



Terbit online pada laman web jurnal :<http://jurnaldampak.ft.unand.ac.id/>

Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas

| ISSN (Print) 1829-6084 |ISSN (Online) 2597-5129|



Artikel Penelitian

Studi Potensi Serapan Karbon dan Nilai Ekonomi dari Inisiatif Penghijauan di PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU

Muhammad Adli¹⁾, Isra Suryati^{1*)}, Rahmi Utami¹⁾, Yasmine Anggia Sari¹⁾, Lies Setyowati²⁾, Affandi Lubis³⁾, Randy Zulkarnain⁴⁾

1.Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia

2.Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu (DPMPSTP) Kota Medan, Indonesia

3.PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU, Kabupaten Langkat, Indonesia

4.UPDL Padang, Kabupaten Padang Pariaman, Indonesia

*Koresponden: israsuryati@eng.unand.ac.id

Diterima: 31 Oktober 2024

Diperbaiki: 29 November 2024

Disetujui: 6 Januari 2025

ABSTRACT

Global warming is a crucial issue impacting the environment, primarily caused by greenhouse gas (GHG) emissions from the energy sector. PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU, a coal-fired power plant, is responsible for mitigating the environmental impact of its operations. This study aims to evaluate the carbon sequestration potential of PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU's greening program and its economic value. The methods used include allometric equations to measure carbon sequestration and the proxy good technique for calculating economic value. The study identifies the carbon sequestration potential and economic value of the greening program at the operational site (8.57 ha) and the mangrove site (2 ha) in Pasar Rawa Village. The results show a total carbon sequestration of 1,231.06 tons of CO₂ per year with an economic value of \$12,310.68 USD or approximately Rp201,895,152.00 IDR per year, based on a carbon market price of \$10 per ton of CO₂. Although the program provides environmental benefits and economic value, it still falls short of meeting the emission standards set by KEPMEN ESDM No.14 of 2023. To meet the emission targets for 2024, an additional reduction of 353,744.58 tons of CO₂e is needed. In conclusion, while the greening program offers significant environmental and economic benefits, additional efforts are required to meet stricter emission standards

Keyword: carbon sequestration, economic value of carbon, global warming, greenhouse gas emissions, greening

ABSTRAK

Pemanasan global menjadi permasalahan krusial yang berdampak terhadap lingkungan, terutama disebabkan oleh emisi gas rumah kaca (GRK) dari sektor energi. PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU, sebagai pembangkit listrik berbahan bakar batubara, bertanggung jawab mengurangi dampak lingkungan dari operasional PLTU. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi potensi serapan karbon dari program penghijauan PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU serta nilai ekonominya. Metode yang digunakan adalah persamaan allometrik untuk mengukur serapan karbon dan perhitungan nilai ekonomi dengan metode proxy good technique. Penelitian ini mengidentifikasi potensi serapan karbon dan nilai ekonomi dari program penghijauan di lokasi operasional (8,57 ha) dan lokasi mangrove (2 ha) di Desa Pasar Rawa. Hasil penelitian menunjukkan total serapan karbon mencapai 1.231,06 ton CO₂ per tahun dengan nilai ekonomi sebesar \$12.310,68 USD atau sekitar Rp201.895.152,00 IDR per tahun, berdasarkan harga pasar karbon sebesar \$10 per ton CO₂. Meskipun memberikan manfaat lingkungan dan nilai ekonomi, program ini masih defisit dalam memenuhi persetujuan teknis batas atas emisi (PTBAE) yang ditetapkan oleh Kementerian ESDM. Untuk memenuhi target emisi pada tahun 2024, diperlukan pengurangan sebesar 353.744,58 ton CO₂e yang membutuhkan lebih luas lagi lahan penghijauan..

Kata Kunci: emisi gas rumah kaca, nilai ekonomi karbon, pemanasan global, penghijauan, serapan karbon

1. PENDAHULUAN

Pemanasan global merupakan permasalahan krusial yang berdampak signifikan terhadap lingkungan. Fenomena ini ditandai dengan naiknya suhu atmosfer, laut, dan daratan bumi, yang mengakibatkan ketidakseimbangan ekosistem di seluruh dunia. Pemanasan Global (*global warming*) disebabkan oleh peningkatan jumlah gas rumah kaca (GRK) secara besar-besaran. CO₂ menjadi emisi yang paling berpengaruh pada kualitas udara, dimana dengan meningkatnya konsentrasi CO₂ di atmosfer, maka akan menyebabkan semakin banyaknya gelombang panas yang dipantulkan dari permukaan bumi diserap oleh atmosfer. Hal ini akan mengakibatkan meningkatnya suhu rata-rata permukaan bumi (Sunarno et al., 2020).

Emisi CO₂e (karbon dioksida ekuivalen) bersumber dari sektor energi, industri, pertanian, kehutanan, dan limbah. Menurut *World Meteorological Organization* (WMO), CO₂e dari sektor energi ikut menyumbang secara signifikan terhadap pemanasan global (Mariana, 2023). Berdasarkan dokumen inventarisasi emisi gas rumah kaca Kabupaten Langkat tahun 2023 dimana, sektor energi menyumbang CO₂e sebesar 69% diikuti dengan sektor pertanian sebesar 13%, lalu CO₂e dari sektor limbah sebesar 9%, sektor kehutanan menghasilkan CO₂e sebesar 8% dan dari sektor IPPU sebesar 1% (DLH Langkat, 2023).

Data Inventarisasi PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU 2023 menunjukkan sebesar 1,252 ton CO₂e/MWh dihasilkan dari kegiatan operasional. Nilai emisi CO₂ yang dihasilkan PLTU jenis Nonmulut Tambang dengan kapasitas 2 x 200 MW tersebut melebihi PTBAE (Persetujuan Teknis Batas Atas Emisi Gas Rumah Kaca) yang ditetapkan. Ketetapan yang digunakan adalah KEPMEN ESDM No.14 Tahun 2023 tentang “Persetujuan Teknis Batas Atas Emisi Gas Rumah Kaca Pembangkit Listrik Tenaga Uap Batubara yang Terhubung Ke Jaringan Tenaga Listrik PT PLN (PERSERO) Fase Kesatu” dimana nilai batas atas PTBAE sebesar 1,011 ton CO₂e /MWh.

Dalam hal ini, PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU selaku industri pembangkit listrik memiliki tanggung jawab untuk mencari solusi yang dapat mengurangi dampak lingkungan dari operasional PLTU. Serapan karbon dari program penghijauan PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU merupakan salah satu upaya dalam meminimalisir CO₂e yang dihasilkan. Namun, pihak perusahaan belum melakukan perhitungan terkait potensi nilai serapan karbon dan ekonomi berdasarkan program penghijauan yang dilakukan serta optimalisasi terhadap serapan karbon yang dihasilkan (Wibowo et al., 2023).

Upaya mitigasi perubahan iklim di Indonesia juga didukung oleh beberapa peraturan dan kebijakan penting. Peraturan Presiden No 98 Tahun 2021 tentang “Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional” mengatur kerangka kerja untuk penerapan nilai ekonomi karbon di berbagai sektor guna mendukung pencapaian target *Nationally Determined Contribution* (NDC) dan mengendalikan emisi gas rumah kaca. NDC untuk sektor energi merupakan komitmen Indonesia untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan menangani perubahan iklim sebagai bagian dari upaya global di bawah *Paris Agreement*. Target-target NDC untuk sektor energi Indonesia mencakup pengurangan emisi sebesar 29% pada tahun 2030 dibandingkan dengan skenario *business-as-usual* dengan upaya sendiri, dan hingga 41% dengan bantuan internasional.

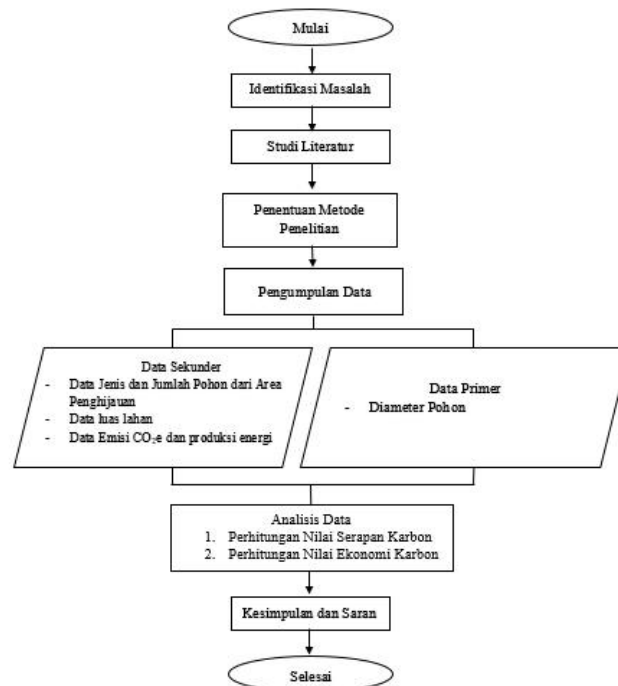
Oleh karena itu, penelitian ini sebagai upaya memberi gambaran hasil kinerja PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU tentang pengelolaan lingkungan yang tercermin dari potensi dan nilai ekonomi cadangan karbon. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk perbaikan kualitas lingkungan dan pengelolaan lingkungan secara lestari sehingga memberi kontribusi pada upaya mempertahankan iklim dan meningkatkan kemampuan bumi dalam menyimpan dan menyerap karbondioksida sebagai upaya mencegah pemanasan global.

2. METODOLOGI

2.1 Kerangka Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi serapan karbon dari program penghijauan dan menganalisis nilai ekonomi karbon yang dihasilkan serta meningkatkan potensi optimalisasi penurunan emisi gas rumah kaca PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk mengevaluasi potensi serapan karbon dari program penghijauan yang dilaksanakan oleh PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU. Penelitian ini mengumpulkan data kuantitatif seperti diameter pohon, Jumlah Pohon, data luas lahan, data emisi CO₂e dan produksi energi kemudian dilakukan perhitungan menggunakan persamaan allometrik untuk mengestimasi serapan karbon dari vegetasi di lokasi penghijauan. Pendekatan ini juga menggunakan metode *proxy good technique* untuk menghitung nilai ekonomi karbon berdasarkan harga pasar karbon yang berlaku saat penelitian. Kerangka proses penelitian memuat langkah-langkah yang akan dilakukan

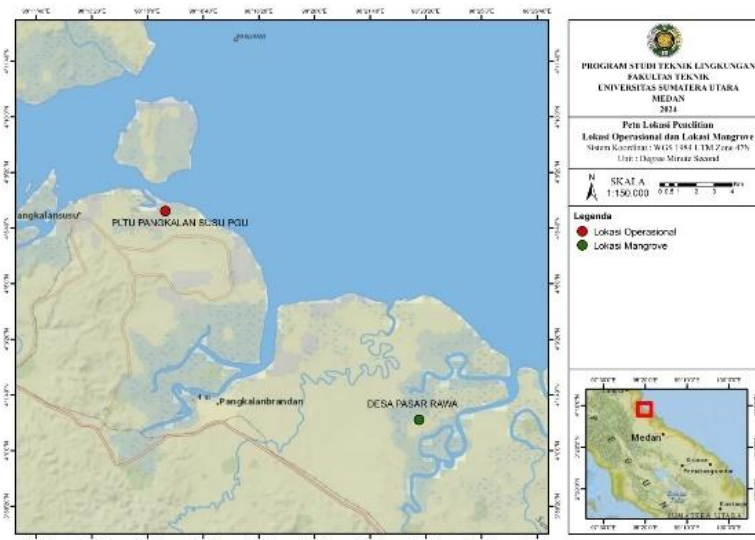
dalam penelitian agar penelitian dapat dilakukan dengan lebih sistematis, berjalan dengan baik dan dapat meminimalisir kesalahan. Adapun kerangka penelitian ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di dua lokasi berbeda yang menjadi bagian dari program penghijauan PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU. Lokasi-lokasi tersebut adalah wilayah operasional PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU dan kawasan mangrove di Desa Pasar Rawa, Kecamatan Gebang, Kabupaten Langkat, Provinsi Sumatera Utara. Penelitian dilakukan selama enam bulan, dari Januari 2024 hingga Juni 2024. Gambar lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

2.3. Pengumpulan Data

2.3.1. Data Primer

Pengumpulan data dilakukan dengan Metode sensus tegakan pohon pada Lokasi operasional yang meliputi :

1. Mencatat jenis dan jumlah pohon di area penghijauan serta melakukan identifikasi tanaman menggunakan aplikasi “*PlantNet Plant Identification*”
2. Mengukur diameter pohon pada ketinggian dada menggunakan tali meteran

Pada lokasi *mangrove* pengumpulan data dilakukan dengan metode survei berdasarkan SNI 7724:2011 tentang Pengukuran dan Perhitungan Cadangan Karbon dengan mengukur diameter *mangrove* menggunakan tali meteran.

2.3.2. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU dan literatur terkait, meliputi:

1. Data vegetasi program penghijauan
2. Data emisi CO₂e dari aplikasi *Apple Gatrix*
3. Data Produksi Energi Netto (MWH)

2.4 Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan yaitu *Global Position System* (GPS) untuk menentukan titik koordinat lokasi penelitian, kamera untuk pengambilan dokumentasi penelitian, alat tulis untuk melakukan inventarisasi data ketika berada di lapangan, tali meteran untuk mengukur diameter pohon, tali plastik dan patok untuk membuat batasan plot sampling serta bahan yang digunakan yaitu *Tally sheet* yang digunakan sebagai pencatatan data dalam pengambilan data ketika berada di lapangan.

2.5 Analisis Data

2.5.1. Perhitungan Serapan Karbon

Seperti yang dikemukakan oleh Ketterings et al., (2001), Pengukuran serapan karbon dilakukan menggunakan metode allometrik, dengan rumus sebagai berikut:

$$BK = 0,11 \times \rho \times D^{2,62} \quad (1)$$

Keterangan:

- BK = Biomasa Pohon (kg/pohon)
 D = Diameter Pohon Setinggi Dada (1,3 m)
 ρ = Berat Jenis Kayu (gr/cm³)

Menurut Hardiansyah (2011) bahwasanya dalam SNI 7724:2011 tentang pengukuran dan penghitungan cadangan karbon disebutkan besaran persentase karbon dalam kayu, serasah dan kayu mati sebesar 47%. Sehingga untuk menduga karbon dalam kayu dapat digunakan persamaan:

$$C = 47\% \times BK \quad (2)$$

$$C = 47\% \times BK \quad (2)$$

Keterangan:

- C = Karbon Pohon (kg)
 47% = Konstanta Karbon (SNI 7724 :2011)
 BK = Biomasa Pohon (kg/pohon)

Dalam Kindangen et al., (2021), serapan karbondioksida dapat diperoleh melalui perhitungan perkalian Total Karbon dengan Faktor Konversi Karbon (3,67). 3,67 merupakan angka konversi unsur karbon (C) ke CO₂ (masa atom C=12 dan O=16, CO₂ => (1x12) + (2x16) =44; konversinya => (44:12) = 3,67).

$$\text{Serapan CO}_2 = \text{Total C} \times 3,67 \quad (3)$$

2.5.2. Perhitungan Nilai Ekonomi Karbon

Nilai ekonomi karbon dihitung berdasarkan harga pasar karbon dunia berdasarkan *European Union Emissions Trading System* sebesar \$10USD per ton (Kadir, 2021). Menurut laporan *World Bank* (2021), harga karbon di pasar internasional berkisar antara \$1 hingga \$50 per ton CO₂, tergantung pada mekanisme dan lokasi pasar. Nilai \$10 per ton CO₂ digunakan sebagai perkiraan konservatif yang mencerminkan harga rata-rata dalam berbagai sistem dan pasar.

$$\text{Nilai Ekonomi Karbon (NEK)} = \text{Jumlah Karbon yang diserap} \times \text{Harga Karbon} \quad (4)$$

2.5.3 Optimalisasi Penurunan Emisi Memenuhi PTBAE (Persetujuan Teknis Batas Atas Emisi)

PTBAE (Persetujuan Teknis Batas Atas Emisi) menjadi acuan untuk menilai efektivitas dari kegiatan penghijauan yang dilakukan PLTU Pangkalan Susu. Nilai PTBAE (Persetujuan Teknis Batas Atas Emisi) diperoleh berdasarkan PERMEN ESDM No.16 Tahun 2022 tentang “Tata Cara Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon Subsektor Pembangkit Tenaga Listrik”. PTBAE untuk PLTU Nonmulut Tambang dengan kapasitas 100 MW ≤ x

≥ 400 MW sebesar 1,011 juta ton $\text{CO}_2\text{e}/\text{MWh}$. Perhitungan untuk mencari nilai tersebut diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut.

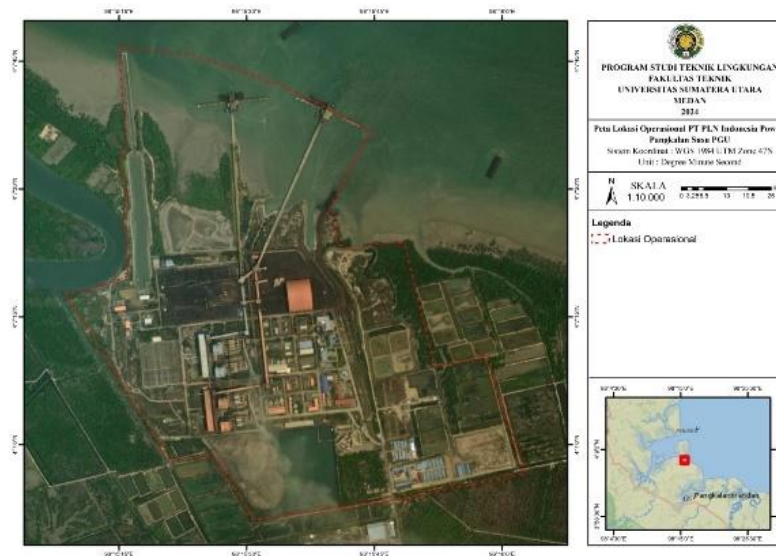
$$\text{Emisi } \text{CO}_2/\text{MWh} = \frac{\text{Emisi ton } \text{CO}_2\text{e} / \text{tahun}}{\text{Produksi Energi (MWh)/tahun}} \quad (5)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Nilai Serapan Karbon

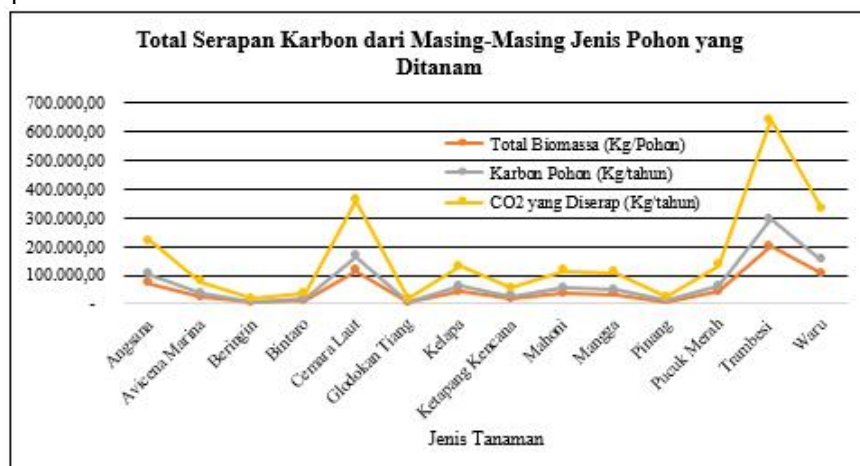
3.1.1. Lokasi Operasional

Program penghijauan PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU melibatkan penanaman berbagai jenis vegetasi di beberapa area sejak tahun 2019. Setiap area telah dipantau dan dianalisis untuk mengetahui kontribusinya terhadap serapan karbon. Hasil analisis vegetasi menunjukkan terdapat 14 jenis tanaman yang terdapat di lokasi operasional PLTU yang diamati dengan jumlah keseluruhan 9.097 pohon. *Jetty* menjadi area dengan jumlah tanaman terbanyak yaitu 6.058 pohon yang terdiri dari 6000 mangrove jenis *Lumnitzera littorea* dan 58 Cemara laut, sedangkan di Taman Administrasi 2 hanya terdapat 7 pohon. Berikut gambar lokasi penghijauan di lokasi operasional.



Gambar 3. Lokasi Penghijauan di Kawasan Operasional

PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU beroperasi di lokasi seluas ± 105 hektar dengan koordinat $98^{\circ}15'45''\text{N}$ dan $04^{\circ}06'58''\text{E}$. Area ini ditanami berbagai jenis vegetasi tropis, termasuk trembesi, angšana, cemara, pucuk merah, pohon mangga, pohon kelengkeng, dan pohon mahoni. Untuk mendukung penghijauan, telah disediakan area seluas $\pm 8,57$ hektar yang mencakup 36 titik penanaman. Selain itu, dapat diketahui bahwa serapan karbon setiap jenis pohon yang terdapat di lokasi operasional berbeda-beda. Serapan karbon setiap jenis tanaman disajikan pada Gambar 4 berikut ini.

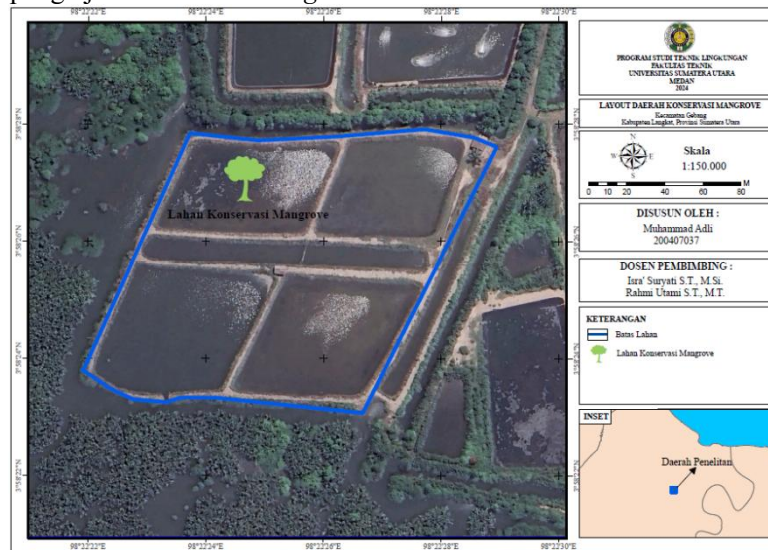


Gambar 4. Total Serapan Karbon dari Jenis - jenis Pohon yang Ditanam

Gambar 4 menunjukkan pohon yang memiliki biomassa terendah adalah Glodokan Tiang (*Polyalthia longifolia*), sebesar 4.940,36 kg/tahun. Sedangkan, pohon yang memiliki biomassa tertinggi adalah pohon Trembesi (*Samanea saman*). Penelitian menunjukkan bahwa pohon dengan biomassa yang besar cenderung memiliki potensi yang lebih besar dalam menyerap dan menyimpan karbon seperti pohon Beringin yang memiliki diameter terbesar 49,68 cm memiliki daya serap CO₂ tertinggi yaitu 3.164,74 kg/pohon/tahun. Oleh karena itu, upaya untuk meningkatkan biomassa pohon dapat berkontribusi dalam mengurangi kadar CO₂ di atmosfer. Total CO₂ yang dapat diserap oleh program penghijauan di lokasi operasional adalah 1.217.779,03 kg/tahun atau 1.220,94 ton/tahun.

3.1.2. Lokasi *Mangrove*

Lahan *mangrove* berada di Desa Pasar Rawa yang berada 39 km dari lokasi operasional memiliki luas 2 ha, kawasan tersebut dulunya lahan kosong dan banyak pohon kelapa sawit yang kemudian beralih fungsi menjadi lahan konservasi *mangrove* pada tahun 2022 yang merupakan program penghijauan dari PLTU Pangkalan Susu. Berikut gambar lokasi penghijauan di lokasi *mangrove*.



Gambar 5. Lokasi Penghijauan *Mangrove* di Desa Pasar Rawa

Desa Pasar Rawa memiliki hutan *mangrove* seluas ±138 hektar yang dikelola dengan Hak Pengelolaan Hutan Desa. Program penghijauan dari PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU pada kawasan hutan *mangrove* ini terletak pada koordinat 3°58'26.30"N dan 98°22'24.70"E, dengan jenis vegetasi dominan berupa *Rhizophora apiculata* dan *Rhizophora mucronata* yang dimana area penghijauan seluas ±2 hektar yang didedikasikan untuk upaya konservasi dan pelestarian ekosistem *mangrove* di desa ini. Berikut Gambar 5 yang memperlihatkan kondisi eksisting *mangrove* jenis *Rhizophora apiculata* (a) dan *Rhizophora mucronata* (b)



Gambar 6. Penghijauan *Mangrove* di Desa Pasar Rawa
(a) *Rhizophora apiculata* (b) *Rhizophora mucronata*

Penanaman *mangrove* di Desa Pasar Rawa juga berkontribusi positif terhadap serapan karbon. Strategi penghijauan dengan konservasi *mangrove*, dimana *mangrove* efektif dalam menyerap dan menyimpan karbon dari

atmosfer. *Mangrove* mampu menyerap karbon dioksida (CO₂) dari udara dan menyimpannya dalam biomassa tumbuhan serta dalam sedimen di bawah perairan (Amanda et al., 2021). Studi menunjukkan bahwa *mangrove* memiliki nilai biomassa yang berkorelasi positif dengan kandungan karbonnya, yang berarti semakin besar biomassa *mangrove*, semakin banyak karbon yang dapat disimpannya (Hidayah et al., 2020).

Berikut adalah tabel 1 serapan karbon dari vegetasi *mangrove*

Tabel 1. Serapan Karbon di Lokasi *Mangrove* pada Tahun 2024

Jenis <i>Mangrove</i>	Luas Area (ha)	Jumlah Pohon	Diameter Rata-rata (cm)	Total Biomassa (kg/tahun)	Karbon Pohon (kg/tahun)	CO ₂ yang Diserap (kg/tahun)
<i>Rhizophora apiculata</i>	1	2000	3	2.347,64	1.103,39	4.049,45
<i>Rhizophora mucronata</i>	1	3000	3	3.521,46	1.655,09	6.074,17
Total				5.869,10	2.758,48	10.123,61

Rhizophora apiculata dan *Rhizophora mucronata* masing-masing mencakup area seluas 1 ha. Kedua jenis *mangrove* ini memiliki diameter rata-rata 3 cm di tahun 2024 dengan jumlah pohon yang berbeda, 2000 untuk *Rhizophora apiculata* dan 3000 untuk *Rhizophora mucronata*. Total biomassa yang dihasilkan oleh *Rhizophora apiculata* adalah 2.347,64 kg/tahun, sedangkan *Rhizophora mucronata* menghasilkan 3.521,46 kg/tahun. Serapan CO₂ dari *Rhizophora Apiculata* adalah 4.049,45 kg/tahun atau 4,05 ton/tahun, sementara *Rhizophora Mucronata* menyerap 6.074,17 kg/tahun atau 6,07 ton/tahun. Total serapan karbon dari lokasi *mangrove* yaitu 10,12 ton/tahun.

3.2. Nilai Ekonomi Karbon

Nilai ekonomi karbon adalah konsep yang digunakan untuk memberikan nilai moneter terhadap jumlah karbon yang diserap atau disimpan oleh suatu entitas, seperti vegetasi atau teknologi pengurangan emisi. Nilai ini penting karena memungkinkan kita untuk mengukur dampak finansial dari upaya mitigasi perubahan iklim, memberikan insentif ekonomi bagi perusahaan dan individu untuk mengurangi emisi karbon, serta membantu dalam pengambilan keputusan terkait kebijakan lingkungan. Dengan memberikan nilai ekonomi pada serapan karbon, maka dapat memberikan insentif finansial kepada perusahaan untuk berinvestasi dalam teknologi yang dapat mengurangi emisi karbon. Selain itu, memperlihatkan secara konkret nilai finansial dari upaya pelestarian lingkungan, sehingga meningkatkan kesadaran dan tanggung jawab lingkungan di masyarakat. Membantu pemerintah dan organisasi untuk mengevaluasi efektivitas kebijakan lingkungan dan strategi mitigasi perubahan iklim berdasarkan dampak finansialnya.

Menurut laporan *World Bank* (2021), harga karbon di pasar internasional berkisar antara \$1 hingga \$50 per ton CO₂, tergantung pada mekanisme dan lokasi pasar. Nilai \$10 per ton CO₂ digunakan sebagai perkiraan konservatif yang mencerminkan harga rata-rata dalam berbagai sistem dan pasar (Ichwan K, 2021). Berikut tabel nilai ekonomi karbon dari penghijauan.

Tabel 2. Estimasi Nilai Ekonomi Karbon dari Program Penghijauan

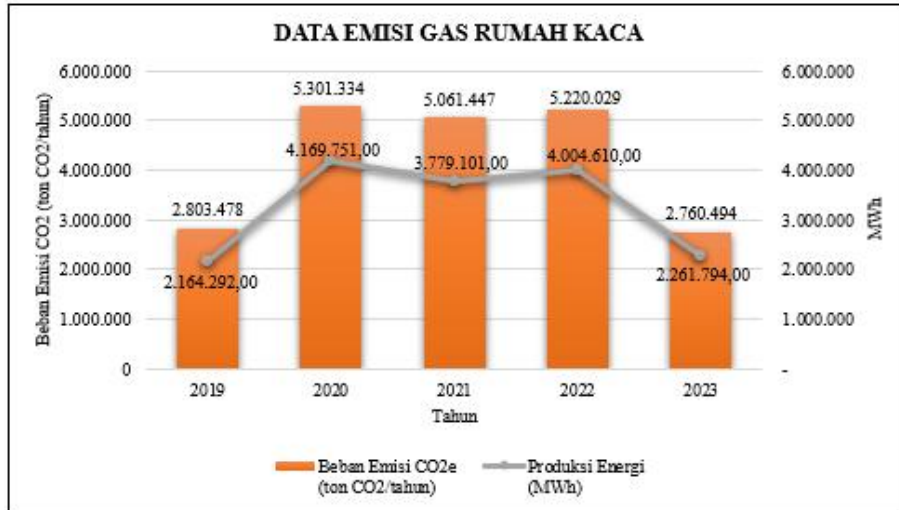
Lokasi	Luas Area (ha)	CO ₂ yang Diserap (ton/tahun)	Nilai Ekonomi Karbon	
			\$	Rp
Operasional	8,57	2000	2.347,64	1.103,39
Lahan <i>Mangrove</i>	2	3000	3.521,46	1.655,09
Total	10,57	1231,06	12.310,68	201.895.152,00

Berdasarkan Tabel 2, setiap lokasi menunjukkan potensi tegakan pohon dan nilai ekonomi simpanan karbon yang dimiliki yaitu dari area Operasional dan Lahan *Mangrove*. Melihat kondisi potensi tegakan pohon di lokasi operasional, dengan potensi nilai serapan karbon, 1.220,94 ton/tahun dan nilai ekonomi serapan karbon Rp 200.234.816,-/tahun dan potensi tegakan *mangrove* di lahan *mangrove* yang terletak di Pasar Rawa dengan nilai serapan karbon 10,12 ton/tahun dan nilai ekonomi serapan karbon Rp 1.660.336,-/tahun. Total nilai ekonomi karbon dari kedua lokasi tersebut yaitu Rp. 201.895.152,00.

3.3. Optimalisasi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca

Pelaksanaan aksi mitigasi perubahan iklim dapat dilakukan melalui penyelenggaraan nilai ekonomi karbon berdasarkan Pasal 2 ayat 1 dari Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2022 Tentang Tata Laksana Penerapan Nilai Ekonomi Karbon. Program penghijauan diharapkan menjadi langkah dalam penyelenggaraan nilai ekonomi karbon sebagai upaya untuk memitigasi GRK (Gas Rumah Kaca). Oleh karena itu, perlu dilakukan proyeksi untuk optimalisasi emisi GRK dari program penghijauan.

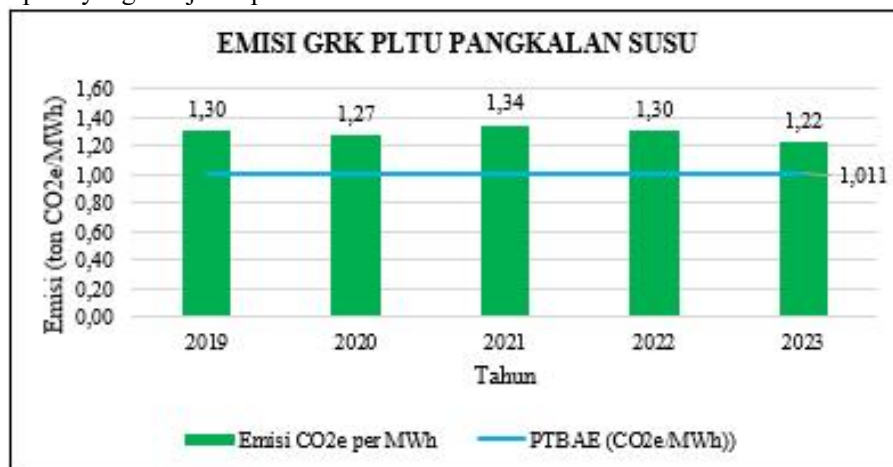
Sebelum melakukan perhitungan potensi penurunan emisi GRK, maka diperlukan data emisi CO₂ yang dihasilkan PLTU Pangkalan Susu dari tahun 2019-2023 seperti yang terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Emisi CO₂e PLTU

Gambar 7 menunjukkan tren emisi CO₂e yang dihasilkan PLTU Pangkalan Susu dari tahun 2019 sampai 2023 dimana diperoleh rata-rata CO₂e (ton) 4.030.956,4 ton CO₂/tahun dengan rata-rata produksi energi 3.276.909,6 MWh. Sehingga rata-rata hasil emisi yang dihasilkan per produksi energi mencapai 1,28 ton CO₂/MWh. Terdapat peningkatan yang signifikan dalam CO₂e (Ton) dan Produksi Energi (MWh) dari tahun 2019 ke 2020, dengan persentase perubahan masing-masing sebesar 89.1% dan 92.6%. Penurunan juga terjadi dalam CO₂e (Ton) dan Produksi Energi (MWh) dari tahun 2022 ke 2023, dengan persentase penurunan masing-masing sebesar 47.1% dan 43.5%.

Berdasarkan data emisi CO₂e PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU, dilakukan perbandingan dengan PTBAE (Persetujuan Teknis Batas Atas Emisi) yang merupakan standar ditetapkan oleh Kementerian ESDM untuk mengatur tingkat emisi gas rumah kaca (GRK) dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbasis batubara. PTBAE memiliki beberapa kategori yang menentukan batas maksimum emisi yang diizinkan untuk tiap PLTU. Pelaksanaan PTBAE menjadi penting karena mengikat secara hukum bagi pembangkit listrik, yang harus mematuhi batas emisi yang ditetapkan. Apabila emisi CO₂e dibagi dengan produksi energi maka diperoleh hasil emisi per MWh seperti yang disajikan pada Gambar 8 berikut ini.

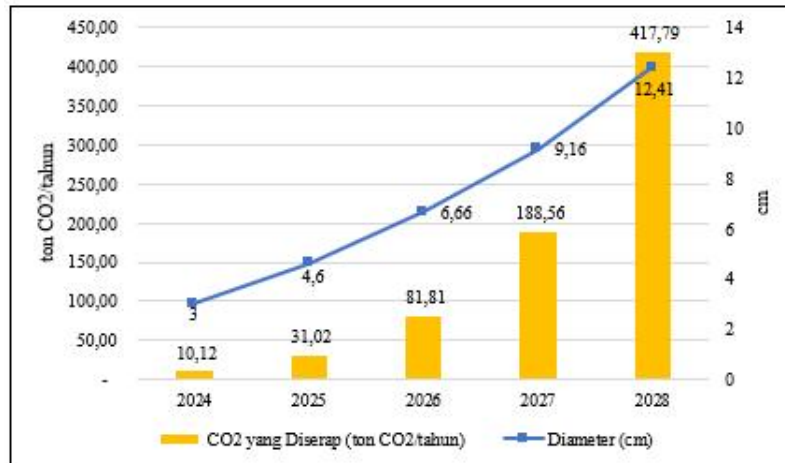


Gambar 8. Perbandingan Emisi dan PTBAE

Gambar 8 menunjukkan emisi CO₂e per energi (MWh) yang dihasilkan dari tahun 2019 hingga 2023, Emisi CO₂e per MWh setiap tahun selalu berada di atas PTBAE (Persetujuan Teknis Batas Atas Emisi) yang ditetapkan sebesar 1,011 CO₂/MWh dan mengalami beberapa fluktuasi selama periode tersebut. Terdapat penurunan dari 1.30 CO₂/MWh pada tahun 2019 ke 1.27 CO₂/MWh pada tahun 2020. Peningkatan terjadi pada tahun 2021 mencapai 1.34 CO₂/MWh, diikuti oleh penurunan kembali ke 1.30 CO₂/MWh pada tahun 2022. Pada tahun 2023, Emisi CO₂e/MWh turun menjadi 1.22 CO₂/MWh, yang merupakan nilai terendah selama periode yang dianalisis. Hal ini menunjukkan bahwa PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU tidak dapat terlibat dalam penjualan perdagangan karbon.

Ada beberapa rekomendasi upaya yang dapat dilakukan agar dapat meningkatkan potensi penurunan emisi gas rumah kaca hingga berada dibawah PTBAE. Berikut beberapa upaya yang dapat dilakukan oleh PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU :

1. Penambahan area penghijauan *mangrove* agar dapat meningkatkan serapan karbon dengan proyeksi pertumbuhan *mangrove* berdasarkan Penelitian yang dilakukan oleh Darwati et al., (2021) yang melakukan penelitian pertumbuhan diameter *mangrove* selama 5 tahun. Hasil penelitian tersebut menunjukkan pertumbuhan tanaman bakau berdasarkan pengukuran rerata diameter pada tanaman bakau yang berumur 5 tahun, 4 tahun, 3 tahun dan 2 tahun berturut-turut sebesar 3,25 cm, 2,5 cm, 2,06 cm dan 1,46 cm. Berikut proyeksi pertumbuhan *mangrove* dengan kemampuan serapan karbon yang disajikan pada gambar 9.



Gambar 9. Proyeksi CO₂ yang Diserap Pada Lahan Mangrove (ton/tahun)

Gambar diatas menunjukkan CO₂ yang diserap pada lahan *mangrove* dengan luas 2 ha mampu menyerap karbon hingga 417,79 ton CO₂/tahun dengan diameter 12,41 cm, sehingga untuk mencapai serapan karbon 353.744,58 ton CO₂e dibutuhkan luas penambahan lahan sesuai dengan perhitungan berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Serapan Karbon 1 ha lahan mangrove} &= \frac{417,79 \text{ ton CO}_2/\text{tahun}}{2 \text{ ha}} \\
 &= 209 \text{ ton CO}_2/\text{tahun/ha} \\
 \text{Kebutuhan Penambahan Luas Lahan Mangrove (ha)} &= \frac{\text{Kebutuhan Serapan Karbon (ton CO}_2\text{e/tahun)}}{\text{Serapan Karbon per hektar (ha)}} \\
 &= \frac{353.744,58 \text{ ton CO}_2\text{e/tahun}}{209 \text{ ton CO}_2/\text{tahun/ha}} \\
 &= 1.693 \text{ ha}
 \end{aligned}$$

Sehingga, dibutuhkan penambahan luas lahan *mangrove* 1.693 ha untuk mencukupi serapan karbon sesuai dengan PTBAE yang ditetapkan.

2. Diversifikasi jenis vegetasi dengan menambah jenis tanaman yang memiliki serapan karbon tinggi dan ditanam di area yang dapat ditanami. Secara rinci, pada penelitian ini dipilih 10 spesies pohon untuk menambah kemampuan daya serap karbon. Spesies tersebut adalah *Samanea saman*, *Ficus benjamina*, *Cassia Sp*, *Pometia pinnata*, *Bauhinia purpurea*, *Cerbera manghas*, *Polyalthia longifolia*, *Swietenia mahagoni* dan *Delonix regia*. *Samanea saman* dipilih karena kemampuan untuk menyerap CO₂ yang tinggi, yaitu 28,48 ton/pohon/tahun (Dahlan, 2007). Rekomendasi penambahan tanaman dengan estimasi serapan karbon yang dihasilkan disajikan dalam tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3. Rekomendasi Tanaman dalam Pengoptimalan Program Penghijauan

Jenis Tanaman	Kemampuan Serapan Pohon (ton/CO ₂ /tahun)	Jumlah Pohon	Jumlah Serapan Karbon (ton CO ₂ /tahun)
Trambesi (<i>Samanea saman</i>)	28,48	5.750	163.760
Beringin (<i>Ficus benjamina</i>)	3,21	5.451	17.497
Casia (<i>Cassia Sp.</i>)	5,29	5.623	29.745
Mahoni	3,11	5.627	17.499

<i>(Swettiana mahagoni)</i>			
Matoa (<i>Pometia pinnata</i>)	3,21	5.560	17.847
Bunga Kupu-Kupu (<i>Bauhinia purpurea</i>)	11,62	5.393	62.666
Bintaro (<i>Cerbera manghas</i>)	2,03	5.172	10.499
Glodokan Tiang (<i>Polyalthia longifolia</i>)	1,06	5.613	5.949
Ketapang Kencana (<i>Terminalia mantaly</i>)	0,52	5.384	2.799
Angsana (<i>Pterocarpus indicus</i>)	3,21	5.560	17.847
Total	61,74	55.133	346.113

- Perusahaan PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu dapat melakukan pembelian perdagangan karbon dari perusahaan lain untuk menutupi emisi gas rumah kaca sebesar 353.744,58 ton CO₂e per tahun yang menunjukkan defisit karbon.

4. KESIMPULAN

Penelitian mengenai potensi serapan karbon dari program penghijauan PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU dan nilai ekonominya menunjukkan hasil yang defisit. Berdasarkan analisis data dan pembahasan pada bab sebelumnya, kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut.

- Program penghijauan PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU yang berada pada lokasi operasional telah menghasilkan serapan karbon sebesar 1.220,94 ton CO₂ per tahun. Sedangkan pada lokasi *mangrove* di Desa Pasar Rawa, program penghijauan telah menghasilkan serapan karbon sebesar 10,12 ton CO₂ per tahun. Total serapan karbon dari kedua lokasi adalah 1231,06 ton CO₂ per tahun.
- Berdasarkan harga pasar karbon sebesar \$10 per ton CO₂, nilai ekonomi dari serapan karbon di lokasi operasional adalah \$12.209,44 USD atau Rp200.234.816,00 IDR dan di lokasi *mangrove* adalah \$101,24 USD atau Rp1.660.336,00 IDR. Total nilai ekonomi karbon dari kedua lokasi adalah \$12.310,68 per tahun atau Rp201.895.152,00 IDR. Nilai ekonomi ini menunjukkan bahwa program penghijauan tidak hanya bermanfaat secara lingkungan, tetapi juga memberikan nilai ekonomi yang dapat mendukung keberlanjutan program tersebut.
- Program penghijauan PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU menunjukkan nilai defisit dalam penyelenggaraan nilai ekonomi karbon. Hasil serapan karbon sebesar 1231,06 ton CO₂ per tahun yang dihasilkan melalui program penghijauan belum dapat memenuhi KEPMEN ESDM No.14 Tahun 2023 dimana nilai persetujuan teknis batas atas emisi (PTBAE) sebesar 1,011 ton CO₂e/MWh. Berdasarkan sisa pengurangan emisi dari program penghijauan, sisa emisi yang harus diserap sebesar 353.744,58 ton CO₂e ton pada tahun 2024 sebagai langkah pengoptimalan serapan karbon dari program penghijauan direkomendasikan penambahan luas area konservasi *mangrove* seluas 1693 ha atau 44.500 jumlah pohon dengan 10 spesies berbeda antara lain *Samanea saman*, *Ficus benjamina*, *Ficus lyrata*, *Pometia pinnata*, *Swietenia mahagoni*, *Delonix regia*, *Bauhinia purpurea*, *Terminalia mantaly*, dan *Cerbera manghas*.

DAFTAR PUSTAKA

- Amanda, Y., Mulyadi, A., & Siregar, Y. I. (2021). Estimasi Stok Karbon Tersimpan pada Hutan Mangrove di Muara Sungai Batang Apar Kecamatan Pariaman Utara Kota Pariaman Provinsi Sumatera Barat Estimation of Carbon Reserved in Mangrove Forest at the Estuary of the Batang. *Jurnal Ilmu Perairan (Aquatic Science)*, 9(1), 38–48.
- Darwati, H., Nurkalida, & Astiani, D. (2021). *Pertumbuhan Tanaman Bakau (Rhizophora spp.) di Kawasan Mangrove Kelurahan Setapak Besar Kota Singkawang*. 9, 686–694.
- Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Langkat. (2023). Laporan Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca Kabupaten Langkat tahun 2023. Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Langkat.
- Hidayah, W., Hamidy, R., & Warningsih, T. (2020). Nilai Ekonomi Serapan Co2 Ekosistem Mangrove di Desa Kelapa Pati Kabupaten Bengkalis. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 14(1), 87. <https://doi.org/10.31258/jil.14.1.p.87-94>
- Kadir, M. I. (2021). Nilai Ekonomi Simpanan Karbon Kebun Raya Jompie Kota Parepare. *Gorontalo Journal of Forestry Research*, 4(2), 126. <https://doi.org/10.32662/gjfr.v4i2.1779>

- Ketterings, Q. M., Coe, R., Van Noordwijk, M., Ambagau', Y., & Palm, C. A. (2001). *Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests*. *Forest Ecology and Management*, 146(1–3), 199–209. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00460-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00460-6)
- Kindangen, G., Sondak, C., & Kumampung, D. R. H. (2021). Estimasi Kandungan Karbon Biomasa Pneumatofor *Avicennia marina*. *Jurnal Pesisir Dan Laut Tropis*, 9(3), 141. <https://doi.org/10.35800/jplt.9.3.2021.38167>
- Sunarno, O., Rahadian, R., Widodo Agung Suedy, S., Pradika, B., Adistya, B., Wahyudi, F. E., Rahman, A. Z., & Paramasatya, S. (2020). *Potensi Dan Nilai Ekonomi Cadangan Karbon pada Area Hijau yang Dikelola oleh PT. Pertamina (Persero) Fuel Terminal Boyolali*. <http://ejurnal.binawakya.or.id/index.php/MBI>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2023). *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2023 Tentang Persetujuan Teknis Batas Atas Emisi*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- World Bank. (2021). *State and Trends of Carbon Pricing 2021*. Washington, DC: World Bank