

EVALUASI PENURUNAN EMISI KARBON MELALUI PEMANFAATAN PANEL SURYA BERBASIS PEDOMAN *INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC)* DI KAWASAN INDUSTRI CIKARANG BEKASI

Ujang Pramono¹, Aris Dwi Cahyanto¹, Putri Anggun Sari¹, Nur Ilman Ilyas¹, Tyas Ismi
Trialfhianty^{1*}

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Lingkungan, Universitas Pelita Bangsa, Bekasi, Indonesia

*Korespondensi: tyasismi@pelitabangsa.ac.id

Abstrak

Emisi karbon dioksida (CO₂) dari sektor energi merupakan salah satu penyumbang utama pemanasan global, sehingga menjadi tantangan serius dalam pencapaian pembangunan berkelanjutan. Sebagian besar kawasan industri di Indonesia masih mengandalkan pasokan listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar gas bumi yang berkontribusi terhadap emisi karbon. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengevaluasi kondisi eksisting integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan sistem Pembangkit Listrik Swasta, (2) menghitung potensi reduksi emisi CO₂ dari pemanfaatan PLTS, dan (3) menganalisis Nilai Ekonomi Karbon (NEK) berdasarkan kebijakan nasional. Metode yang digunakan mengacu pada pedoman *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* tahun 2006 dengan pendekatan *Tier 2*, serta perhitungan NEK berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (Permen ESDM) No. 16 Tahun 2022. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi PLTS saat ini menggunakan sistem *On-Grid* dengan kapasitas 30% dari daya sambung. Kondisi ini menyebabkan reduksi emisi yang dicapai masih terbatas karena adanya pembatasan regulatif. Untuk mencapai reduksi emisi secara optimal, diperlukan transisi menuju sistem *Off-Grid*. Adapun nilai ekonomi karbon dari pemanfaatan PLTS menunjukkan surplus sebesar Rp812.463.000 per tahun. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji skenario sistem *hybrid*, analisis keekonomian jangka panjang, serta pengaruh kebijakan insentif karbon terhadap percepatan adopsi energi terbarukan di sektor industri.

Kata kunci: emisi karbon, IPCC, PLTS, pembangunan berkelanjutan, nilai ekonomi karbon

Abstract

Carbon dioxide (CO₂) emissions from the energy sector are a major contributor to global warming, thus becoming a serious challenge in achieving sustainable development. Most industrial areas in Indonesia still rely on electricity supply from natural gas-fired Steam Power Plants (PLTU) which contribute to carbon emissions. Based on these problems, this study aims to: (1) evaluate the existing conditions of the integration of Solar Power Plants (PLTS) with Private Power Generation systems, (2) calculate the potential CO₂ emission reduction from the use of PLTS, and (3) analyze the Economic Value of Carbon (NEK) based on national policies. The method used refers to the 2006 *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* guidelines with a *Tier 2* approach, as well as NEK calculations based on the Regulation of the Minister of Energy and Mineral Resources (Permen ESDM) No. 16 of 2022. The results of the study show that the current PLTS integration uses an *On-Grid* system with a capacity of 30% of the connected capacity. This condition causes the emission reduction achieved to be still limited due to regulatory restrictions. To achieve optimal emission reductions, a transition to an *off-grid* system is necessary. The economic value of carbon from solar power plant utilization shows a surplus of IDR 812,463,000 per year. Further research is recommended to examine hybrid system scenarios, long-term economic analysis, and the impact of carbon incentive policies on accelerating renewable energy adoption in the industrial sector.

Keywords: Carbon economic value; Carbon emissions; IPCC; Solar Power Plant (PLTS); Sustainable development.

1. PENDAHULUAN

Pemanasan global terjadi akibat meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer, khususnya karbon dioksida (CO₂) yang berperan dalam mendorong perubahan suhu bumi (Jefri

Kurniawan et al. 2024). Kondisi tersebut jika terjadi secara berkelanjutan maka dapat menimbulkan perubahan iklim di berbagai belahan dunia, yang pada akhirnya memengaruhi keberlangsungan hidup di bumi (Wicaksono, Keuangan, and Stan n.d.). Dalam beberapa dekade terakhir pemanasan global dan perubahan iklim tetap menjadi perhatian utama dunia (Bahriansyah and Lestari Ginting 2022). Karena memiliki hubungan langsung dengan peningkatan gas rumah kaca, permasalahan ini secara konsisten menjadi prioritas utama dalam agenda lingkungan global (Maghfira Mubila et al. n.d.). Salah satu faktor utama pemicunya adalah emisi karbon yang dilepaskan secara berlebihan ke atmosfer (Mufidah Hariswan et al. 2022). Hal ini sejalan dengan pendapat Trimuliani dan Febrianto (2023) yang menyebutkan bahwa emisi karbon berlebih yang terjebak di atmosfer bumi merupakan salah satu penyebab pemanasan global.

Laporan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2021) menunjukkan bahwa emisi karbon dioksida (CO₂) akibat aktivitas manusia, khususnya dari sektor energi, merupakan penyebab utama kenaikan suhu global yang berdampak pada kenaikan suhu rata-rata bumi, pencairan es kutub, hingga naiknya permukaan air laut. Kondisi ini terutama dipicu oleh penggunaan listrik yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil yang memberikan dampak negatif bagi lingkungan karena menghasilkan emisi karbon yang mencemari udara (Hidayat et al. 2023). Temuan ini diperkuat oleh penelitian yang menyatakan bahwa aktivitas industri menjadi salah satu penyumbang terbesar emisi karbon di Indonesia (Widiawati and Hidayati 2024). Di Indonesia, emisi karbon dari sektor energi terus meningkat, hal ini disebabkan karena tingginya ketergantungan terhadap energi fosil (Kementerian ESDM, 2022). Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2019, Sektor energi menyumbang emisi dengan persentase 34%. Sedangkan dari hasil kajian Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional atau Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (PPN/Bappenas) menyimpulkan bahwa pada tahun 2022, sektor energi dan transportasi menyumbang emisi dengan persentase 50,6% dari total emisi gas rumah kaca nasional (*Low Carbon Development Indonesia*, 2024).

Untuk mengatasi hal tersebut, pemerintah Indonesia telah menetapkan target *Net Zero Emission* (NZE) pada tahun 2060 atau lebih cepat dengan strategi utama memperbesar porsi energi terbarukan dalam bauran energi nasional. Upaya mewujudkan NZE menuntut percepatan transisi energi dari bahan bakar fosil ke energi baru terbarukan (EBT) yang lebih bersih (Luthfianingsih et al. n.d.). Melalui Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN), ditetapkan target kontribusi energi baru terbarukan minimal

23% pada 2025 dan 31% pada 2050. Salah satu bentuk energi terbarukan yang paling potensial adalah energi surya, mengingat Indonesia memiliki potensi radiasi matahari rata-rata sebesar 4,8 kWh/m²/hari (Putra et al. 2021). Kondisi iklim tropis membuat negara ini menerima paparan matahari yang konsisten sepanjang tahun (Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia, Afif dan, and Martin 2022). Hal ini diperkuat oleh pernyataan para ahli yang menyatakan bahwa pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) tidak hanya mendukung diversifikasi energi, tetapi juga efektif dalam mengurangi emisi CO₂ di sektor industri (Soedjarwanto, Endah Komalasari, and Syuja Asyraf Fardhan 2022).

Penelitian terkait kontribusi PLTS dalam menurunkan emisi karbon telah banyak dilakukan. Beberapa studi membuktikan bahwa penerapan PLTS pada skala rumah tangga hingga industri mampu menurunkan emisi secara signifikan (Hashim et al. 2020). Meskipun banyak penelitian membuktikan efektifitas PLTS dalam menurunkan emisi, akan tetapi sebagian besar penelitian masih berfokus pada perhitungan potensi reduksi emisi tanpa mengintegrasikan aspek nilai ekonomi karbon sesuai regulasi nasional yang terbaru, seperti Peraturan Menteri ESDM No. 16 Tahun 2022. Dengan demikian, masih terdapat celah penelitian dalam mengkaji keterkaitan antara penerapan PLTS di sektor industri dengan estimasi penurunan emisi CO₂ sekaligus perhitungan nilai ekonomi karbon yang dapat diperoleh. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peluang penurunan emisi karbon melalui penggunaan panel surya sebagai energi terbarukan di lokasi penelitian. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam upaya menurunkan emisi karbon, meningkatkan efisiensi energi, dan menjadi model yang dapat diterapkan di sektor industri lainnya.

2. BAHAN DAN METODE

Metode penelitian dalam penelitian ini dimulai dari studi literatur terkait energi terbarukan dan metodologi inventarisasi emisi berbasis IPCC 2006, dilanjutkan dengan observasi lapangan untuk mengidentifikasi kondisi aktual sistem PLTS di PT. Bumimulia Indah Lestari. Tahapan berikutnya mencakup pengumpulan data primer berupa hasil pemantauan kWh meter, dokumentasi koneksi PLTS dengan sumber listrik PT. Cikarang Listrindo, produksi listrik PLTS, pembelian listrik dari PT. Cikarang Listrindo, serta konsumsi energi. Data sekunder diperoleh dari pedoman IPCC 2006 *Tier 2* metode 1 dan 2, regulasi terkait PLTS *On-Grid* dari PT. Cikarang Listrindo. Subjek penelitian di maksudkan pada sistem PLTS yang terpasang di PT. Bumimulia Indah Lestari (5692 modul, 2500 kWp). Sistem PLTS ini dipilih karena

mewakili unit pembangkit spesifik dengan berdasarkan perjanjian *Business to Business* (B2B) antara PT. Bumimulia Indah Lestari dengan PT. Cikarang Listrindo dengan kapasitas sambung 30%. Instrumen penelitian meliputi kWh meter digital yang digunakan untuk memantau produksi dan konsumsi listrik, serta dokumen teknis spesifikasi panel surya, inverter, dan data pembelian listrik dari PT. Cikarang Listrindo.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui: (1) observasi langsung di lapangan, (2) pencatatan data kWh meter secara periodik dan (3) studi dokumen sekunder (pedoman IPCC 2006). Teknik analisis data dilakukan dengan tiga tahap. Pertama, analisis pengintegrasian sumber listrik dari PT. Cikarang Listrindo dengan PLTS, kedua analisis emisi karbon dan reduksi emisi karbon dengan menggunakan pedoman IPCC 2006 *Tier 2*, dengan perhitungan berbasis Metode 1 (*Fuel Input Method*) dan Metode 2 (*Carbon Content Method*). Ketiga, analisis nilai efisiensi dari pemakaian listrik yang bersumber dari PLTS, Nilai Ekonomi Karbon berdasarkan Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2021 tentang Harmonisasi Peraturan Perpajakan (UU HPP) dengan tarif pajak karbon minimum Rp 30.000 per ton CO₂eq dan Nilai Ekonomi Karbon dari perdagangan karbon (*Carbon trading*) sebagaimana diatur dalam pasal 6 Permen ESDM No. 16 Tahun 2022. Selanjutnya dilakukan prediksi lima tahun ke depan menggunakan regresi linier, logaritmik, dan eksponensial, model terbaik ditentukan berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2).

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. DAYA LISTRIK MESIN PRODUKSI

Daya listrik mesin produksi ini didasarkan pada data yang diperoleh dari dua sumber utama, yaitu informasi teknis yang tercantum pada *name plate* setiap mesin, serta hasil pengukuran langsung menggunakan *Power Quality and Energy Analyzer* (PQA). PQA digunakan untuk mengukur dan menganalisis kualitas daya listrik, alat ini sangat membantu dalam mengidentifikasi masalah kualitas daya listrik dan mencegah terjadinya kerusakan pada peralatannya.

Tabel 1. Total Daya Listrik Mesin Produksi Berdasarkan *Name Plate* Mesin

Plant	Nama Mesin	Daya Listrik (kW)	Jumlah Mesin (Unit)	Total Daya Listrik (kW)	Total Daya Listrik (W)
Plant 1	Blow Moulding	1398	26	36.348	36.348.000
	Inject Stretch Blow Molding	450	16	7.200	7.200.000

Plant	Nama Mesin	Daya Listrik (kW)	Jumlah Mesin (Unit)	Total Daya Listrik (kW)	Total Daya Listrik (W)
Plant 2	Injection Molding	4782	38	181.716	181.716.000
Plant 3	Heading Tube	48	3	144	144.000
	Extruder Tube	428	3	1.284	1.284.000
Plant 4	Injection Molding	234	20	4.680	4.680.000
	Total	7.340	106	231.372	231.372.000

Sumber : Data Primer, 2025

Dari tabel 1 dapat diketahui bahwa jumlah mesin produksi dari plant 1 sampai dengan plant 4 adalah 106 unit dengan total daya listriknya sebesar 231.372 kW. 1 kilowatt (kW) = 1000 watt (W) maka jika dikonversi ke satuan watt menjadi 231.372.000 watt. Mesin produksi menghasilkan daya listrik terbesar yaitu mesin *Injection Molding Krauss maffei* KM 2700-55000 MX yang beroperasi di Plant 2, yaitu dengan jumlah daya listrik sebesar 1033 kW. Mesin *Injection Molding Krauss maffei* KM 2700-55000 MX digunakan untuk memproduksi *pallet* plastik. Selain daya listrik dari mesin produksi terdapat pula daya listrik dari lampu penerangan, alat elektronik dan alat berat, dll.

Tabel 2. Total Daya Listrik Lampu Penerangan

No	Nama Lampu	Daya Listrik (W)	Jumlah Lampu (Pcs)	Total Daya Listrik (W)
1	Lampu TL	10,5	2500	26.250
2	Lampu Biasa	120	300	36.000
3	Lampu Downlight	15	20	300
4	Lampu Slim Panel (Lamp RC 091)	28	30	840
	Total	173,5	2.850	63.390

Sumber : Data Primer, 2025

Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa jumlah lampu penerangan adalah 2.850 pcs dengan total daya listriknya sebesar 63.390 watt.

Tabel 3. Total Daya Listrik Alat Elektronik

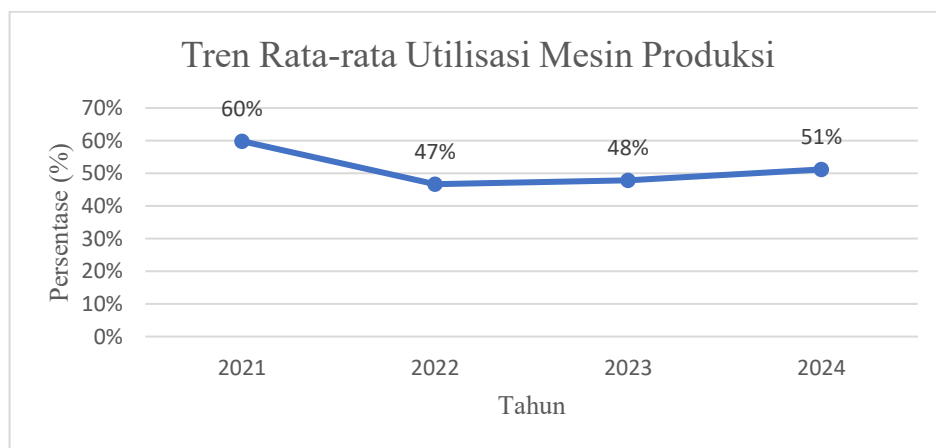
No	Nama Elektronik	Daya Listrik (W)	Jumlah Elektronik (Unit)	Total Daya Listrik (W)
1	Kulkas	80	5	400
2	Dispenser	190	10	1.900
3	TV	23	18	414
4	Printer	22	73	1.606
5	Fotocopy	1300	8	10.400
Total		1,615	114	14.720

Sumber : Data Primer diolah, 2025

Dari Tabel 3 dapat diketahui bahwa jumlah alat elektronik adalah 114 unit dengan total daya listriknya sebesar 14.720 watt. Selain itu terdapat pula daya listrik alat berat yaitu forklift yang jumlahnya adalah 30 unit dengan total daya listriknya sebesar 41.500 watt.

3.2. UTILISASI MESIN PRODUKSI TAHUN 2021-2024

Pada Gambar 1 menunjukkan persentase rata-rata utilisasi mesin produksi dari tahun 2021 hingga 2024. Utilisasi mesin ini penting untuk memastikan bahwa data utilisasi mesin seimbang dengan data PLTS. Utilisasi mesin ini dihimpun dari empat area produksi utama, yaitu Produksi 1, Produksi 2, Produksi 3, dan Produksi 4. Data ini menggambarkan tingkat pemanfaatan mesin setiap tahunnya yang dihitung dalam bentuk persentase (%).

**Gambar 1.** Tren Rata-rata Utilisasi Mesin Produksi 2021-2024

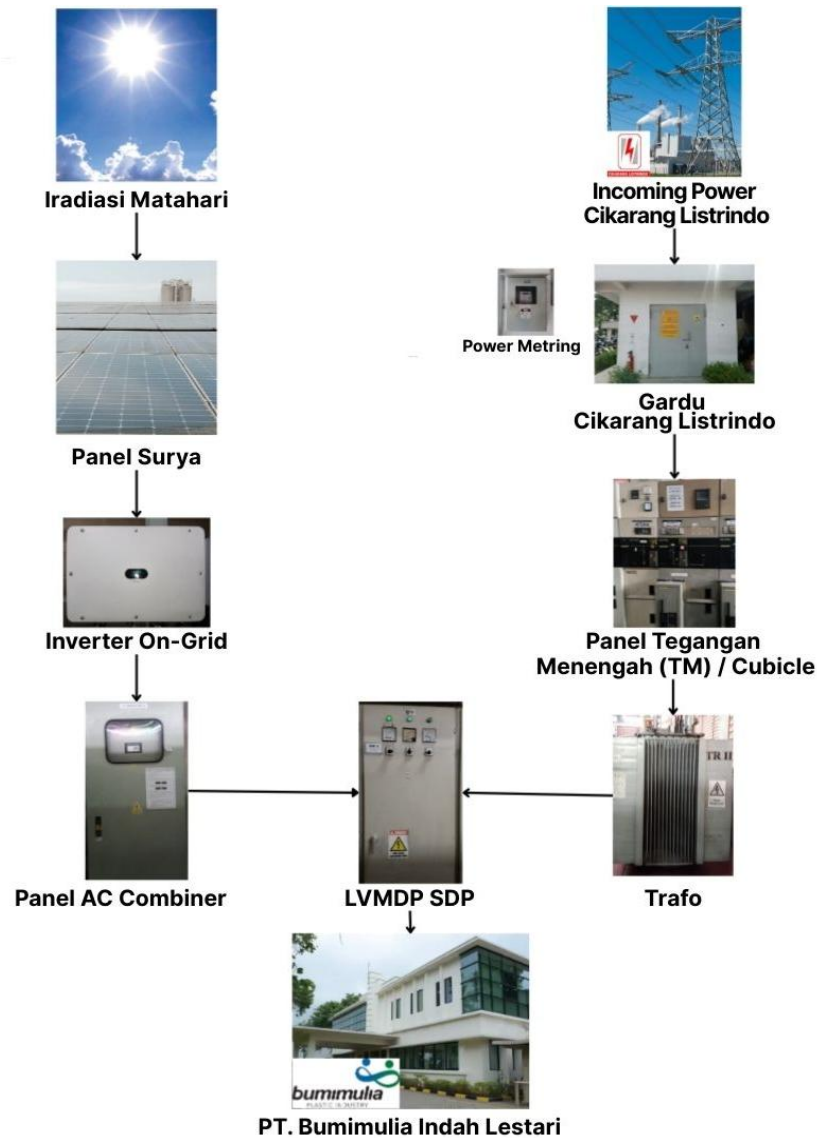
Sumber : Data Primer diolah, 2025

Pada tahun 2021, utilisasi mesin menunjukkan angka tertinggi dengan rata-rata 60%. Namun, terjadi penurunan signifikan pada tahun 2022 menjadi 47%, hal ini disebabkan oleh dampak pandemi *COVID-19* terhadap operasional produksi. Meskipun demikian, utilisasi mesin mulai menunjukkan tren peningkatan pada tahun-tahun berikutnya, yaitu 48% pada 2023 dan 51% pada 2024.

3.3. PENGINTEGRASIAN PANEL SURYA

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang terpasang memiliki kapasitas sambung sebesar 7700 kVA atau setara 6.160 kW. Kapasitas sambung PLTS sebesar 30% dari kapasitas total, yaitu sebesar 2.464 kVA atau sekitar 2.500 kWp. PLTS ini terdiri dari 5.692 modul panel surya, masing-masing berdimensi 2.180 mm × 996 mm ($\pm 2,17$ m² per panel), sehingga total luas area modul mencapai 12.359 m². Hasil PLTS yang didapatkan hanya rata-rata 7% dari pemakaian listrik. Hal ini disebabkan karena perubahan dari radiasi menjadi iradiasi. Radiasi dan iradiasi pada titik yang berbeda mempunyai nilai yang berbeda. PLTS beroperasi dengan sistem *On-Grid* yang terintegrasi langsung dengan jaringan listrik PT. Cikarang Listrindo, sehingga pasokan listrik yang dihasilkan dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik yang ada di perusahaan.

Pengintegrasian sistem panel surya dimulai ketika iradiasi sinar matahari mengenai permukaan panel surya fotovoltaik (PV) pada siang hari, sehingga menghasilkan daya listrik dalam bentuk arus searah (*Direct Current/DC*). Arus DC ini kemudian dirangkai dalam string. String ini berfungsi untuk menghubungkan setiap PV dan selanjutnya dikirim ke masing-masing inverter. Setiap inverter berfungsi mengubah arus DC menjadi arus bolak-balik (*Alternating Current/AC*) dengan tegangan tiga fasa. Selanjutnya, keluaran daya listrik yang dihasilkan dari setiap inverter digabungkan dalam *box AC combiner*, dari *box AC combiner* ini ada alat proteksi yang digunakan disebutnya *Molded Case Circuit Breaker* (MCCB). MCCB merupakan jenis pemutus sirkuit yang dirancang untuk melindungi rangkaian listrik dari kerusakan akibat arus berlebih atau *korsleting*. MCCB memiliki kapasitas arus yang lebih besar dibandingkan *Miniature Circuit Breaker* (MCB). Setiap MCCB ini akan memproteksi masing-masing inverternya, selanjutnya dirangkai secara paralel pada *Low Voltage Main Distributor Panel* (MDP) *Solar Distribution Panel* (SDP). PT. Bumimulia Indah Lestari menggunakan sistem *on-grid*, di mana daya listrik yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) terintegrasi dengan pasokan listrik dari PT. Cikarang Listrindo. Kedua sumber listrik ini bertemu di LVMDP SDP dan bersama-sama menyuplai kebutuhan energi untuk penerangan, mesin produksi, peralatan elektronik kantor, serta beban listrik lainnya.



Gambar 2. Blok Diagram Panel Surya On-Grid

Sumber : Data Primer diolah, 2025

3.4. KONSUMSI ENERGI LISTRIK DARI PT. CIKARANG LISTRINDO DAN ENERGI LISTRIK YANG DIHASILKAN PLTS (kWh)

Panel surya di PT. Bumimulia Indah Lestari mulai terkoneksi di bulan November 2020. Ini merupakan langkah strategi untuk mengurangi ketergantungan pada energi berbasis fosil dan meningkatkan efisiensi energi. Penerapan panel surya ini bertujuan untuk mengurangi beban listrik dari jaringan utama, menurunkan biaya operasional, serta mendukung kegiatan perusahaan dalam program penghematan energi sesuai dengan target *Key Performance Indicator* (KPI).

Tabel 4. Perbandingan Konsumsi Energi Listrik dari PT. Cikarang Listrindo dan Energi Listrik yang dihasilkan PLTS (kWh)

Tahun	Konsumsi Energi Listrik (kWh)	Energi Listrik PLTS (kWh)	Total Energi (kWh)
2020	7.359.300	216.547	7.575.847
2021	38.539.535	3.061.700	41.601.235
2022	32.897.438	2.861.445	35.758.883
2023	32.478.031	2.697.082	35.175.113
2024	33.300.415	3.066.118	36.366.533
Rata-rata	28.914.944	2.380.578	31295.522
Total	144.574.719	11.902.892	156.477.611

Sumber : Data Primer diolah, 2025

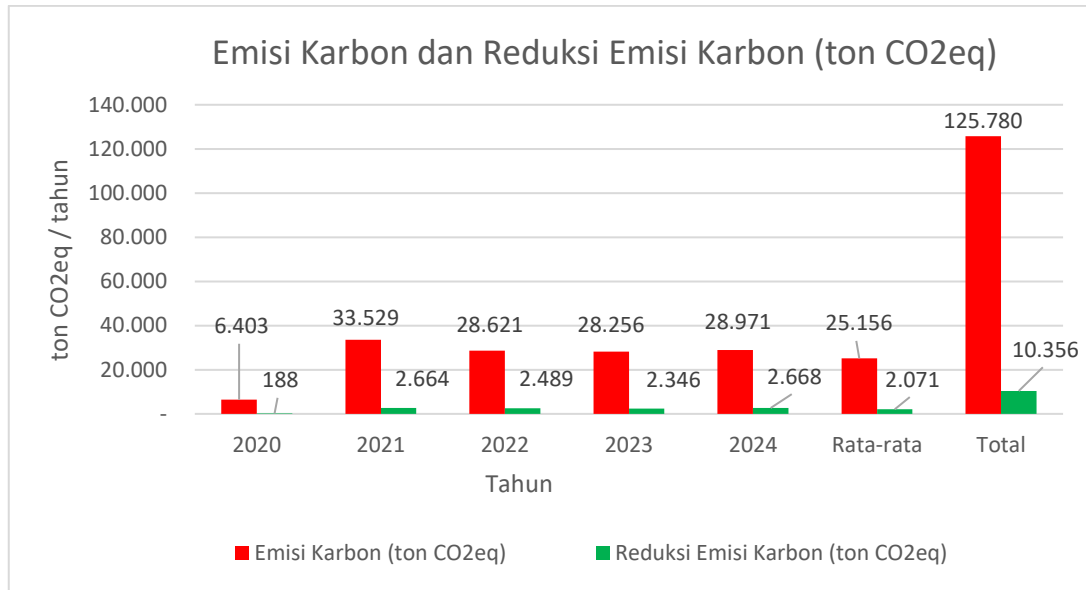
3.5. EMISI DAN REDUKSI EMISI KARBON (ton CO₂eq)

Tabel 5. Faktor Emisi Ketenagalistrikan

Provinsi	Faktor Emisi (kg CO ₂ /kWh)
Jawa Barat	0,87

Sumber : Kementerian ESDM Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, 2019

Untuk memperoleh nilai emisi karbon dan reduksi emisi karbon maka kita perlu menggunakan faktor emisi CO₂ dari sumber listrik yang digunakan. Dalam konversi ini menggunakan faktor emisi ketenagalistrikan yang sesuai dengan tabel 3.5 yaitu 0,87 kg CO₂/kWh. Energi listrik yang digunakan dari PT. Cikarang Listrindo maupun yang dihasilkan dari PLTS (kWh) dikonversi menjadi kg CO₂eq, setelah itu hasil dari kg CO₂eq dikonversi menjadi ton CO₂eq.



Gambar 3. Perbandingan Emisi dan Reduksi Emisi Karbon (ton CO₂eq)

Sumber : Data sekunder diolah dari PT. Bumimulia Indah Lestari, 2025

Dari Gambar 3 dapat diketahui bahwa dari bulan November-Desember (2020) sampai dengan tahun 2024, jumlah emisi karbonnya sebesar 125.780 ton CO₂eq. Sedangkan jumlah reduksi emisi karbonnya sebesar 10.356 ton CO₂eq.

3.6. EMISI KARBON DAN REDUKSI EMISI KARBON BERDASARKAN IPCC 2006 TIER 2 METODE 1

Tabel 6. Faktor Emisi CO₂ Bahan Bakar Gas Alam

Jenis Bahan Bakar	Faktor Emisi Tier I (kg CO ₂ /TJ)	Faktor Emisi Tier 2 (kg CO ₂ /TJ)	NCV (TJ/Gg)	C (%)
Gas Alam	56.100	57.600	48	73,4 %

Sumber : - IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Vol. 2

- Puslitbang Lemigas, 2017

- Puslitbang Tekmira, 2016

Tabel 7. Jumlah Konsumsi Gas

Tahun	Jumlah Konsumsi Gas	
	Cikarang Listrindo (MMBTU)	PLTS (MMBTU)
2020	104.338	3.070
2021	546.404	43.408
2022	468.558	40.724

Jumlah Konsumsi Gas		
Tahun	Cikarang Listrindo (MMBTU)	PLTS (MMBTU)
2023	492.184	40.889
2024	517.472	47.657
Rata-rata	425.791	35.150
Total	2.128.956	175.749

Sumber : Data sekunder diolah dari PT. Bumimulia Indah Lestari, 2025

Dalam tabel 7 diatas disajikan data terkait nilai kebutuhan gas yang dibutuhkan PT. Cikarang Listrindo untuk menyuplai kebutuhan Listrik PT. Bumimulia Indah Lestari dalam satuan *Million British Thermal Unit* (MMBTU). Sesuai dengan laporan tahunan PT. Cikarang Listrindo di tahun 2022 mengenai harga gas bumi US\$7 per MMBTU untuk pasokan listrik ke kawasan industri. Harga tersebut merupakan harga kesepakatan sejak 1 Juli 2019. Dari data tersebut kita dapat mengkonversi kebutuhan gas perbulan dalam satuan MMBTU dengan mengkonversi biaya gas dalam dollar dengan dibagi nilai US\$7.

Selanjutnya sebelum mencari nilai ECO_2 pada emisi karbon maupun reduksi emisi karbon maka terlebih dahulu mencari data aktifitas (TJ) dimana :

$$DA_{BBG} = F_{BBG} \times K \quad (1)$$

Keterangan :

DA_{BBG} : Data Aktifitas (TJ)

F_{BBG} : Konsumsi BBG (MMBTU)

K : Konversi (0,001055 TJ/MMBTU)

Setelah nilai data aktifitas sudah diperoleh maka tahap selanjutnya kita bisa mencari nilai ECO_2 .

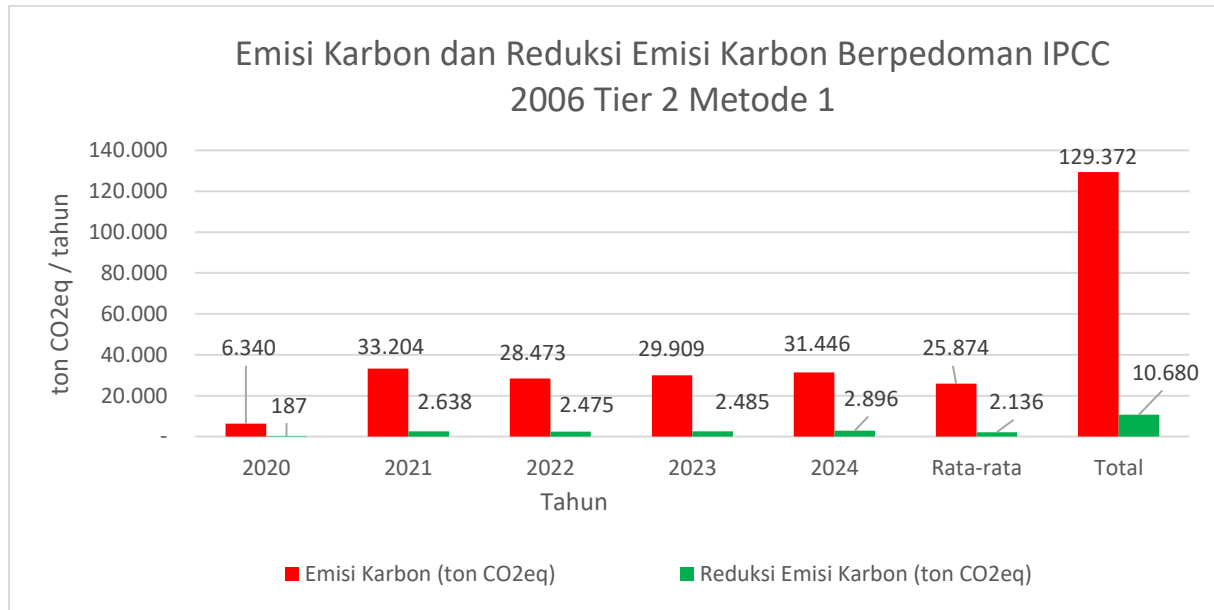
$$ECO_2 = DA \times FE \quad (2)$$

Keterangan :

ECO_2 : Total Emisi CO_2 (ton CO_2)

DA : Data Aktivitas (TJ)

FE : Faktor Emisi (Ton/TJ)



Gambar 4. Perbandingan Emisi dan Reduksi Emisi Karbon (IPCC 2006 *Tier 2* Metode 1)

Sumber : Data sekunder diolah dari PT. Bumimulia Indah Lestari, 2025

Dari gambar 3.4 di atas dapat dilihat bahwa berdasarkan perhitungan IPCC 2006 *Tier 2* metode 1 dari bulan November- Desember (2020) sampai dengan tahun 2024, jumlah emisi karbonnya sebesar 129.372 ton CO₂eq. Sedangkan jumlah reduksi emisi karbonnya sebesar 10.680 ton CO₂eq.

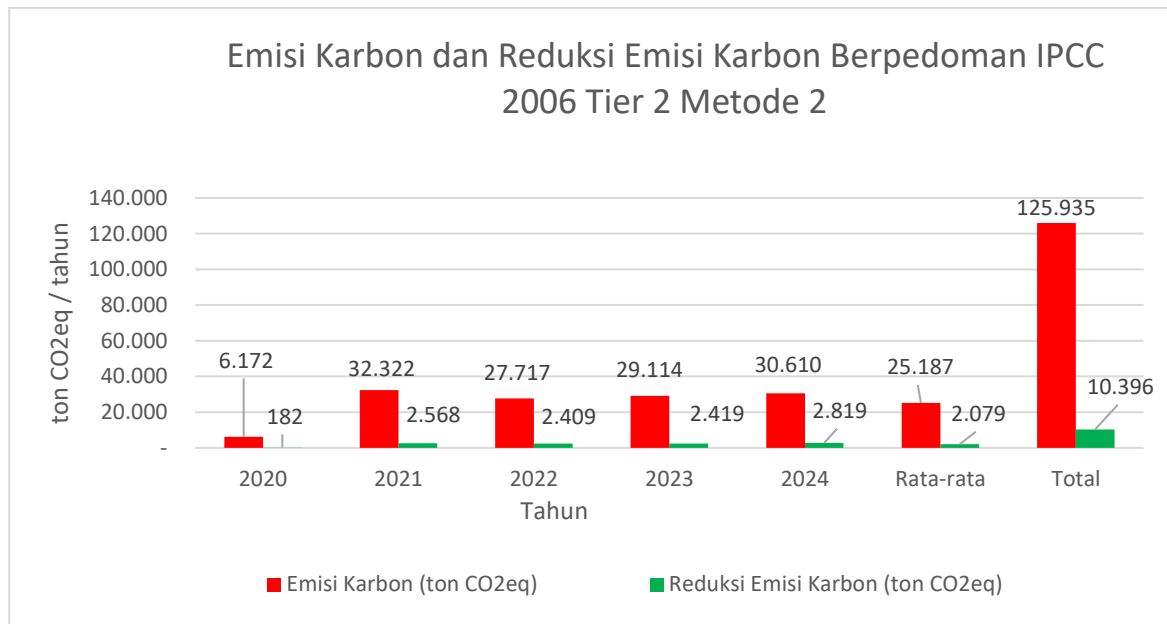
3.7. Emisi Karbon dan Reduksi Emisi Karbon Berdasarkan IPCC 2006 *Tier 2* Metode 2

IPCC 2006 *Tier 2* metode 2 digunakan untuk menghitung emisi karbon dan reduksi emisi karbon. Ini bisa digunakan bagi perusahaan yang telah memiliki data konsumsi bahan bakar dan telah mengukur kualitas bahan bakar (*ultimate analysis* atau kandungan karbon). Untuk rumus penghitungan emisi CO₂ perjenis bahan bakar yang disajikan, untuk penelitian ini menggunakan bahan bakar gas alam.

$$ECO_2 = F_{\text{gas}} \times 0,001055 \times \frac{C}{NCV} \times FO \times 10^3 \times \frac{44}{12} \quad (3)$$

Keterangan :

ECO ₂	: Total Emisi BBM (ton CO ₂)
F _{gas}	: Jumlah konsumsi gas <i>netto</i> (MMBTU)
NCV	: Nilai kalor bersih (TJ/Gg)
FO	: Faktor oksidasi
C	: Kandungan karbon (%)
0,001055	: Unit konversi (MMBTU ke TJ)
10 ³	: Unit konversi
44	: Berat molekul CO ₂
12	: Berat atom C



Gambar 5. Perbandingan Emisi dan Reduksi Emisi Karbon (IPCC 2006 *Tier 2* Metode 2)

Sumber : Data sekunder diolah dari PT. Bumimulia Indah Lestari, 2025

Dari Gambar 5 di atas dapat diketahui bahwa berdasarkan perhitungan IPCC 2006 *Tier 2* metode 2 dari bulan November-Desember (2020) sampai dengan tahun 2024, jumlah emisi karbonnya sebesar 125.935 ton CO₂eq. Sedangkan jumlah reduksi emisi karbonnya sebesar 10.396 ton CO₂eq.

3.8. REDUKSI EMISI KARBON BERDASARKAN NILAI EFISIENSI DARI PEMAKAIAN LISTRIK YANG BERSUMBER DARI PLTS

Pada Tabel 8 di bawah ini dapat diketahui bahwa reduksi emisi karbon berdasarkan efisiensi dari pemakaian listrik yang bersumber dari PLTS dari bulan November-Desember (2020) sampai dengan tahun 2024, jumlah nominalnya sebesar Rp 20.298.975.395 atau rata-rata sebesar 4.059.795.079 per tahun. Dengan perbandingan persentase antara pemakaian listrik dari PT. Cikarang Listrindo dengan PLTS yaitu 8%.

Tabel 8. Nilai Efisiensi dari Pemakaian Listrik yang Bersumber dari PLTS

Tahun	Cikarang Listrindo (Rp)	PLTS (Rp)	Persentase PLTS (%)
2020	12.051.074.529	354.602.209	3%
2021	63.109.644.749	5.013.625.601	8%
2022	54.118.437.241	4.703.670.394	9%
2023	56.847.219.015	4.722.642.687	8%
2024	59.768.057.518	5.504.434.504	9%
Rata-rata	49.178.886.610	4.059.795.079	8%
Total	245.894.433.051	20.298.975.395	

Sumber : Data sekunder diolah dari PT. Bumimulia Indah Lestari, 2025

3.9. REDUKSI EMISI KARBON BERDASARKAN NILAI EKONOMI KARBON DENGAN HARGA RP30.000 PER TON CO₂eq

Sesuai Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2021 tentang Harmonisasi Peraturan Perpajakan (UU HPP) yang secara spesifik mengatur tarif pajak karbon minimum Rp 30.000 per ton CO₂eq. Dalam Pasal 13 Bab VI (klaster pajak karbon), tarif pajak karbon ditetapkan lebih tinggi atau sama dengan harga karbon di pasar karbon, dengan ketentuan bahwa jika harga di pasar lebih rendah maka tarif minimum yang diterapkan adalah Rp 30 per kilogram CO₂eq atau setara dengan Rp 30.000 per ton CO₂eq. Pada Tabel 9 di bawah ini dapat diketahui bahwa reduksi emisi karbon berdasarkan nilai ekonomi karbon dengan harga Rp 30.000 per ton CO₂eq dari bulan November-Desember (2020) sampai dengan tahun 2024, jumlah reduksi emisi karbonnya sebesar 10.356 ton CO₂eq atau setara dengan Rp 310.665.470.

Tabel 9. Reduksi Emisi Karbon Rp 30.000/ton CO₂eq

Tahun	Ton CO ₂ eq	Rp 30.000/ton CO ₂ eq
2020	188	5.651.877
2021	2.664	79.910.370
2022	2.489	74.683.715
2023	2.346	70.393.829
2024	2.668	80.025.680
Rata-rata	2.071	62.133.094
Total	10.356	310.665.470

Sumber : Data sekunder diolah dari PT. Bumimulia Indah Lestari, 2025

3.10. SKENARIO EKONOMI KARBON

Di Indonesia skema penetapan Nilai Ekonomi Karbon (NEK) terbagi menjadi 2 jenis, yaitu :

1. Nilai Ekonomi Karbon dengan regulasi Peraturan Menteri Energi Sumber Daya Mineral Nomor 16 Tahun 2022 (Permen ESDM No.16/2022).
2. Nilai Ekonomi Karbon dengan regulasi Peraturan Menteri Kehutanan dan Lingkungan Hidup Nomor 21 Tahun 2022 (Permen KLHK No. 21/2022).

Dari dua regulasi tersebut pada penelitian ini penulis memilih perhitungan Nilai Ekonomi Karbon berdasarkan regulasi Permen ESDM No.16/2022 tentang tata cara penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon (NEK) sub sektor pembangkit tenaga listrik karena Permen KLHK No. 21/2022 hanya untuk perhitungan Nilai Ekonomi Karbon pada sektor kehutanan, sehingga regulasi tersebut tidak relevan untuk digunakan pada penelitian ini. Penetapan pembayaran Nilai Ekonomi Karbon dapat dilakukan melalui dua skema. Skema *cap and trade* dan *cap and tax*. Skema *cap and tax* adalah skema pengendalian emisi dimana pemerintah menerapkan suatu batasan (*cap*) jumlah emisi yang diizinkan pada periode tertentu, akan tetapi jika perusahaan

atau entitas melebihi batas tersebut maka perusahaan harus membayar pajak atas setiap ton emisi tambahan yang dikeluarkan. Sedangkan skema *cap and trade* adalah skema pengendalian emisi dimana pemerintah menetapkan suatu batasan (*cap*) jumlah emisi yang diizinkan pada periode tertentu namun memberikan fleksibilitas pada perusahaan yang bertujuan untuk memperdagangkan izin emisi (*allowance*) di pasar karbon (*Carbon Market*).

Berdasarkan artikel majalah yang dimuat IMF, 2021, pada tahun 2030 negara berkembang dengan pendapatan tinggi memiliki besaran harga karbon berkisar US\$50 atau setara dengan Rp 795.535,00/ton CO₂eq. Tarif penetapan harga karbon oleh kementerian keuangan yang didasari pada Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 7 tahun 2021 tentang harmonisasi peraturan perpajakan bahwa harga terendah untuk perkilogram CO₂eq adalah Rp 30 dan untuk harga terendah per ton CO₂eq adalah Rp 30.000.

Berdasarkan pasal 6 Peraturan Menteri Sumber Daya Mineral (Permen ESDM) No. 16 Tahun 2022 ada 4 golongan pembangkit listrik, yaitu :

1. Golongan pertama Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) non mulut tambang dan mulut tambang dengan kapasitas terpasang lebih dari atau sama dengan 25 megawatt sampai dengan kurang dari 100 megawatt mempunyai batas emisi 1,297 ton CO₂eq/MWh.
2. Golongan kedua PLTU nonmulut tambang dengan 100 megawatt sampai dengan kurang dari atau sama dengan 400 megawatt mempunyai batas emisi 1,011 ton CO₂eq/MWh.
3. Golongan ketiga PLTU non mulut tambang dengan kapasitas terpasang lebih dari 400 megawatt mempunyai 0,911 ton CO₂eq/MWh.
4. Golongan keempat PLTU mulut tambang dengan kapasitas terpasang lebih dari atau sama dengan 100 megawatt mempunyai batas emisi 1,089 ton CO₂eq/MWh.

Pada penelitian ini membuat skenario yaitu keikutsertaan PT. Bumimulia Indah Lestari sebagai entitas PLTU dengan kapasitas 25 MW dan sebagai entitas yang melakukan aksi mitigasi yang dilakukan melalui reduksi emisi. Berikut ini perhitungan Nilai Ekonomi Karbon dengan skenario produksi listrik yang diproduksi berasal dari PLTU kategori 1 dengan kapasitas 25 MW. Pembangkit listrik dengan kapasitas lebih dari atau sama dengan 25 megawatt sampai dengan kurang dari 100 megawatt mempunyai batas emisi sebesar 1,297 ton CO₂eq/MWh.

Kapasitas pembangkit = 25 MW

Batas atas emisi = 1,297 CO₂eq/MWh

Produksi listrik bruto = Kapasitas Sambung x Jumlah Jam Operasi PLTS
= 25 MW x 12 h

	= 300 MWh
Batas atas emisi PT. BIL	= Batas atas emisi x Produksi listrik bruto
	= 1,297 CO ₂ eq/MWh x 300 MWh
	= 389,1 ton CO ₂ eq
Total emisi GRK	= Rata-rata emisi ton CO ₂ eq/hari
	= 3.494 ton CO ₂ eq/hari
Dasar Pengenaan pajak	= Total emisi GRK – Batas atas emisi
	= 3.494 ton CO ₂ eq – 389,1 ton CO ₂ eq
	= 3104,9 ton CO ₂ eq (Defisit Karbon)
Pajak terutang	= Dasar Pengenaan pajak x Rp 30.000
	= 3104,9 ton CO ₂ eq x Rp 30.000
	= Rp 93.147.000

Berdasarkan skenario yang dibuat PT. Bumimulia Indah Lestari sebagai pembangkit listrik mengalami defisit karbon sebesar 3.104,9 ton CO₂eq atau senilai Rp 93.147.000. Berdasarkan Peraturan Menteri dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Republik Indonesia No. 121 Tahun 2022, entitas yang melebihi batas atas emisi diwajibkan melakukan pengurangan karbon melalui mekanisme perdagangan karbon. Dalam skenario ini, PT. Bumimulia Indah Lestari diskenariokan sebagai pembangkit listrik melakukan pembelian SIE/SPE dari entitas yang melakukan pengurangan karbon.

Dalam skenario ini, entitas yang melakukan pengurangan emisi adalah PT. Bumimulia Indah Lestari sebagai unit yang mereduksi emisi sebesar 30.187 ton CO₂eq. Mekanisme perhitungan transaksi ditunjukkan pada persamaan di bawah ini :

Pajak terutang	= Dasar Pengenaan pajak x Rp 30.000
	= 3.104,9 ton CO ₂ eq x Rp 30.000
	= Rp 93.147.000
Pengurangan	= 30.187 ton CO ₂ eq x Rp 30.000
	= Rp 905.610.000
Bayar pajak karbon	= Pajak terutang – Pengurangan karbon
	= Rp 93.147.000 - Rp 905.610.000
	= - Rp 812.463.000
Karbon Surplus	= Rp 812.463.000

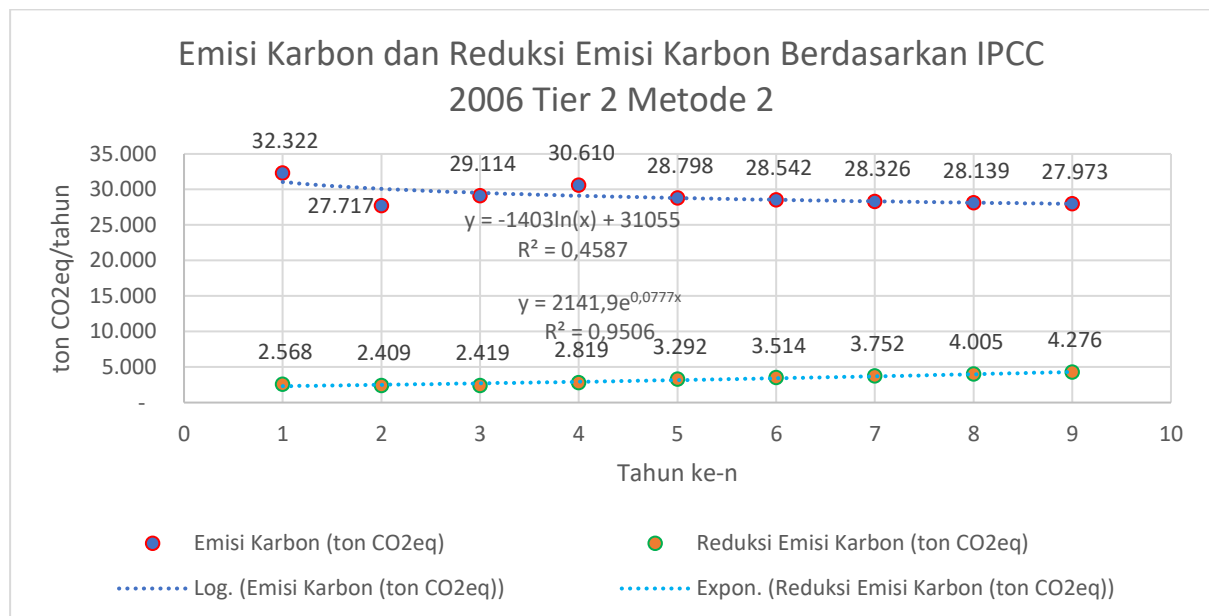
Berdasarkan skenario yang dibuat, karena pengurangan emisi karbon sebesar 30.187 ton CO₂eq lebih besar daripada pajak karbon yang terutang maka tidak ada pajak karbon yang perlu dibayar dan terdapat surplus karbon sebesar Rp 812.463.000 per tahun.

3.11. PREDIKSI EMISI DAN REDUKSI EMISI KARBON PLTS LIMA TAHUN

MENDATANG BERDASARKAN IPCC 2006 *TIER 2* METODE 2

Prediksi emisi dan reduksi karbon lima tahun mendatang penting untuk menilai potensi dampak lingkungan serta merumuskan kebijakan pengurangan emisi gas rumah kaca. Metodologi yang digunakan untuk memprediksi emisi karbon dan reduksi emisi karbon mencakup pengumpulan data historis, analisis tren dan penggunaan model matematis. Data yang digunakan berasal dari laporan emisi perusahaan dan analisis dilakukan dengan analisis data berkala (*time analysis series*). Hasil prediksi memberikan gambaran potensi perubahan emisi dan estimasi penurunan yang dapat dicapai melalui program pengurangan emisi, sehingga perusahaan dapat mengevaluasi efektivitas strategi pengelolaan lingkungannya.

Pada gambar 3.6 di bawah ini merupakan tren perbandingan antara prediksi emisi karbon dan reduksi emisi karbon dari 2021-2029. Dapat kita lihat bahwa hasil prediksi menunjukkan kecenderungan positif dimana dengan adanya pemanfaatan panel surya emisi karbon menurun dan reduksi emisi karbon meningkat dari tahun ke tahun.



Gambar 6. Tren Prediksi Emisi dan Reduksi Emisi Karbon (IPCC 2006 *Tier 2* Metode 2)

Sumber : Data sekunder diolah dari PT. Bumimulia Indah Lestari, 2025

4. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan IPCC 2006 Tier 2, total emisi karbon periode November 2020–2024 sebesar 129.372 ton CO₂eq (metode 1) dan 125.935 ton CO₂eq (metode 2), dengan reduksi masing-masing 10.680 ton CO₂eq dan 10.396 ton CO₂eq. Hal ini menunjukkan kontribusi PLTS terhadap penurunan emisi masih relatif kecil, sehingga peningkatan reduksi dapat dilakukan melalui penambahan kapasitas sambung, pemilihan panel dengan iradiasi lebih tinggi, serta perubahan sistem dari on-grid ke off-grid. Total efisiensi listrik periode November 2020–Desember 2024 mencapai Rp20,3 miliar atau sekitar Rp4,06 miliar per tahun, dengan porsi pemakaian listrik PLTS sebesar 8%. Nilai ekonomi karbon dari reduksi emisi mencapai Rp310,7 juta, serta potensi surplus dari perdagangan karbon sekitar Rp812,5 juta per tahun.

UNGKAPAN

Penulis menyampaikan terima kasih banyak kepada semua orang yang terlibat dalam proses penulisan tulisan ini khususnya kepada PT. Bumimulia Indah Lestari yang telah mengizinkan pengambilan dan publikasi data.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif, F., & Martin, A. (2022). Tinjauan potensi Dan Kebijakan energi surya di Indonesia. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 6(1), 43-52.
- Bahriansyah, R. I., & Ginting, Y. L. (2022). Pengungkapan emisi karbon terhadap nilai perusahaan dengan media exposure sebagai variabel moderasi. *JRAP (Jurnal Riset Akuntansi Dan Perpajakan)*, 9(2), 226-237.
- Harmoni Peraturan Perpajakan. (2021). Undang-Undang No. 7 Tahun 2021 tentang Harmonisasi Peraturan Perpajakan (HPP). *Republik Indonesia*, 12(November), 1–68. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/234926/perpu-no-2-tahun-2022%0Awww.djpk.depkeu.go.id>
- Hashim, B. M., Sultan, M. A., Al Maliki, A., & Al-Ansari, N. (2020). Estimation of greenhouse gases emitted from energy industry (oil refining and electricity generation) in Iraq using IPCC methodology. *Atmosphere*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/atmos11060662>
- Hidayat, Robi Taofik, Irvan Aditya Nugroho, Duta Manuarva Wahyu Saputra, and Marza Ihsan Marzuki. 2023. “Rancang Bangun Sistem Smart Street Light Menggunakan Arduino Berbasis Internet of Things.” *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan* 7(3): 1145–52. doi:10.33379/gtech.v7i3.2942.

- Kurniawan, J., Razak, A., Syah, N., Diliarosta, S., & Azhar, A. (2024). Pemanasan global: faktor, dampak dan upaya penanggulangan. *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, 3(6), 646-655.
- Luthfianingsih, F., Asyari, S. N., Sidabutar, T. Y., Fitri, M. A., & Kamal, U. (2025). Strategi dan Implementasi Net Zero Emission melalui PLTS Terapung Cirata Menuju Target Indonesia 2060. *Jurnal Intelek Insan Cendikia*, 2(6), 11699-11708.
- Mubila, A. M., Suryani, S. A., Pratiwi, L. A., Fadillah, I., & Marweny, E. (2024). Analisis Hukum Terkait Pemanasan Global Dan Perubahan Iklim Yang Berdampak Terhadap Kelangsungan Hidup Manusia (Pembahasan Terhadap Regulasi Internasional Dan Indonesia). *Jurnal Kajian Hukum Dan Kebijakan Publik* | E-ISSN: 3031-8882, 2(1), 22-29.
- Mufidah Hariswan, Adibah, Emrinaldi DP Nur, Nanda Fito Mela, and Universitas Riau. 2022. 18 Jurnal Al-Iqtishad Edisi *Pengungkapan Emisi Karbon Perusahaan Pertambangan Di Indonesia*.
- Permen ESDM nomor 16. (2022). *Peraturan menteri ESDM nomor 16 tahun 2022 tentang tata cara penyelenggara nilai ekonomi karbon subsektor pembangkit tenaga listrik*. 1323, 22.
- Putra, A. M. N., Darmawan, F., Vermana, A. R., Dewi, A. Y., & Bandri, S. (2021). Potensi Energi Listrik PLTS Atap Gedung Laboratorium Teknik Elektro Untuk Pengembangan Net Zero Energi Building (NZEB). *Jurnal Teknik Elektro*, 10(2), 125–130.
- Soedjarwanto, Endah Komalasari, & Syuja Asyraf Fardhan. (2022). Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Dengan Baterai Dan Terhubung Grid Di Nias, Sumatera Utara. *Jurnal Teknik Ilmu Dan Aplikasi*, 3(2), 1–7. <https://doi.org/10.33795/jtia.v1i1.91>
- Trimuliani, D., & Febrianto, R. (2023). Pengungkapan emisi karbon dan kinerja karbon terhadap nilai perusahaan: moderasi kepemilikan negara. *Jurnal Informatika Ekonomi Bisnis*, 900-906.
- Wicaksono, A. (2023). Kontribusi Aktif Pemerintah Pada Penanganan Isu Gas Rumah Kaca dan Perubahan Iklim Global. *J. Keuang. Negaradan Kebijakan. Publik*, 3, 54.
- Widiawati, Pipit, and Cholis Hidayati. 2024. Pengungkapan Emisi Karbon: Studi Pada Perusahaan Manufaktur Indonesia. *Jurnal Masharif al-Syariah: Jurnal Ekonomi dan Perbankan Syariah* 9(3): 2186–2206.