangat berpengaruh dalam penelitian ini. Inverter didefinisikan sebagai N(inv), daya yang dihasilkan oleh PV disebut sebagai P(pv) dengan satuan watt peak (wp) dan daya maksimum inverter sebagai P(inv)

$$N(inv) = \frac{P(pv)}{P(inv)} \quad (2)$$

Tabel 2. Spesifikasi Komponen

Deskripsi		Spesifikasi
PV TSM-DE17M(II) [9]	Peak power (P _{max})	455 Wp
	Power tolerance	0 ~ ±5 %
	Rated voltage (V _{MPP})	41,2 V
	Rated current (I _{MPP})	11,06 A
	Open circuit voltage (V _{OC})	49,8V
	Short circuit current (I _{SC})	11,61 A
	Efficiency (%)	20,8 %
Inverter [12]	Voltage PV Input Max. (V _{PV-max})	1100 V
	Nighttime Power Consumption	< 3,5 W
	Voltage Start-up Input (V _{PV-start})	200 V
	MPP Voltage range (V _{PV-range})	200-1000 V
	Number of MPP trackers	10
	Max. number of Inputs	20
	Nominal output current	152,0 A
	Max output current	168,8 A
	Max. Total Harmonic Distortion	< 3 %

*Seluruh sistem kelistrikan pada PV mengacu pada standard kondisi pengujian: 1000W/ m², AM1.5, 25°C

5. Setelah itu dilakukan perhitungan keekonomian untuk mengetahui apakah dengan data yang tersedia, kebutuhan yang diinginkan dapat terpenuhi dengan skema yang ada. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

Net Present Value (NPV): NPV merupakan suatu metode yang digunakan dalam setiap analisis ekonomi untuk mengetahui apakah proyek yang dijalankan akan memberikan keuntungan di masa depan atau tidak. Ada tiga jenis NPV, yaitu: NPV nol (keuntungan hanya diperoleh sebagai penutup modal awal tetapi tidak ada keuntungan yang dihasilkan), NPV positif (proyek layak dilaksanakan karena akan memberikan keuntungan yang baik) dan NPV negatif (proyek tersebut akan merugikan karena tidak memberikan keuntungan). Adanya ketiga jenis NPV ini memberikan informasi bahwa NPV sangat mempengaruhi jalannya suatu proyek. NPV dapat dirumuskan sebagai berikut [10]

$$NPV = \sum_{n=0}^N \left(\frac{Fn}{(1+d)^n} \right) \quad (3)$$

Fn adalah arus kas dalam satu tahun (n). N adalah periode dilakukannya analisis dan d adalah tingkat diskonto tahunan dalam skala Bank Indonesia sejak tanggal dilakukan perhitungan.

Tingkat Pengembalian Internal (IRR): IRR adalah tingkat pengembalian yang diharapkan dalam suatu proyek. Nilai IRR yang baik (>0) berarti semakin baik pula nilai pengembangan proyek yang dilaksanakan. IRR dapat dirumuskan sebagai berikut [8]:

$$NPV = \sum_{n=0}^N \left(\frac{Fn}{(1 + IRR)^n} \right) = 0 \quad (4)$$

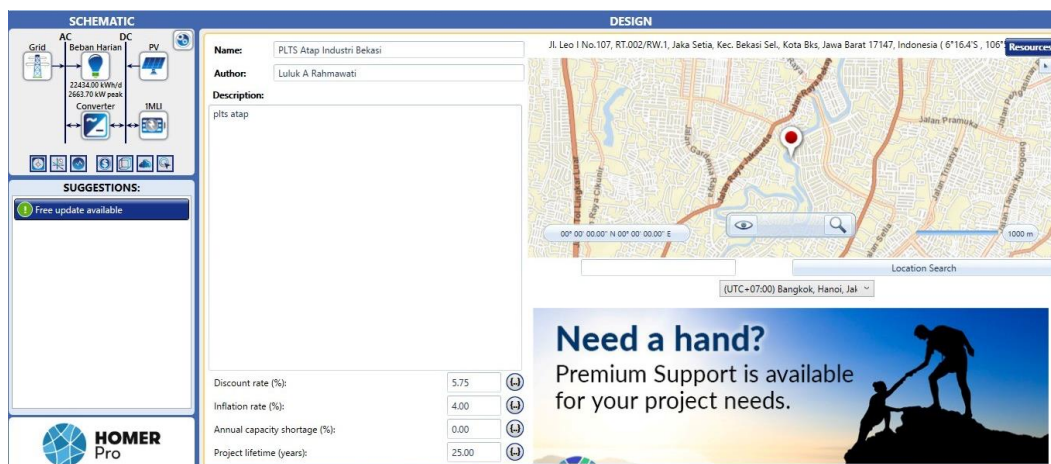
Levelized Cost of Energy (LCOE): Total biaya seumur hidup menurut jangka waktu proyek dalam perhitungan dibagi dengan jumlah energi listrik yang dihasilkan sepanjang umur menurut jangka waktu proyek dalam perhitungan

$$LCOE = \sum_{n=1}^N \left(\frac{\frac{In + Mn + Fn}{(1 + d)^n}}{\frac{En}{(1 + d)^n}} \right) \quad (5)$$

Dimana In adalah pengeluaran investasi pada tahun n , Mn adalah Operasi dan Pemeliharaan pada tahun n , F_n adalah pengeluaran bahan bakar pada tahun n , dengan d adalah tingkat diskonto, dan En adalah Listrik yang dihasilkan pada tahun n dengan Mn diperoleh dari 1% harga investasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi PV dan grid. Gambar 1 menunjukkan data masukan yang diperlukan untuk menghitung sistem melalui aplikasi Homer.



Gambar 1. Data Pada Aplikasi Homer

Gambar 1 menunjukkan skema sistem yang digunakan pada penelitian ini, yaitu jaringan yang dipasang dengan PV, inverter, beban (pabrik) dan BESS. Tingkat diskonto yang digunakan sebesar 5,75% dan tingkat inflasi sebesar 4% dengan umur proyek selama 25 tahun berdasarkan data material [10] [11].

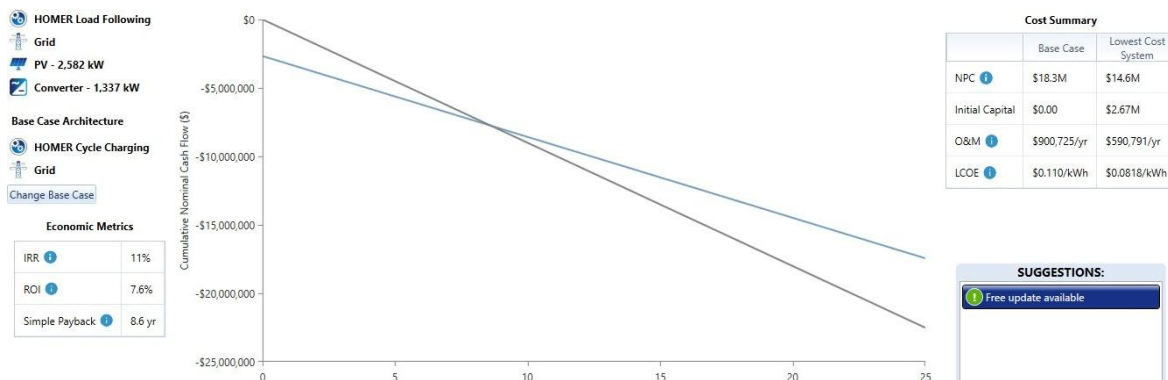
Architecture				Cost				System				PV				1MLJ	
PV (kW)	1MLJ	Grid (kW)	Converter (kW)	Efficiency1	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frec (%)	Total Fuel (L/yr)	Capital Cost (\$)	Production (kWh/yr)	Autonomy (hr)	Annual Throu (kWh/yr)		
2,582	1	999,999	1,337	0	LF	\$14.6M	\$0.0818	\$590,791	\$2.67M	41.8	0	1,807,212	4,437,252				
2,615		999,999	1,334	0	LF	\$15.2M	\$0.0868	\$590,239	\$3.20M	43.6	0	1,830,568	4,494,596	0.856	298,843		
		999,999		0	CC	\$18.3M	\$0.110	\$900,725	\$0.00	0	0						
	1	999,999	83.3	0	LF	\$19.3M	\$0.116	\$922,997	\$553,946	0.00881	0			0.856	800		

Gambar 2. Perbandingan Hasil

Terdapat 3 skenario yang digunakan untuk memperoleh dan menunjukkan hasil ekonomi yang paling murah, yaitu skenario 1, jika sistem hanya bekerja pada grid tanpa menggunakan PV dan hasil ini menunjukkan NPV yang dihasilkan sebesar \$18.3M dengan LCOE sebesar \$0,110, biaya operasional yang mahal sebesar \$900.25/tahun.

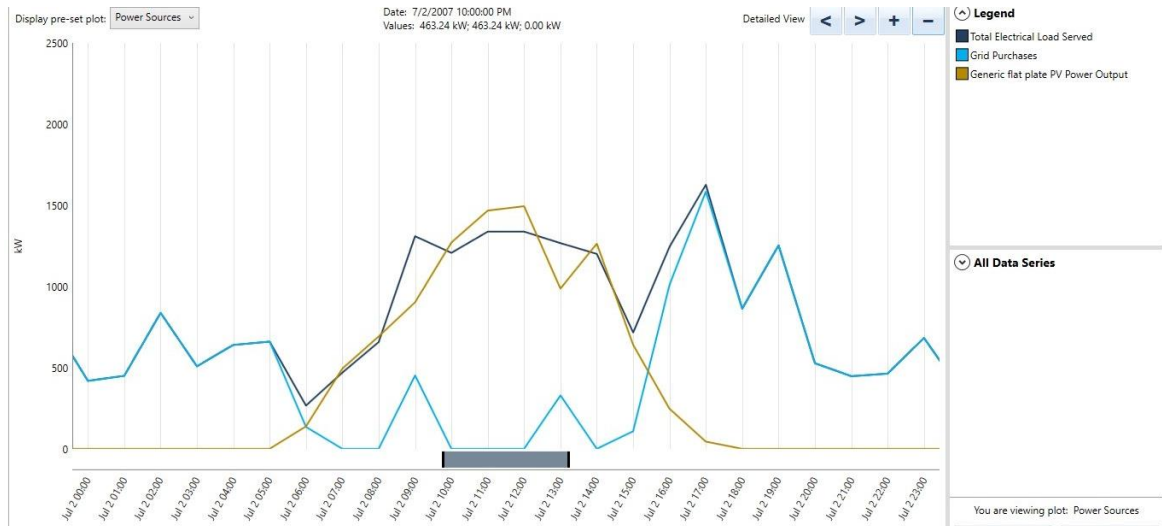
Skenario 2 menunjukkan sistem bekerja pada siang hari menggunakan PV dan apabila daya kurang maka akan diinjeksi oleh jaringan dan Bess yang dilakukan pengisian pada siang hari yang dapat digunakan pada malam hari. Hasil dari skenario 2 diperoleh NPV sebesar \$15,2M dengan LCOE sebesar \$0,0868, biaya operasional pada skenario 2 lebih rendah dibandingkan skenario 1 yaitu \$590,239/tahun. Skenario 2 menghasilkan produksi PV tahunan sebesar 4.494.596kWh/tahun dengan biaya modal sebesar \$1.830.568.

Terakhir, skenario 3 menunjukkan sistem bekerja menggunakan PV pada beban puncak dan sisanya dikerjakan oleh jaringan listrik. pada skenario ini NPV yang dihasilkan sebesar \$14,6 juta dengan LCOE sebesar \$0,0818. biaya operasional pada skenario 3 lebih besar dibandingkan skenario 2 yaitu \$590.791/tahun. dengan skenario 3, 4.437.252kWh/tahun PV dapat diproduksi dengan biaya modal sebesar \$1.807.212 lebih rendah dari skenario 2



Gambar 3. Metrik Keekonomian

Dengan hasil tersebut pada Gambar 3 dijelaskan bahwa IRR yang diperoleh sebesar 11% dengan ROI sebesar 7,6% dan *payback period* selama 8,6 tahun.



Gambar 4. Analisis Detail Terhadap Series Waktu

Kemudian terlihat pada grafik Gambar 4 di atas, bahwa pada jam beban puncak, PV digunakan sebagai penyedia daya beban dan sisa waktu beban puncak pabrik diinjeksikan oleh jaringan listrik. sehingga pembiayaan bersama menjadi berkurang dan terjadi pembiayaan yang paling murah yaitu dengan menggunakan skenario ke 3 sistem PV *on grid*, dimana PV digunakan sepenuhnya untuk beban pada siang hari tanpa adanya BESS.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa konfigurasi penerapan PV pada waktu beban puncak akan memberikan manfaat. Terlihat bahwa kombinasi PV – Grid memberikan hasil keekonomian terendah dan terbaik. Seiring berjalannya waktu, hal ini juga didukung oleh harga PV yang akan terus menurun sehingga mengurangi biaya capex pada proyek tersebut [6].

Pada penelitian ini jika diterapkan dengan tambahan BESS akan lebih menguntungkan dibandingkan jika hanya menggunakan Grid saja. namun tetap saja LCOE termurah adalah memasang PV dan Grid tanpa Bess, seperti terlihat pada Gambar 2.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan potensi pemanfaatan PV On Grid dengan menggunakan PV pada waktu beban puncak dengan konfigurasi yang optimal dan memaksimalkan penggunaan PV pada siang hari sebagai acuan penurunan tarif listrik di pabrik. Dengan perkiraan total kebutuhan energi listrik harian pabrik sebesar 22.434 kWh per hari. Hasil penelitian menunjukkan daya PV yang dihasilkan sebesar 2,582 kW dan konverter yang dihasilkan sebesar 1,337kW, sehingga dibutuhkan pemasangan modul jumlah panel surya sebanyak 5,675 panel dan inverter sebanyak 14 buah dengan masing – masing inverter sebesar 100kW, dengan konfigurasi modul seri 15 hingga 16 buah per serinya. (karena keterbatasan kapasitas konversi inverter).

Selain dari PV untuk mengoptimalkan pasokan pada waktu puncak beban pabrik, perancangan ini juga memberikan perbandingan penggunaan PV dengan grid, grid tanpa PV dan grid dengan PV dan BESS. Dengan skenario ini, hasil yang paling optimal adalah kolaborasi PV dengan jaringan listrik. Dengan menekankan PV hanya pada saat beban puncak. Hasil penelitian ini diharapkan dapat membuat tarif pada pabrik di Bekasi menjadi lebih murah dan membantu menghemat biaya produksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Romadhona, & Dalimi, R. (2023). Economic Analysis of Solar Photovoltaic Power Plant Planning at Taman Melati Depok Apartment. *Jurnal Pendidikan Teknologi Kejuruan*, 6(2), 98–105. <https://doi.org/10.24036/jptk.v6i2.32823>
- [2] Pujantoro, M. (2019). Levelized Cost of Electricity in Indonesia. www.iesr.or.id
- [3] Fahmi, J., Windarta, J., & Wardaya, A. Y. (2021). Studi Awal Penerapan Distributed Generation untuk Optimalisasi PLTS Atap On Grid pada Pelanggan PLN Sistem Jawa Bali untuk Memenuhi Target EBT Nasional. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 2(1), 1–13. <https://doi.org/10.14710/jebt.2021.10038>
- [4] Bagaskoro, B., Windarta, J., & Denis. (2019). PERANCANGAN DAN ANALISIS EKONOMI TEKNIK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA SISTEM OFFGRID MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK HOMER DI KAWASAN WISATA PANTAI PULAU CEMARA (Vol. 8, Issue 2). <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>
- [5] INFORMASI INDUSTRI 2022. (n.d.)
- [6] Khare, V., Chaturvedi, P., & Mishra, M. (2023). Solar energy system concept change from trending technology: A comprehensive review. In *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy* (Vol. 4). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2023.100183>
- [7] Savira, R., & Sudiarto, B. (2023). Effect of PLTS Power Factor Settings on Power Losses and Voltage Conditions in 20 kV Medium Voltage Networks. *Jurnal Pendidikan Teknologi Kejuruan*, 6(2), 80–89. <https://doi.org/10.24036/jptk.v6i2.32523>
- [8] Faruqui, M. F. I., Jawad, A., & Masood, N. Al. (2023). Techno-economic assessment of power generation potential from floating solar photovoltaic systems in Bangladesh. *Heliyon*, 9(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16785>
- [9] I-V CURVES OF PV MODULE(445W) P-V CURVES OF PV MODULE(445W). (2020a). www.trinasolar.com
- [10] Bank Indonesia. (2023a). BI Rate
- [11] Bank Indonesia. (2023b). Data Inflasi Period Inflation Data.
- [12] SUN2000-100KTL-M1. (n.d.-a).