

ANALISIS PENGARUH INSTALASI SOLAR PV ON-GRID 2,6 MWP TERHADAP KONSUMSI ENERGI LISTRIK DAN TRANSISI ENERGI BERSIH PADA SISTEM KELISTRIKAN

Lin Prasetyani, Mahameru Adjie Firdani*, Moh Irkham Baihaqi, Agus Ponco, dan Abdillah Aziz

Program Studi Mekatronika, Juran Teknik Mesin dan Industri, Bekasi, 17530, Indonesia

E-mail: mahameru.Adjie@polytechnic.astra.ac.id*

Abstract— The high electricity demand in the automotive industry in Indonesia significantly increases operational costs and carbon emissions due to the continued reliance on fossil fuel-based energy sources. To address this issue, a 2.6 MWp grid-connected solar photovoltaic (PV) system was installed within an automotive company's internal power network. The system is equipped with power optimizers to enhance efficiency and enable real-time performance monitoring via an online monitoring platform. The methodology involved the design and implementation of the grid-tied PV system, installation of power optimizers on each panel string, integration of monitoring systems, and energy consumption measurements using monitoring devices installed on the low-voltage main distribution panel and combiner panel. Monitoring results indicate that the energy produced by the PV system directly reduced electricity consumption from the national grid (PLN), with the reduction corresponding to the solar energy output. While detailed carbon emission metrics were not explicitly calculated, the installed 2.6 MWp capacity is expected to contribute significantly to reducing dependence on fossil fuels. This study demonstrates that the implementation of an integrated PV system can effectively support clean energy transitions in the industrial sector and represents a concrete step by an automotive company toward lowering its carbon footprint and aligning with global sustainability goals.

Keywords : *Solar PV, On-Grid, Energy Monitoring*

Abstrak—Tingginya kebutuhan energi listrik dalam industri otomotif di Indonesia berdampak pada meningkatnya biaya operasional dan emisi karbon, karena sebagian besar energi masih bersumber dari bahan bakar fosil. Untuk menjawab tantangan ini, dilakukan instalasi sistem pembangkit listrik tenaga surya (solar photovoltaic/PV) berkapasitas 2,6 MWp yang terhubung ke jaringan listrik internal perusahaan. Sistem ini dilengkapi dengan power optimizer untuk meningkatkan efisiensi dan memungkinkan pemantauan kinerja secara real-time melalui sistem monitoring daring. Metodologi yang digunakan mencakup perancangan sistem PV grid-connected, pemasangan power optimizer di setiap string panel, integrasi sistem monitoring, serta pengukuran konsumsi energi melalui alat pemantau energi pada panel distribusi tegangan rendah dan panel combiner. Hasil pemantauan menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan sistem PV secara langsung menurunkan konsumsi listrik dari jaringan PLN, dengan selisih konsumsi sesuai dengan energi yang dihasilkan sistem surya. Meskipun detail matrik pengurangan karbon belum dihitung secara eksplisit, kapasitas sistem sebesar 2,6 MWp berkontribusi signifikan dalam menurunkan ketergantungan terhadap energi berbasis fosil. Studi ini menunjukkan bahwa penerapan sistem PV terintegrasi mampu mendukung transisi energi bersih di sektor industri dan menjadi langkah nyata perusahaan otomotif dalam mengurangi jejak karbon serta memenuhi target keberlanjutan global.

Kata Kunci : *Solar PV, On-Grid, Monitoring Energi*

I. PENDAHULUAN

Sebuah perusahaan otomotif di Karawang memiliki berbagai divisi, termasuk *Production Engineering & Tooling*, tempat penulis menjalani magang di departemen *Utility & Building Engineering*. Departemen ini mengelola sumber energi perusahaan, seperti gas, air, dan listrik, dengan tantangan utama berupa tingginya konsumsi listrik dan emisi karbon. Untuk mencapai target pengurangan emisi karbon sebesar 16% pada 2025 (sekitar 27 kTon CO₂), perusahaan merumuskan tiga strategi utama: *daily kaizen*, penggunaan teknologi rendah emisi, dan adopsi energi terbarukan. Penulis berfokus pada

strategi terakhir, khususnya pemanfaatan *solar photovoltaic* (PV) yang ditargetkan mampu mengurangi emisi hingga 10 kTon CO₂.

Perusahaan menghasilkan 89% emisi karbon dari listrik dan 11% dari gas, sehingga dirancang transisi energi, seperti konversi gas alam menjadi biogas dan listrik PLN menjadi listrik tenaga angin atau *solar PV*. Potensi *solar PV* cukup besar mengingat intensitas radiasi matahari tinggi di Karawang serta ketersediaan area atap luas. Secara global, industri otomotif menargetkan *carbon neutral* pada 2060, sejalan dengan komitmen Indonesia dalam *Enhanced Nationally Determined Contribution* (ENDC) 2022

yang menaikkan target penurunan emisi karbon dari 29% menjadi 31% pada 2030. Rencana pemasangan *solar PV* hingga 2025 sebesar 8,1 MWp diharapkan mengurangi emisi karbon secara signifikan dan menekan ketergantungan terhadap listrik PLN, yang saat ini menyuplai hingga 18 MW *peak* di *Plant* 1 dan 2 dengan emisi harian mencapai 163,2-ton CO₂.

Instalasi *solar PV* dibagi menjadi beberapa tahap, mulai dari skala kecil (<1 MWp), Tahap 1 (2,3 MWp), Tahap 2 (2,6 MWp), hingga Tahap 3 yang direncanakan selesai pada 2025. Teknologi seperti *power optimizer* diajukan untuk meningkatkan efisiensi dengan memastikan setiap modul *solar PV* beroperasi optimal tanpa mempengaruhi sistem secara keseluruhan. Selain itu, sistem *monitoring* dan *display* akan menampilkan data statistik energi yang diserap dan digunakan oleh perusahaan secara atraktif. Penelitian ini bertujuan mendukung target pengurangan emisi karbon dan kebijakan energi terbarukan nasional, serta mengoptimalkan sumber energi terbarukan dalam proses manufaktur. Manfaatnya mencakup pengurangan efek rumah kaca, peningkatan kualitas udara, serta efisiensi biaya operasional melalui pengurangan konsumsi listrik dari PLN.

II. METODE

Penelitian disusun dengan menggunakan metode *action research* yang merupakan bentuk penyelidikan yang memungkinkan praktisi untuk terlibat dalam analisis sistematis dan refleksi terhadap praktik mereka sendiri. Berikut adalah sejumlah langkah yang dilakukan dalam menggunakan metode tersebut, diantaranya: (1) Identifikasi situasi; (2) Penetapan tujuan; (3) Implementasi tindakan; (4) Pengumpulan data; (5) Refleksi dan analisis data; (6) Identifikasi perbaikan; (7) Implementasi perbaikan; dan (8) Evaluasi hasil dan refleksi berkelanjutan.

III. HASIL

3.1 Hasil Tes Instalasi

Uji kontinuitas seperti pada Gambar 1 dilakukan sebelum mengaktifkan inverter dan ACB pada panel combiner. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem berfungsi normal, tanpa alarm atau indikasi kesalahan pada rangkaian kabel selama proses commissioning melalui aplikasi monitoring. Hal ini memastikan seluruh kabel telah tersambung dengan benar. Inverter yang digunakan juga dilengkapi fitur proteksi, termasuk arc fault protection, yang akan mendeteksi kesalahan seperti pertukaran kutub positif-negatif atau pembalikan fasa kabel AC. Inverter yang dilengkapi dengan fitur proteksi, termasuk *arc fault protection*, akan memberikan indikasi kesalahan pemasangan jika

terjadi kesalahan seperti tertukarnya kutub positif dan negatif atau terbaliknya fasa kabel AC.



Gambar 1. Tes Kontinuitas

Tes Insulasi pada Gambar 2 dilakukan sebelum ACB pada *combiner panel* dan *inverter* dinyalakan untuk memastikan kondisi kabel dalam keadaan baik dan terhubung. Hasil pengecekan menunjukkan kondisi optimal dengan tegangan kerja 380 V (*AC voltage* perusahaan) dan nilai minimum insulasi 380 MΩ, sementara hasil insulasi terendah tercatat di atas 600 MΩ.



Gambar 2. Tes Insulasi

Rotary test dilakukan dengan cara menyalakan ACB dan mengetes hasil putaran pada alat *rotary test*. Hasil putaran sewaktu pengecekan saat panel *combiner* dipasang sudah sesuai dengan standar nya yaitu searah putaran jarum jam.

3.2 Hasil Pengujian Produksi Energi

Hasil pengujian melalui aplikasi *SetApp SolarEdge* dan pengecekan *power meter* pada *combiner panel* menunjukkan bahwa keluaran daya *solar PV* dapat mengurangi konsumsi listrik dari PLN. Data keluaran daya ditampilkan pada *display* di lobi perusahaan di Karawang. Proses *commissioning* dilakukan dengan *scanning inverter* dan prosedur aktivasi melalui akun

SolarEdge. Untuk Commissioning dapat dilihat pada Gambar 3 dibawah ini.



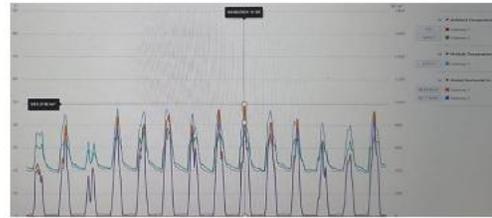
Gambar 3. Commissioning Display

Power meter menunjukkan nilai yang saling bersesuaian antara panel *combiner* dengan panel MVMDB. Hasil baca power meter dapat dilihat pada Gambar 4 dibawah ini.

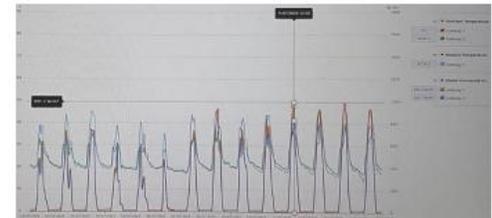


Gambar 4. Kondisi 1 PM Panel *Combiner* (A.1); Kondisi 1 PM Panel MVMDB (A.2); Kondisi 2 Panel *Combiner* (B.1); Kondisi 2 Panel MVMDB (B.2)

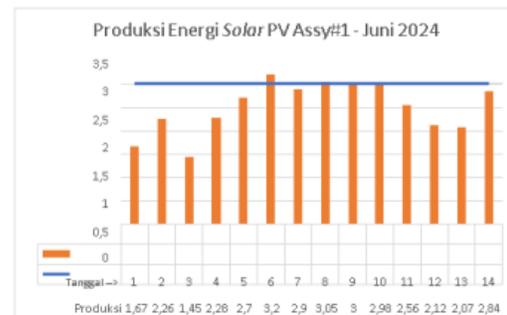
Data *monitoring mySolarEdge* menunjukkan daya yang dihasilkan tidak sesuai dengan target berdasarkan simulasi *SolarEdge*. Analisis mengungkap bahwa faktor seperti penurunan radiasi matahari, terlihat pada Gambar 5–9, mempengaruhi efisiensi produksi energi di setiap lokasi.



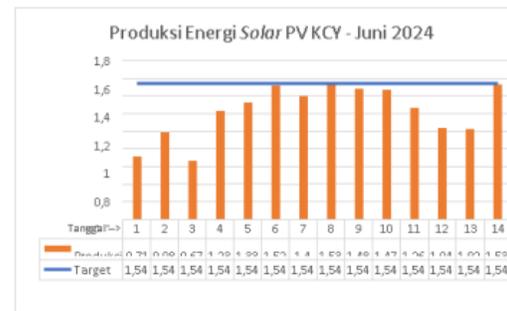
Gambar 5. Grafik Sensor Solar PV Juni 2024



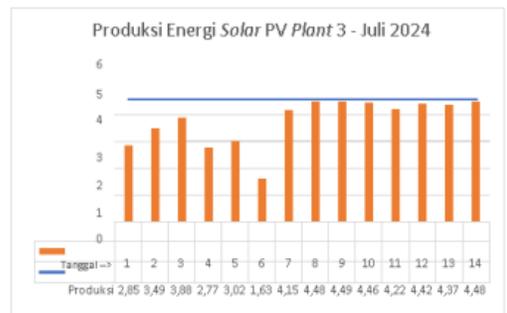
Gambar 6. Grafik Sensor Solar PV Juli 2024



Gambar 7. Produksi Energi Solar PV Assy



Gambar 8. Produksi Energi Solar PV KCY



Gambar 9. Produksi Energi Solar PV Plant 3

Penurunan radiasi akibat cuaca dan polusi menghambat produksi energi. Modul di KCY tak terdeteksi sejak 18 Juni 2024, kemungkinan akibat ketidaksesuaian *power optimizer* dengan *inverter*.

Berdasarkan hal tersebut, disarankan pengecekan instalasi. Hasil pengecekan output inverter dapat dilihat pada Gambar 10. Setelah pemasangan solar PV, konsumsi PLN berkurang, bahkan 0 kWh pada Gambar 11-13, dengan peningkatan sesekali akibat variasi kebutuhan.



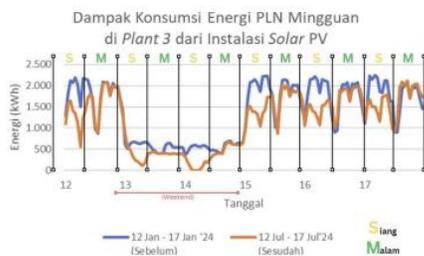
Gambar 10. Hasil Pengecekan Inverter KCY : (1) Inverter 1; (2) Inverter 2; (3) Inverter 3



Gambar 11. Konsumsi Listrik PLN Assy

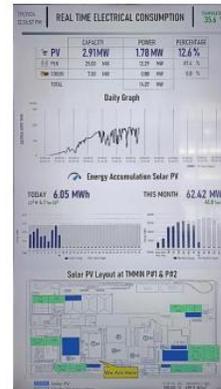


Gambar 12. Konsumsi Listrik PLN Common Yard



Gambar 13. Konsumsi Listrik PLN Plant 3

Display pada Gambar 14 menampilkan lokasi solar PV, produksi energi, pengurangan emisi karbon, serta data pendukung seperti histori, suhu, grafik, rasio produksi, dan notifikasi abnormalitas.



Gambar 14. Monitoring Display Sebelum Koneksi Solar PV Tahap 2

3.3 Analisa Hasil

Tabel 1. Efek terhadap Kualitas

Efek Kualitas	
Sebelum	Sesudah
Produksi energi dari jaringan PLN terkadang mengalami gangguan tiba tiba sehingga sesekali menimbulkan istilah 'flicker' yang mengindikasikan keadaan berkedipnya tegangan dalam waktu tertentu --> resiko merusak kondisi produksi pada mesin produksi	Kondisi listrik PLN yang 'trip' dapat dibantu oleh energi solar PV sehingga ketika 'flicker' maka listrik yang terputus sejenak masih dapat disuplai oleh energi solar PV sehingga keadaan mesin yang memerlukan listrik secara stabil dapat tertanggulangi
Tampilan hasil data produksi energi ditampilkan dalam bentuk tabel yang memerlukan proses waktu dalam memahami	Tampilan hasil data produksi energi ditampilkan dalam tampilan yang mudah dipahami dengan grafik, tampilan yang menarik, serta terbaharui berkala secara otomatis

Tabel 1 menunjukkan bahwa instalasi *solar PV* mengurangi emisi karbon, menekan biaya energi, dan memungkinkan pemantauan konsumsi listrik secara efisien melalui sistem *monitoring*.

Tabel 2. Efek terhadap Biaya

Efek Biaya**	
Sebelum	Sesudah
(12,76 MW PLN - 2,91 MWp Solar PV)	(12,76 MW PLN - 5,51 MWp Solar PV)
Rata-rata Biaya Listrik Per Bulan = (Biaya listrik saat jam efektif solar PV + Biaya listrik diluar jam efektif solar PV)	Rata-rata Biaya Listrik Per Bulan = (Biaya listrik saat jam efektif solar PV + Biaya listrik diluar jam efektif solar PV)

$$\begin{aligned}
 &= (\text{Rp}1.350,- \times 9.850 \text{ kW} \times 3,8 \times 30) + (\text{Rp}1.350,- \times 12.760 \text{ kW} \times (24-3,8) \times 30) \\
 &= \text{Rp}11.954.871.000,-
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Rata-rata Biaya Listrik Per Tahun} = \text{Rp}11.954.871.000 \times 12 \\
 &= \text{Rp}143.458.452.000,-
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Jam Kerja Manusia Untuk Monitoring per Bulan} = 4 \text{ Jam Perjalanan \& Download Data} \times 30 \text{ hari} \times \text{Rp}32.861,-/\text{jam}^* \\
 &= \text{Rp}3.943.320,-
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Jam Kerja Manusia Untuk Monitoring per Tahun} = \text{Rp}3.943.320, \times 12 \\
 &= \text{Rp}47.319.840,-
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= (\text{Rp}1.350,- \times 7.250 \text{ kW} \times 3,8 \times 30) + (\text{Rp}1.350, \times 12.760 \text{ kW} \times (24-3,8) \times 30) \\
 &= \text{Rp}11.554.731.000,-
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Rata-rata Biaya Listrik Per Tahun} = \text{Rp}11.554.731.000 \times 12 \\
 &= \text{Rp}138.656.152.000,-
 \end{aligned}$$

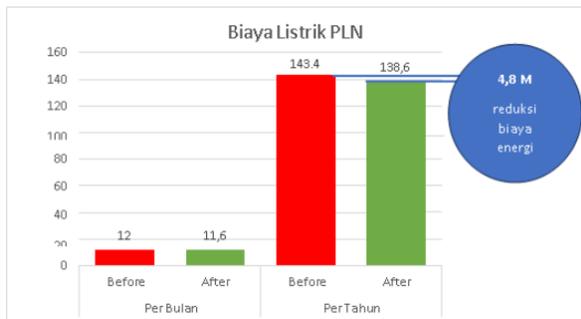
$$\begin{aligned}
 &\text{Jam Kerja Manusia Untuk Monitoring per Bulan} = 1 \text{ Menit Perjalanan \& 0 menit Download Data} \times 30 \text{ hari} \times \text{Rp}548,-/\text{menit} \\
 &= \text{Rp}16.430,-
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Jam Kerja Manusia Untuk Monitoring per Tahun} = \text{Rp}16.430,- \times 12 = \text{Rp}197.166,-
 \end{aligned}$$

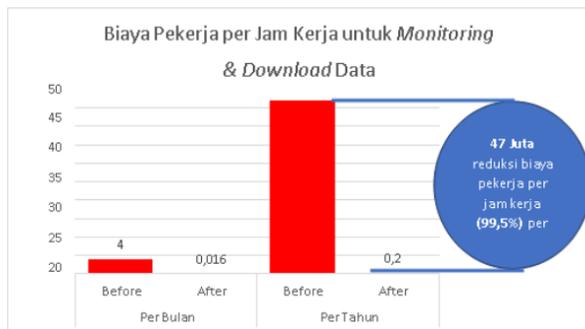
*Estimasi 120 jam kerja per bulannya dengan dibandingkan UMR Karawang tahun 2024

**Perhitungan biaya pada rentang waktu pukul 6 pagi hingga 6 petang

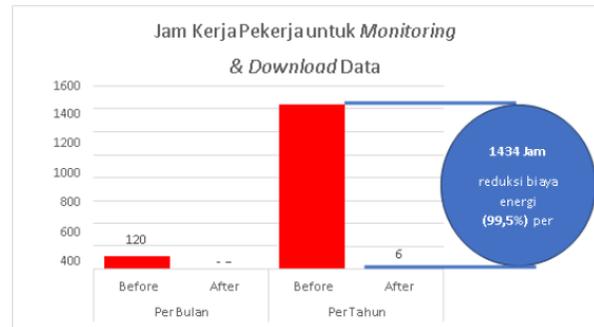
Gambar 15-17 adalah grafik Reduksi. Baik reduksi biaya energi listrik, biaya yang melakukan monitoring dan jam kerja operator maintenance.



Gambar 15. Grafik Reduksi Biaya Energi Listrik



Gambar 16. Grafik Reduksi Biaya Pekerja



Gambar 17. Grafik Reduksi Jam Kerja

Tabel 3. Efek Terhadap Waktu Penerimaan

Efek Waktu Penerimaan	
Sebelum	Sesudah
Jam Kerja Manusia Untuk Monitoring per Bulan = 4 Jam Perjalanan & Download Data x 30 hari = 120 Jam Kerja/Pekerja	Jam Kerja Manusia Untuk Monitoring per Bulan = 1 Menit Perjalanan & 0 menit Download Data x 30 hari = 30 menit jam Kerja/Pekerja

Tabel 3 menunjukkan sistem monitoring terpusat menghemat 1.434 jam per tahun, mengurangi waktu pengumpulan data dari 7 jam menjadi 1 menit, dengan akses lebih cepat dan tampilan intuitif.

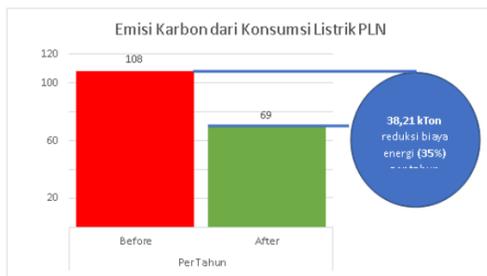
Tabel 4. Efek Terhadap Kesehatan dan Keamanan

Efek Kesehatan dan Keamanan	
Sebelum	Sesudah
Emisi Karbon dari energi listrik eksternal memberikan resiko gangguan sistem reproduksi, masalah pemapasan, penyakit jantung, dan gangguan kesehatan lainnya	Energi terbarukan tidak menciptakan emisi karbon mencegah resiko terhadap kesehatan yang ditimbulkan emisi karbon
Emisi Karbon dari energi listrik eksternal memberikan resiko gangguan terhadap cuaca, kondisi lingkungan, pemanasan global, kenaikan permukaan laut, dan masalah lingkungan lainnya	Energi terbarukan tidak menciptakan emisi karbon mencegah resiko terhadap masalah lingkungan
Monitoring secara manual memerlukan perjalanan selama lebih dari 4,2 Km dengan berbagai resiko keamanan dalam perjalanannya dari mulai resiko dari tertabrak kendaraan di perjalanan hingga jatuh dari ketinggian	Monitoring secara manual memerlukan perjalanan selama lebih dari 4,2 Km dengan berbagai resiko keamanan dalam perjalanannya dari mulai resiko dari tertabrak kendaraan di perjalanan hingga jatuh dari ketinggian

Tabel 4 menunjukkan bahwa energi surya mengurangi emisi karbon, menekan risiko kesehatan, dan meningkatkan keamanan pekerja melalui sistem monitoring terpusat.

Tabel 5. Efek Terhadap Moral

Efek Moral	
Sebelum	Sesudah
Minim pengetahuan mengenai emisi karbon dan dampak lingkungan yang dihasilkan dari penggunaan energi fosil dari listrik produksi PLN	Meningkatkan kepedulian dan partisipasi dalam upaya menjaga lingkungan dan kesehatan tubuh dari emisi karbon
Tim kesulitan dan menghabiskan waktu dalam proses pengumpulan data produksi energi	Membantu tim dalam proses pengumpulan data produksi energi secara mudah dan cepat
Emisi Penggunaan energi Listrik PLN: 249,99 Ton CO ₂ /Hari Atau 107,67 kTon CO ₂ /Tahun	Emisi Penggunaan energi Listrik PLN: 190,30 Ton CO ₂ /Hari Atau 69,46 kTon CO ₂ /Tahun



Gambar 18. Grafik Reduksi Emisi Karbon

Gambar 18 menunjukkan bahwa instalasi ini meningkatkan kesadaran pekerja akan energi terbarukan serta mengurangi emisi karbon perusahaan otomotif tersebut sebesar 38,21 kTon CO₂/tahun atau 35% dari konsumsi listrik PLN siang hari (Gambar 19).

IV. KESIMPULAN

Instalasi sistem solar PV telah terbukti memberikan manfaat signifikan bagi perusahaan otomotif, baik dari segi teknis, ekonomi, maupun lingkungan. Sistem ini mampu menekan biaya energi hingga Rp4,8 miliar per tahun, dengan estimasi waktu pengembalian investasi (payback period) selama 7 tahun dan potensi keuntungan kumulatif mencapai Rp90,6 miliar dalam jangka waktu 25 tahun. Dari sisi lingkungan, sistem ini berkontribusi pada pengurangan emisi karbon sebesar 38,21 kTon CO₂ per tahun, atau setara dengan 35% dari konsumsi listrik PLN pada siang hari. Selain itu, penerapan energi terbarukan ini juga mendorong

peningkatan kesadaran pekerja terhadap pentingnya transisi energi bersih dan keberlanjutan operasional industri.

V. DAFTAR PUSTAKA

[1] Alam, K. N., Priadi, A. R., Pratama, T. B., & Saragih, Y. (2023). Perancangan sudut panel surya untuk sistem solar tracker di Kabupaten Karawang menggunakan metode simulasi PVsyst. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur, dan Energi*, 6(2), 280-288. <https://doi.org/10.30596/rmme.v6i2.15379>

[2] Anasih, N. (n.d.). Mengenal lebih dalam jenis-jenis solar PV PLTS atap. *Solar Kita*. Retrieved May 27, 2024, from <https://www.solarkita.com>.

[3] Atonergi. (n.d.). Apa saja jenis inverter panel surya yang tersedia? Retrieved July 12, 2024, from <https://atonegi.com>

[4] Bartec. (n.d.). How to perform an insulation resistance test (meg test). Retrieved May 29, 2024, from <https://bartec.com>

[5] Ed. (n.d.). 5 sumber energi terbarukan yang sudah dikembangkan di Indonesia. *Anak Teknik*. Retrieved May 27, 2024, from <https://www.anakteknik.co.id>

[7] Enhanced Nationally Determined Contribution Republic of Indonesia. (2022).

[8] First Nationally Determined Contribution Republic of Indonesia. (2016).

[9] Kjaer, S. B., Pedersen, J. K., & Blaabjerg, F. (2005). A review of single-phase grid-connected inverters for photovoltaic modules. *IEEE Transactions on Industry Applications*. <https://doi.org/10.1109/TIA.2005.853371>

[10] Prasetyani, L., Jimmy, M. T. M., Arifianto, F., & Subagio, S. T. D. (n.d.). Pembelajaran energi terbarukan melalui solar modul *monitoring* system prototype pada instalasi off-grid penyusun.

[11] Pratiwi, N. F., Pudih, A., & Mursanto, W. B. (2022). *Prosiding The 13th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung*.

[12] Riyadi, M. A., & Hadi, S. H. (2018). Determination analysis of characteristics of photovoltaic modul based solar radiation using visual C++.

[13] Safitri, R. A., Priadi, A. R., Pratama, T. B., & Saragih, Y. (2023). Analisis pengaruh sudut kemiringan terhadap daya keluaran panel surya di Perum PEMDA Sukaharja Karawang.

[14] Sankaran, C. (2002). *Power quality*.

- [15] Sarah, K. E., Roland, U., & Okafor, E. N. C. (n.d.). A review of solar photovoltaic technologies. Retrieved from www.ijert.org
- [16] Slocable. (n.d.). Pentingnya dioda fotovoltaiik dalam pembangkit listrik tenaga surya. Retrieved May 27, 2024, from <https://www.slocable.com.cn>
- [17] Sunterra. (n.d.). Apa itu inverter panel surya? Retrieved April 20, 2024, from <https://www.sunterra.id>
- [18] Widyanto, A. N., Gaviarsha, M., Husnayain, F., Utomo, A. R., & Made Ardita, I. (2023). Studi tekno-ekonomi sistem fotovoltaiik on-grid pada bangunan industri kontrol satelit.
- [19] Yusniati, Z., & Pelawi, T. (n.d.). Pengukuran resistansi isolasi instalasi penerangan basement pada gedung rumah sakit Grand Mitra Medika Medan.