

**STRATEGI PERENCANAAN PASCA TAMBANG
DALAM MENURUNKAN EMISI GRK*****POST-MINING PLANNING STRATEGY TO REDUCE GHG EMISSION***O. P. Riadi¹, D. N. Martono², S. W. Soelarno³¹⁻³Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia, Indonesia 10430e-mail: lockyriadi@outlook.com**ABSTRAK**

Peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) dari sektor pertambangan mineral logam, termasuk bauksit, menjadi tantangan serius dalam upaya mitigasi perubahan iklim global. Kegiatan penambangan terbuka tidak hanya menghilangkan tutupan lahan yang menyimpan karbon, tetapi juga menambah beban emisi melalui aktivitas operasional seperti pembukaan lahan, penggalian, dan pengangkutan bijih. Penelitian ini bertujuan merumuskan strategi perencanaan pasca tambang yang efektif dalam menurunkan emisi GRK di kawasan tambang bauksit PT X, Kalimantan Barat. Metode yang digunakan adalah campuran kuantitatif dan kualitatif, dengan perhitungan emisi berdasarkan metodologi *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) dan estimasi serapan karbon dari vegetasi reklamasi menggunakan pendekatan allometrik untuk menghitung perubahan stok karbon, emisi CO₂, keekonomisan, dan strategi terbaik dalam perencanaan pasca tambang. Hasil penelitian menunjukkan emisi CO₂ tertinggi dihasilkan dari kegiatan *ore getting* dan *hauling* dengan puncak emisi terjadi pada 2025-2026 sebesar 12.000 ton CO₂. Reklamasi menggunakan tanaman sawit memiliki total potensi serapan karbon paling rendah dibandingkan reklamasi dengan tanaman Akasia dan Trembesi yaitu mencapai 150 ribu ton C pada 2028. Perhitungan *Cost Benefit Analysis* (CBA) menunjukkan bahwa reklamasi dengan penanaman kelapa sawit menghasilkan *Net Present Value* (NPV) mencapai Rp 33.225.185.672 selama 10 tahun dengan *Benefit Cost Ratio* (BCR) sebesar 3,22. Hasil analisis SWOT PT X dianjurkan menerapkan strategi penanaman tanaman sisipan yang mempunyai kemampuan menyerap karbon di antara perkebunan sawit untuk mengoptimalkan serapan karbon sambil mempertahankan komitmen ekonomi masyarakat lokal. Penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi aspek ekologis dan ekonomi dalam perencanaan reklamasi pascatambang merupakan pendekatan utama untuk mendukung pertambangan rendah karbon di Indonesia.

Kata kunci: gas rumah kaca, stok karbon, pasca tambang, ekonomis**ABSTRACT**

The increasing green house gas (GHG) emissions from the metal mineral mining sector, including bauxite, pose a significant challenge in global climate change mitigation efforts. Open-pit mining activities not only eliminate carbon-storing land cover but also contribute to substantial GHG emissions through land clearing, excavation, and ore transportation operations. This study aims to formulate an effective post-mining reclamation strategy to reduce GHG emissions in the bauxite mining area of PT X, West Kalimantan. A mixed-method approach was employed, integrating quantitative and qualitative analyses. Emissions were calculated using *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) methodologies, while carbon sequestration from reclamation vegetation was estimated using an allometric approach to assess changes in carbon stock, CO₂ emissions, economic viability, and optimal post-mining planning strategies. The results indicate that the highest CO₂ emissions originate from ore getting and hauling activities, peaking at 12,000 tons CO₂ in 2025–2026. Reclamation using oil palm plantations demonstrated the lowest carbon sequestration potential compared to Acacia and Trembesi plantations, with a maximum carbon stock of 150,000 tons C by 2028. *Cost Benefit Analysis* (CBA) revealed that oil palm reclamation yields a *Net Present Value* (NPV) of IDR 33,225,185,672 over 10 years and a *Benefit-Cost Ratio* (BCR) of 3.22. SWOT analysis recommends PT X adopt an intercropping strategy by integrating high carbon-sequestering tree species within oil palm plantations to enhance carbon uptake while maintaining economic benefits for the local community. This study concludes that integrating ecological and economic aspects into post-mining reclamation planning is a key approach to supporting low-carbon mining practices in Indonesia.

Keywords : green house gas, carbon stock, post mining, economical

PENDAHULUAN

Pemanasan global dan perubahan iklim telah menjadi tantangan lingkungan terbesar di era modern, dengan emisi gas rumah kaca (GRK) sebagai kontributor utama. Sektor pertambangan, khususnya, memiliki dampak signifikan terhadap lingkungan, baik selama masa operasi maupun setelah tambang ditutup [1]. Di Indonesia, sektor ini memiliki peran strategis dalam perekonomian, namun juga menjadi sumber utama emisi GRK, terutama dari penggunaan energi fosil pada alat berat dan deforestasi [2]. Industri aluminium, termasuk proses penambangan bauksit, bertanggung jawab atas sekitar 1,1 miliar ton emisi GRK pada tahun 2021, setara dengan 4% dari total emisi global [3]. Proses penambangan terbuka menyebabkan deforestasi besar-besaran, yang berkontribusi signifikan terhadap peningkatan emisi GRK. Fase pasca tambang juga masih jarang dimanfaatkan secara strategis untuk menurunkan emisi GRK secara signifikan [4].

PT X, perusahaan tambang bauksit di Indonesia, menyadari dampak lingkungan dari operasinya dan berkomitmen untuk mengurangi emisi GRK melalui teknologi ramah lingkungan, efisiensi energi, serta reklamasi pada saat pasca tambang. Reklamasi yang direncanakan termasuk mengembalikan lahan bekas tambang menjadi perkebunan kelapa sawit, sesuai permintaan masyarakat setempat. Namun, terdapat tantangan dalam memastikan program reklamasi ini tidak hanya memenuhi kebutuhan ekonomi masyarakat tetapi juga efektif dalam mengurangi emisi GRK dan memulihkan fungsi ekologis lahan.

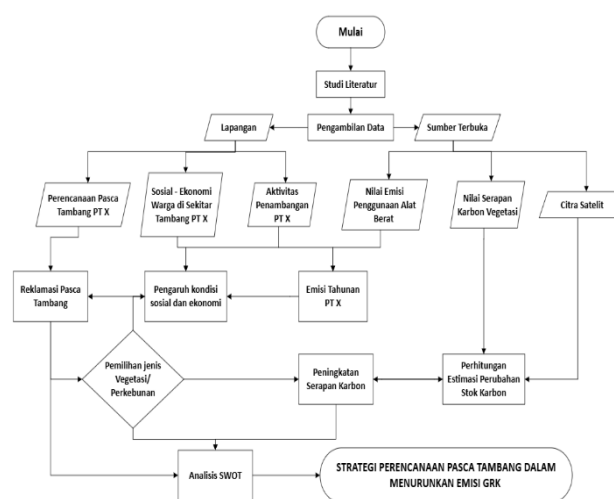
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perencanaan reklamasi dan pasca tambang terhadap pengurangan emisi GRK, perubahan stok karbon, dan perekonomian masyarakat. Sebelum aktivitas pertambangan dilakukan, stok karbon di lokasi penelitian diestimasi mencapai 123 ribu tonC yang terdiri dari perkebunan sawit dan karet, yang mencerminkan cadangan karbon awal dari tutupan vegetasi sebelumnya. Kondisi perekonomian masyarakat saat ini sebagian besar bergantung pada sektor perkebunan, yang menjadi sumber penghidupan utama penduduk setempat. Diharapkan strategi reklamasi yang diusulkan mampu mendukung keberlanjutan lingkungan dan memberikan manfaat ekonomi jangka panjang.

METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian ini dimulai dengan studi literatur, dilanjutkan dengan pengambilan data lapangan dan data terbuka yang relevan. Selanjutnya, data diolah untuk menghasilkan estimasi perubahan stok karbon serta strategi terbaik dalam menurunkan emisi GRK. Data yang diambil meliputi dokumen perencanaan dan aktivitas pertambangan dari PT X, kondisi ekonomi dan sosial masyarakat sekitar PT X, serta data perubahan nilai

serapan karbon dan emisi alat berat yang diperoleh dari sumber-sumber terpercaya.

Metode yang digunakan mencakup perhitungan perubahan penggunaan lahan di area tambang dan evaluasi kelayakan strategi reklamasi yang diterapkan. Proses pengolahan data melibatkan perhitungan serapan karbon menggunakan persamaan alometrik berdasarkan perubahan lahan dan rencana penambangan, serta analisis kelayakan proyek dengan pendekatan *Cost-Benefit Analysis* (CBA), wawancara, hingga analisis *Strengths, Weaknesses, Opportunities, And Threats* (SWOT). Proses alur kerja penelitian ini diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Kerja Penelitian

Perhitungan Emisi GRK

Perhitungan emisi GRK berdasarkan International GHG calculating methodology standards [5]. Pembakaran diesel menghasilkan emisi GRK, terutama dalam bentuk karbon dioksida (CO₂). Perhitungan emisi dari sumber energi dapat tertulis:

$$E_a = Act \times EF_a \quad (1)$$

Dimana:

- E_a : Emisi CO₂ hasil pembakaran bahan bakar fosil (tonCO₂)
- Act : Data Aktivitas, konsumsi Bahan Bakar (Liter)
- EF_a : Faktor Emisi, nilai yang menunjukkan berapa banyak CO₂ yang dihasilkan per liter diesel yang dibakar. Berdasarkan data dari IPCC, faktor emisi untuk minyak diesel adalah sekitar 2,68 kg CO₂/liter [6].

Sedangkan untuk perhitungan emisi GRK dengan sumber dari bukaan lahan menggunakan perhitungan oleh Abdalla (2016), yang menghitung emisi CO₂ berdasarkan

hasil perubahan tata guna lahan dari jenis perkebunan tertentu menjadi tanah kosong [7].

$$E_b = A \times EF_b \quad (2)$$

Dimana:

- E_b : Emisi CO₂ hasil bukaan lahan (KgCO₂)
 A : Luas area bukaan lahan (Ha)
 EF_b : Faktor emisi lahan terbuka dihitung dalam ton/ha berdasarkan Abdalla (2016) dengan nilai 0.5435 ton/ha

Perhitungan Stok Karbon

Dengan metode allometrik yang telah dilakukan oleh penelitian sebelumnya untuk mengestimasi karbon yang tersimpan dalam biomassa tanaman. Pendekatan ini dapat diadaptasi sesuai jenis vegetasi yang ada dan direncanakan untuk reklamasi, sehingga memberikan hasil yang lebih representatif dan akurat untuk lokasi penelitian. Perhitungan serapan berdasarkan luasan area dirumuskan sebagai berikut [8]:

$$C = C_a \times A \quad (3)$$

Dimana:

- C : Total potensi serapan karbon (tonC)
 C_a : Serapan karbon Individu (tonC/ha)
 A : Luas area perkebunan (Ha)

Untuk tanaman seperti sawit (*elaeis guineensis jact*) dan karet (*hevea brasiliensis*) umumnya ditemukan di sekitar area tambang lokasi penelitan. Pada tahap perencanaan reklamasi, rencana untuk menanam campuran tanaman lokal (seperti sawit dan karet) dengan jenis pohon penyerap karbon tinggi seperti akasia (*acacia mangium*) [9] dan trembesi (*samanea saman*) [10] yang dapat meningkatkan stok karbon secara signifikan.

Analisis Cost Benefit

Cost-Benefit Analysis (CBA) atau Analisis Biaya-Manfaat adalah metode sistematis yang digunakan untuk menghitung dan membandingkan biaya serta manfaat dari suatu proyek, kebijakan, atau keputusan bisnis [11], sedangkan *Total Benefits* (TB) adalah jumlah semua keuntungan yang dihasilkan oleh suatu proyek atau kebijakan [12]. Perhitungan CBA, pada analisis ini digunakan untuk menghitung lahan pasca-tambang yang menjadi area penyerapan karbon menggunakan pohon dan melibatkan penilaian ekonomi terhadap biaya yang dikeluarkan dibandingkan dengan manfaat yang diperoleh dari penyerapan karbon.

Perhitungan TB mencakup manfaat dari reklamasi lahan dengan penanaman pohon seperti sawit yaitu mencakup pendapatan dari penjualan produk seperti Tandan Buah Segar (TBS) dan produk sampingan lainnya seperti biaya

langsung dan tidak langsung. CBA dapat dihitung menggunakan rumus berikut [13]:

$$NB = TB - TC \quad (4)$$

Dimana:

- NB : Perbandingan keuntungan dan manfaat
 TB : Manfaat ekonomi total yang diperoleh dari reklamasi lahan sebagai area penyerapan karbon, termasuk pengurangan emisi gas rumah kaca dan penjualan TBS
 TC : Total biaya yang dikeluarkan untuk reklamasi

Jika hasil perhitungan *Net Benefit* menunjukkan angka positif, kegiatan reklamasi pasca tambang dapat memberikan keuntungan bersih karena manfaat yang diperoleh melebihi biaya yang dikeluarkan, sedangkan jika hasil *Net Benefit* negatif, menunjukkan biaya melebihi manfaat yang diperoleh secara finansial.

Kelayakan dan efisiensi strategi yang telah direncanakan dihitung kembali menggunakan *Benefit Cost Ratio* (BCR) dengan membantu pengambil keputusan menentukan apakah suatu proyek layak untuk dilanjutkan atau ditinggalkan [13]. Persamaan BCR dapat ditulis sebagai berikut :

$$BCR = \frac{TB}{TC} \quad (5)$$

Wawancara

Pengumpulan data wawancara berdasarkan keterlibatan masyarakat secara langsung terhadap kehadiran tambang PT X seperti pemilik kebun dan tenaga ahli tambang. Beberapa pertanyaan dengan panduan kuisioner secara *online* atau langsung bergantung pada ketersediaan dari narasumber untuk mengevaluasi reklamasi dan pascatambang terhadap pengaruh perencanaan lahan setelah direklamasi terhadap ekonomi masyarakat. Kuisioner terdiri atas 3 bagian, yaitu:

1. Bagian 1 berisikan beberapa pertanyaan personal terkait karakteristik dari narasumber (jenis kelamin, umur, pendidikan terakhir, pekerjaan utama, jenis perkebunan, sistem kepemilikan lahan).
2. Bagian 2 berisikan beberapa pertanyaan terkait pengelolaan luasan tanah yang dimiliki (Jenis tanaman dan luasan penanaman)
3. Bagian 3 berisikan beberapa pertanyaan terkait dampak kehadiran tambang PT X di sekitar area kepemilikan terkait harapan dari narasumber untuk setelah pasca-penambangan berakhir.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) Kecamatan Ngambang, terdapat sebanyak 711 orang penduduk dalam usia produktif yang mengalami dampak langsung maupun tidak langsung akibat aktivitas tambang di wilayah penelitian. Dari jumlah tersebut, sebanyak 96 orang

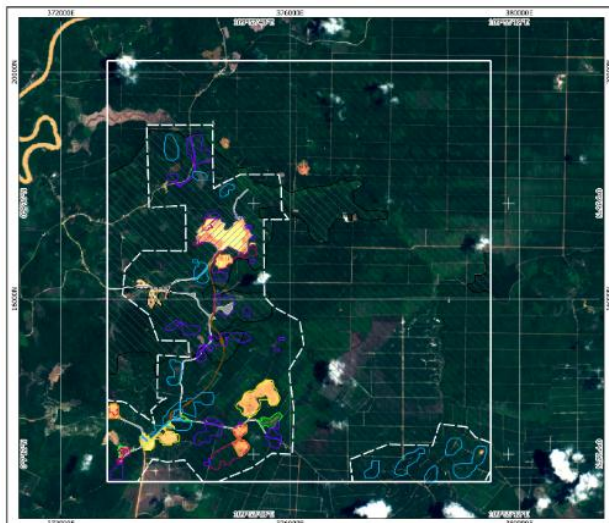
merupakan pemilik lahan kebun sawit yang digunakan sebagai area tambang, sehingga aktivitas penambangan secara langsung memengaruhi mata pencaharian mereka. Berdasarkan rumus slovin dengan tingkat *margin of error* sebesar 10% adalah sejumlah 49 orang yang dijadikan responden pada penelitian kali ini, sedangkan untuk tenaga ahli tambang dan lingkungan sebanyak 8 orang.

Kuesioner penelitian ini dirancang secara khusus untuk mengumpulkan pandangan dan masukan dari tenaga ahli yang berkompeten di berbagai bidang terkait reklamasi pasca tambang seperti Manajer Tambang, Manager Lingkungan, dan Manajer *Community Development* (Comdev) yang fokus pada aspek teknis tambang, reklamasi, dan pengelolaan lahan. Selain itu, keterlibatan pejabat pemerintah dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) yang memiliki keahlian dalam regulasi, reklamasi, dan pengendalian emisi memberikan perspektif kebijakan dan peraturan yang krusial.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Wilayah Penelitian

Total luasan IUP Operasi Produksi PT X seluas 5.050 ha dengan fokus area tambang seluas 1.516 ha (Gambar 2).



Legenda

- Tutupan Lahan :
- Kebun Sawit (3853.65 Ha)
 - Kebun Karet (1000.47 Ha)
 - IUP PT. X (5050 Ha)
 - Area Perencanaan Tambang (1495.18 Ha)
 - Lahan yang sudah direklamasi (5.91 Ha)
 - Mine Out 2022 (8.46 Ha)
 - Mine Out 2023 (38.25 Ha)
 - Mine Out 2024 (14.56 Ha)
 - Rencana Penambangan Tahun 2024 (44.45 Ha)
 - Rencana Penambangan Tahun 2025 (80.93 Ha)
 - Rencana Penambangan Tahun 2026 (96.34 Ha)
 - Washing Plant (38.29 Ha)
 - Rencana Jalan Hauling
 - Jalan Tambang
 - Kantor dan Mess

Gambar 2. Peta Situasi Tambang PT X

Target produksi bijih bauksit PT X adalah sekitar 1 juta ton bauksit tercuci per tahun (Tabel 2), dengan cadangan terkira sebesar 27 juta ton dan cadangan terbukti sebesar 2,9 juta ton. Tambang ini menggunakan sistem penambangan terbuka (*open-pit mining*) dengan ketebalan galian sekitar 3 meter, yang mana perencanaan jadwal penambangan telah dirinci untuk enam tahun mendatang (2022-2026) dan sepenuhnya kegiatan reklamasi hingga dua tahun setelah cadangan habis (2027-2028), termasuk tata letak jalan tambang dan area pengolahan bauksit (Tabel 1).

Tabel 1. Rencana Perubahan Lahan Tahun 2022-2028

	Tahun	Area Penambangan (Ha)	Rencana Reklamasi (Ha)	Luasan area Optimisasi (Ha)
Total Awal		320.81	320.81	1516
Pembangunan Infrastruktur	2021	52.38	-	1463.62
Penambangan	2022	8.46	-	1455.16
	2023	38.25	-	1416.91
	2024	44.45	8.46	1380.92
	2025	80.93	38.25	1338.24
	2026	96.34	44.45	1286.35
Reklamasi	2027	-	80.93	1367.28
	2028	-	148.72	1516
Total Akhir		320.81	320.81	1516

Tabel 2. Rencana Galian Tambang Tahun 2022-2026

Tahun	Aktivitas			SR
	OB Removal	Ore Getting	Ore Washing	
	BCM	CBX	WBX	BCM/TON
2022	407,724	239,838	121,592	1.7
2023	333,950	286,223	130,203	1.2
2024	2,174,000	1,087,000	512,927	2
2025	2,333,000	2,147,000	1,073,500	1.1
2026	2,334,000	2,148,000	1,074,000	1.1
total	7,582,674	5,908,061	2,912,223	1.4 (rata-rata)

Keterangan:

- OB Removal (Overburden Removal)*, satuan BCM (*Bank Cubic Meter*), Menunjukkan volume material penutup (*overburden*) yang harus dipindahkan untuk mengakses bijih bauksit
- Ore Getting*, satuan CBX (*Crude meter Bauxite*), Menunjukkan volume bijih bauksit
- yang ditambang dan masih bercampur dengan material lainnya.
- Ore Washing*, satuan WBX (*Washed Bauxite*), volume bijih bauksit yang telah dicuci, untuk menghilangkan pengotor seperti tanah liat dan silika.

- SR (*Stripping Ratio*), satuan BCM/TON, rasio material penutup yang harus dipindahkan terhadap tonase bijih yang dihasilkan.

Analisis Emisi Gas Rumah Kaca dari Kegiatan Penambangan

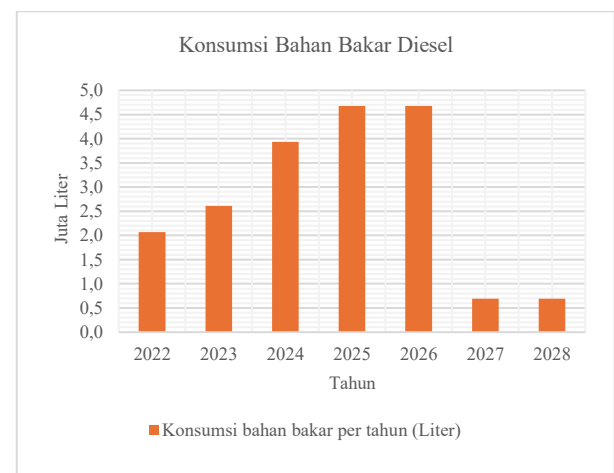
Perhitungan emisi GRK perlu menjadi bagian penting dari rencana penutupan tambang. Perhitungan yang akurat terkait total emisi selama fase operasi tambang dan proyeksi untuk fase pasca tambang akan memastikan bahwa kegiatan tambang PT X sesuai dengan standar keberlanjutan yang diinginkan.

Tabel 3. Perencanaan Penggunaan alat berat pada PT X

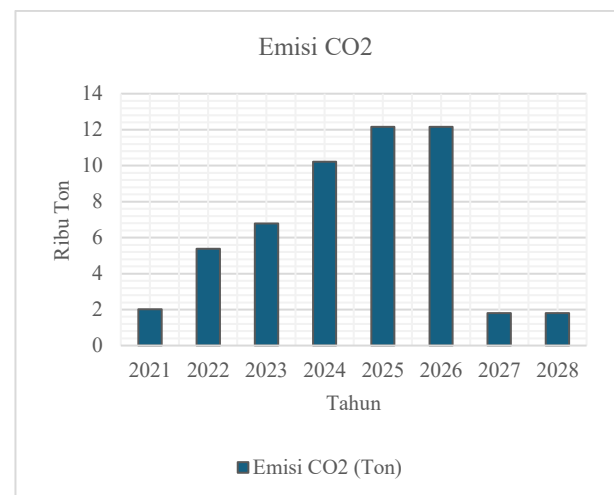
No	Peralatan	Konsumsi bahan bakar Liter/Jam	Tahun							
			2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
1	Excavator 30 Ton	20	4	4	9	13	13			
2	Excavator 20 Ton	20	3	3	5	4	4	2	2	
3	Excavator 20 Ton LA	20	1	1	2	2	2	1	1	
4	Dozer	22	0	2	2	2	2	1	1	
5	Motor grader	20	1	1	1	2	2	1	1	
6	Compact	12	1	1	1	2	2	1	1	
7	Water Truck	15	2	2	2	3	3	1	1	
8	Wheel Loader	25	2	2	2	3	3			
9	Tower Lamp	2	2	2	2	4	4	1	1	
10	Washing Plant	15	2	2	2	2	2			
11	Dump Truck Ore Getting	22.5	8	10	20	33	33	3	3	
12	Dump Truck Hauling	22.5	12	15	18	20	20			
13	Power Supply	10	3	3	3	3	3	1	1	

Tabel 3 menggambarkan jumlah penggunaan alat berat dengan konsumsi bahan bakar fosil dalam satuan liter per jam yang digunakan dalam kegiatan penambangan dan reklamasi dari tahun 2022 hingga 2028. Setiap peralatan memiliki tingkat konsumsi bahan bakar yang berbeda-beda. Konsumsi bahan bakar ini berkaitan langsung dengan emisi CO₂, karena pembakaran bahan bakar fosil, seperti solar yang digunakan dalam alat berat, menghasilkan GRK.

Kegiatan penambangan di PT X dilakukan dengan sistem 2 shift per hari, dengan total jam kerja efektif (EWH) dalam sehari mencapai 18 jam. Dengan asumsi operasi berjalan selama 365 hari dalam setahun, total EWH per tahun dihitung sebesar 6.480 jam. Gambar 3 menunjukkan penggunaan bahan bakar solar yang digunakan PT X dalam aktivitas dan perencanaan kegiatan pertambangan selama delapan tahun. Perhitungan emisi CO₂ dalam kegiatan penambangan ini mengikuti rumus (1), yang mengalikan jumlah konsumsi bahan bakar dengan faktor emisi yang relevan. Faktor emisi yang digunakan dalam perhitungan ini adalah 2,68 kgCO₂/liter [6] yang merupakan nilai faktor emisi untuk bahan bakar diesel yang digunakan dalam mesin dan alat berat tambang di PT X.



Gambar 3. Konsumsi Bahan per tahun



Gambar 4. Emisi CO₂ Hasil Pembakaran Alat Berat

Grafik emisi CO₂ (Gambar 4) menunjukkan pola yang jelas terkait siklus operasional tambang, dengan emisi

yang meningkat tajam dari tahun 2021 hingga mencapai puncaknya pada tahun 2025-2026 di sekitar 12.000 ton. Peningkatan ini mencerminkan intensifikasi kegiatan tambang, seperti penggalian, pengangkutan, pemrosesan, dan hasil bukaan lahan. Setelah tahun 2026, emisi CO₂ mengalami penurunan drastis, menunjukkan transisi tambang dari fase produksi ke fase penutupan atau reklamasi. Pada fase reklamasi, emisi CO₂ berada pada level yang sangat rendah, mendekati nol, seiring berkurangnya kebutuhan bahan bakar karena fokus kegiatan bergeser ke pemulihan lahan dan penanaman kembali. Pola ini mencerminkan siklus alami operasional tambang, di mana emisi tinggi pada tahap produksi diimbangi dengan penurunan drastis saat tambang memasuki fase akhir yang lebih berkelanjutan secara lingkungan [9].

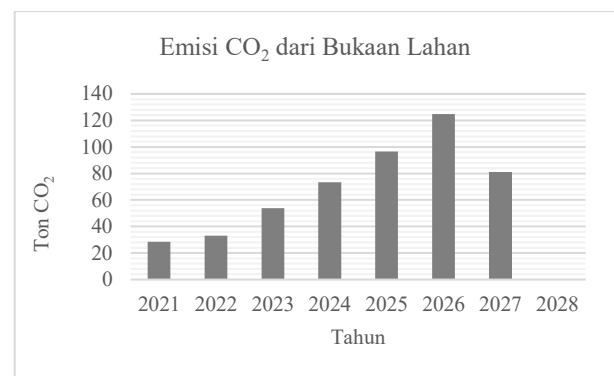
Jumlah emisi GRK dari aktivitas perubahan lahan di PT X selama periode 8 tahun (2022-2028) bervariasi setiap tahunnya, dengan total luas lahan yang dibuka selama 8 tahun mencapai 320,81 hektar. Tahun dengan luas bukaan terbesar adalah 2026, mencapai 96,34 hektar, sementara bukaan terkecil terjadi pada tahun 2022 dengan hanya 8,46 hektar (Tabel 1). Reklamasi lahan mulai dilakukan pada tahun 2024, sejalan dengan bukaan lahan yang terjadi di tahun tersebut, dengan tujuan mengembalikan lahan yang telah dibuka untuk meminimalisir dampak lingkungan.

Tabel 4. Bukaan Lahan dan Emisi Lahan Terbuka Tahun 2021 - 2028

No	Tahun	Luas Bukaan Tanah (Ha)	Rencana Reklamasi (Ha)	Lahan Terbuka (Ha)	Emisi Lahan Terbuka (TonCO ₂)	Luas Vegetasi (Ha)
1	2021	52.38	-	52.38	28.46	1463.62
2	2022	8.46	-	60.84	33.06	1455.16
3	2023	38.25	-	99.09	53.85	1416.91
4	2024	44.45	8.46	135.08	73.41	1380.92
5	2025	80.93	38.25	177.76	96.61	1338.24
6	2026	96.34	44.45	229.65	124.81	1286.35
7	2027	-	80.93	148.72	80.82	1367.28
8	2028	-	148.72	-	-	1516
Total 8 Tahun		320.81	320.81	320.81	491.06	1516

Kegiatan penambangan yang mengakibatkan lahan terbuka dapat menghasilkan emisi CO₂ meskipun nilainya kecil karena proses oksidasi yang terjadi saat tanah yang sebelumnya tertutup vegetasi terbuka. Emisi lahan

terbuka dihitung dalam ton per hektar berdasarkan Abdalla (2016) dengan nilai 0,5435 ton yang berdasarkan bekas perkebunan karet dan sawit. Berdasarkan bukaan lahan PT X (Tabel 4), emisi tertinggi terjadi pada tahun 2026 dengan 124,81 ton, dan yang terendah pada tahun 2021 sebesar 28,46 ton. Secara total, emisi lahan terbuka selama 8 tahun mencapai 491,06 ton. Data tersebut menunjukkan bahwa semakin luas lahan yang dibuka, semakin besar pula emisi GRK yang dihasilkan (Tabel 4), sehingga reklamasi yang tepat waktu dan efisien menjadi sangat penting untuk mengurangi dampak negatif dari aktivitas pembukaan lahan tersebut.



Gambar 5. Emisi CO₂ dari Bukaan Lahan

Analisis Stok Karbon di Lahan Pasca Tambang

Perencanaan bukaan lahan di PT X selama periode 2021-2026 menunjukkan bagaimana pengaruhnya terhadap stok karbon di lahan yang telah selesai ditambang. Jumlah stok karbon dihitung dengan persamaan Total Karbon yang dihitung dari perubahan lahan dari tahun ke tahun, dimulai dari 52,38 hektar pada tahun 2021, hingga puncaknya pada tahun 2026 dengan bukaan sebesar 96,34 hektar. Selama periode penambangan, total bukaan lahan mencapai 320,81 hektar (Tabel 5).

Tabel 5. Perencanaan bukaan lahan tahun 2021-2028

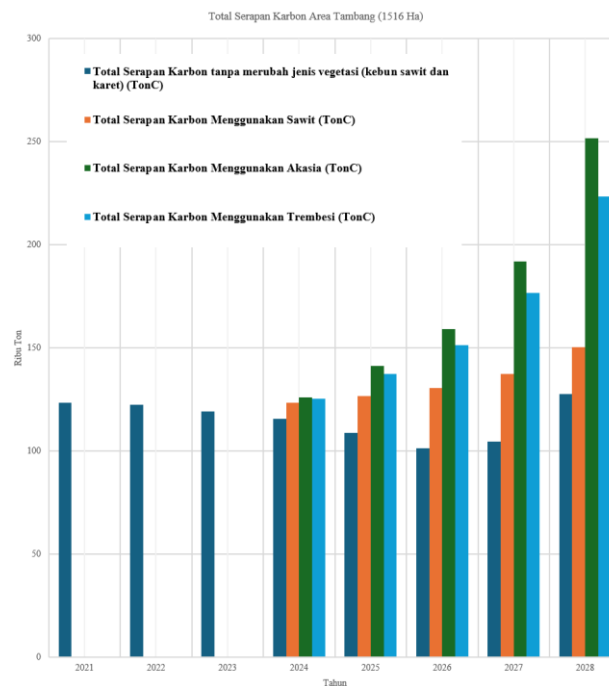
	Tahun	Area Penambangan (Ha)	Rencana Reklamasi (Ha)	Luasan area Optimisasi (Ha)
Total Awal		320.81	320.81	1516
Pembangunan dan Infrastruktur	2021	52.38	-	1463.62
	2022	8.46	-	1455.16
Penambangan	2023	38.25	-	1416.91
	2024	44.45	8.46	1380.92
	2025	80.93	38.25	1338.24
	2026	96.34	44.45	1286.35
Reklamasi	2027	-	80.93	1367.28
	2028	-	148.72	1516
Total Akhir		320.81	320.81	1516

Tabel 6. Nilai serapan karbon dari setiap jenis tumbuhan

Jenis Tanaman	Luasan di lapangan (Ha)	Jarak tanam (m)	Jumlah Pohon / Ha	Serapan CO ₂ (Ton/Ha)	Referensi
Karet	627	7 x 3	476	81	Munasinghe et al., 2011
Sawit	889	8 x 8	145	86.5	June et al., 2020
Akasia	-	3.5 x 3.5	833	402.46	Vieve Sanjaya Geruntung Nyahu, 2016
Trembesi	-	12 x 12	29	314.28	Fajariani et al., 2020

Berdasarkan Tabel 6, setiap jenis tanaman di area tambang memiliki nilai serapan karbon yang berbeda. Akasia memiliki nilai serapan CO₂ tertinggi, yakni 402,46 ton per hektar, karena karakteristiknya yang tumbuh cepat dan menghasilkan biomassa yang tinggi, menjadikannya tanaman ideal untuk reklamasi tambang. Tanaman sawit, dengan jarak tanam 8 x 8 meter dan populasi 145 pohon per hektar, menyerap karbon sebesar 86,5 ton per hektar, lebih rendah dibandingkan Akasia dan Trembesi. Karet memiliki serapan karbon sebesar 81 ton per hektar dengan jarak tanam 7 x 3 meter dan jumlah pohon 476 per hektar. Meskipun jumlah pohon per hektar cukup tinggi, kapasitas serapan karbon per pohon karet lebih rendah. Trembesi, meski memiliki jumlah pohon paling sedikit per hektar (29 pohon dengan jarak tanam 12 x 12 meter), mampu menyerap CO₂ sebesar 314,28 ton per hektar berkat ukuran dan volume pohon yang besar.

Grafik berikut ini menunjukkan total serapan karbon dari berbagai jenis tanaman reklamasi di area tambang 1.516 hektar untuk periode 2021–2028 (Gambar 6). Serapan karbon dengan mempertahankan vegetasi awal (karet dan sawit) sebesar 127 ribu tonC stabil dan sedikit menurun. Penggunaan sawit menghasilkan 150 ribu tonC, dengan peningkatan yang lebih lambat. Akasia menunjukkan peningkatan signifikan, mencapai 250 ribu tonC pada 2028 karena pertumbuhannya yang cepat. Trembesi juga menunjukkan peningkatan yang signifikan, mencapai 223 ribu tonC. Secara keseluruhan, Akasia dan Trembesi menghasilkan serapan karbon tertinggi, lebih efektif dalam mendukung tujuan reklamasi untuk meningkatkan stok karbon dan mengurangi emisi karbon.



Gambar 6. Total Serapan Karbon

Pengaruh Rencana Reklamasi Terhadap Penurunan GRK dan Ekonomi Masyarakat

PT X akan melakukan rencana reklamasi dan pasca tambang dengan program reklamasi bentuk lain yaitu lahan bekas tambang ditanami dengan tanaman perkebunan dan dijadikan lahan perkebunan. Tanaman yang akan ditanam oleh PT X sebagai tanaman reklamasi adalah tanaman sawit. Pemilihan tanaman revegetasi yang direncanakan oleh PT X didasarkan dari perjanjian sewa pakai lahan dan permintaan masyarakat serta peruntukan lahan sebelum dilakukan penambangan.

Pemilihan tanaman akasia dan trembesi sebagai tanaman pembanding dalam serapan karbon didasarkan pada kemampuan serapan karbon dari dua (2) tanaman tersebut yaitu trembesi merupakan tanaman yang memiliki kemampuan daya serap CO₂ yang paling tinggi yakni sebesar 28 kg/pohon/tahun sedangkan Akasia (*Cassia sp*) menduduki peringkat kedua dalam tanaman yang memiliki daya serap CO₂ tertinggi setelah trembesi yakni sebesar 5 kg/pohon/tahun [14]. Nilai penyerapan CO₂ (KCO₂) pada pohon trembesi lebih besar daripada nilai KCO₂ pada pohon akasia.

Seperti yang didapatkan dari hasil perhitungan serapan karbon dengan luasan total lahan reklamasi dan pasca tambang seluas 320,81 Ha didapatkan bahwa penggunaan tanaman sawit mempunyai potensi menyerap karbon sebesar 150 ribu tonC. Penggunaan tanaman Akasia mempunyai potensi serapan karbon sekitar 250 ribu tonC di akhir periode, sedangkan penggunaan tanaman

Trembesi mempunyai potensi serapan karbon sebesar 223 ribu tonC pada akhir periode.

Perhitungan manfaat dari tanaman sawit pada penelitian ini memperhitungkan umur 10 tahun dihitung dari tahun pertama pasca tambang didasarkan kepada produktivitas tanaman sawit meningkat dengan cepat dan mencapai maksimum pada umur tanaman 8-12 tahun [15] meskipun tanaman sawit dapat tumbuh sampai 35 tahun [16]. Sedangkan perhitungan manfaat dari tanaman akasia sebatas satu (1) kali penebangan yaitu umur rotasi yang optimal untuk produksi kayu pulp adalah sekitar 7 hingga 8 tahun [17].

Dalam perencanaan reklamasi untuk penurunan GRK dan pengaruhnya terhadap ekonomi masyarakat, digunakannya *Cost Benefit Analysis* (CBA) yang bertujuan untuk menilai efektivitas strategi reklamasi dengan mempertimbangkan biaya dan manfaat yang terkait. Perhitungan CBA mengacu pada dokumen Rencana Reklamasi dan Rencana Pascatambang PT X, dimana komponen biaya yang akan digunakan untuk kegiatan reklamasi dan pasca tambang sesuai Kepmen ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/Tahun 2018 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik Pada Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara.

Tabel 7. Komponen Biaya Reklamasi PT X

Komponen Reklamasi	Satuan	Sawit (Rp)	Akasia (Rp)	Trembesi (Rp)
a. Biaya Langsung				
1. Biaya Penatagunaan Lahan		8.753.501	8.753.501	8.753.501
2. Biaya Penebaran Tanah Pucuk		10.256.097	10.256.097	10.256.097
3. Biaya Pembuatan Drainase		50.000	50.000	50.000
4. Biaya Revegetasi		10.225.600	11.012.000	6.099.000
5. Biaya Pemeliharaan		2.667.000	4.995.000	3.088.500
6. Biaya Pengelolaan AAT		300.000	300.000	300.000
Total Biaya Langsung		32.252.198	35.366.598	28.547.098
Total Biaya Langsung x Total Luasan Lahan	321	10.346.827.640	11.345.958.304	9.158.194.509
b. Biaya Tidak Langsung				
1. Mobilisasi dan Demobilisasi alat	2,5%	258.670.691	283.648.958	228.954.863
2. Perencanaan Pascatambang	6,8 %	703.584.280	771.525.165	622.757.227
3. Administrasi dan keuntungan pihak ketiga sebagai pelaksana Pascatambang	10%	1.034.682.764	1.134.595.830	915.819.451
4. Supervisi	5%	517.341.382	567.297.915	457.909.725
Total Biaya Tidak Langsung		2.514.279.117	2.757.067.868	2.225.441.266
Grand Total		12.861.106.757	14.103.026.172	11.383.635.775

Tabel 8. Manfaat Reklamasi PT X

Total Benefit	Sawit	Akasia	Trembesi
Serapan CO2 (ton/hektar)	86,50	402,46	314,28
Luas Wilayah Reklamasi	320,81	320,81	320,81
Total Serapan Karbon	27.767	129.190	100.884
Harga Karbon (Rp)	58.800	58.800	58.800
Asumsi hasil perkebunan /ha	30 ton/tahun	151,56 ton	-
Asumsi harga/ton	2.601.000	147.736	-
Penjualan Karbon	2.729.319.600	7.591.844.400	5.928.451.200
Penjualan Hasil Perkebunan	57.388.958.190	6.842.860.669	-
Total (Rp)	60.118.277.790,00	14.434.705.069,21	9.662.557.552

Perhitungan manfaat pada rencana reklamasi dan pascatambang PT X dilakukan pada 2 bidang yaitu penjualan karbon dan penjualan hasil perkebunan. Penjualan karbon adalah besaran karbon yang akan diserap oleh tumbuhan yang ditanam dan akan diperdagangkan di bursa. Penjualan hasil perkebunan adalah penjualan hasil kayu dan buah dari tanaman reklamasi yang ditanam.

Total biaya reklamasi PT X adalah Rp 12.861.106.757 yang akan ditanami tanaman sawit. Dalam penelitian ini penulis menganalisis jika lahan pascatambang PT X ditanami akasia dan/atau trembesi maka estimasi biaya reklamasi yang akan dikeluarkan sebesar Rp 11.383.635.775 untuk tanaman akasia dan Rp 14.103.026.172 untuk tanaman trembesi. Total biaya reklamasi dengan akasia memiliki total biaya paling tinggi dikarenakan besaran biaya penanaman termasuk pembelian bibit dan pemeliharaan. Dalam 1 ha lahan membutuhkan jumlah bibit akasia $\pm$ 899 batang (termasuk bibit untuk penyulaman). Kebutuhan bibit akasia lebih tinggi daripada bibit tanaman sawit dan trembesi

Nilai biaya reklamasi dan nilai manfaat yang didapat setelah reklamasi di eskalasi sebesar 5% pertahun selama 10 tahun mengikuti masa waktu benefit didapatkan. Nilai ini merupakan nilai yang dipersyaratkan oleh peraturan pemerintah dan dikeluarkan sekali pada masa reklamasi dan pascatambang.

Tabel 9. CBA PT X

	Sawit (Rp)	Akasia (Rp)	Trembesi (Rp)
TC			
Biaya reklamasi	12,86 m	14,1 m	11,38 m
Biaya Pemeliharaan oleh Masyarakat	1,37 m	2,63 m	0,32 m
Jumlah	14,23 m	16,74 m	11,71 m
TB	60,11 m	14,43 m	5,92 m
NPV	33,22 m	(3,69 m)	(7,32m)
IRR	28,79% > SDR	- 4,64% < SDR	- 12,09 < SDR
BCR (TC/TB)	3,22	0,74	0,33

Keterangan:

- m: milyar

Hasil perhitungan pada Tabel 9 didapatkan BCR paling tinggi dihasilkan oleh sawit dimana $BCR > 3,22$ yang dapat diartikan bahwa secara ekonomi tanaman sawit layak dipertimbangkan sebagai tanaman reklamasi dikarenakan selain dapat menyerap karbon, juga dapat memberikan keberlanjutan manfaat ekonomi. BCR untuk akasia adalah $BCR < 0,74$ yang secara perhitungan layak dijadikan tanaman alternatif reklamasi namun kurang ekonomis karena terdapat penebangan dengan umur rotasi yang optimal untuk produksi kayu pulp adalah sekitar 7–

8 tahun [18]. Untuk trembesi $BCR < 1$ dikarenakan trembesi hanya mempunyai manfaat stok karbon dan bukan merupakan tanaman perkebunan. Secara serapan karbon, serapan karbon tanaman Akasia per hektar masih lebih tinggi daripada serapan tanaman trembesi dan serapan tanaman sawit, tetapi secara manfaat keberlanjutan ekonomi tanaman sawit lebih bisa diunggulkan daripada tanaman akasia.

Rencana reklamasi dengan penanaman tanaman sawit memberikan dampak yang signifikan terhadap ekonomi masyarakat sekitar area tambang [19]. Tanaman sawit, sebagai komoditas unggulan, menawarkan potensi ekonomi yang besar, baik dalam bentuk hasil minyak sawit maupun lapangan pekerjaan baru bagi masyarakat lokal. Sebagai bagian dari kegiatan pascatambang, reklamasi dengan sawit dapat mengubah lahan bekas tambang menjadi kawasan produktif, memberikan kesempatan kepada masyarakat untuk terlibat dalam pengelolaan dan pemanfaatan hasil tanaman [20]. Penanaman lahan bekas tambang dengan sawit menawarkan "*dual benefit*," yakni kontribusi terhadap ekonomi sekaligus penyerapan karbon, meskipun tidak setinggi tanaman khusus penghijauan seperti akasia dan trembesi.

Berdasarkan wawancara di lapangan terkait apakah pemilik lahan setuju jika tanaman sawit diberikan tanaman sisipan, sebagian besar responden (76,9%) menyatakan setuju jika lahan reklamasi yang telah ditanami sawit diberikan tanaman sisipan. Dari sudut pandang *cost-benefit*, biaya reklamasi dengan penanaman sawit, akasia dan trembesi memiliki biaya penanaman yang hampir sama tetapi memiliki nilai ekonomi yang berbeda. Sawit dapat menghasilkan pendapatan tetap dalam jangka panjang, sedangkan tanaman seperti akasia dan trembesi memiliki kontribusi besar pada fungsi ekologis, tetapi dampak ekonominya tidak sebanding dengan sawit. Sehingga kombinasi sawit sebagai tanaman utama dan tanaman sisipan seperti akasia dan trembesi menciptakan keseimbangan antara manfaat ekonomi dan ekologi.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa emisi CO₂ tertinggi dihasilkan dari kegiatan *ore getting* dan *hauling*, dengan total emisi sekitar 12.000 ton CO₂, sementara aktivitas pembukaan lahan hanya menghasilkan 49,1 ton CO₂. Reklamasi menggunakan tanaman sawit memiliki potensi serapan karbon paling rendah dibandingkan dengan akasia dan trembesi. Namun, penanaman sawit menawarkan keberlanjutan ekonomi yang lebih baik, dengan potensi peningkatan pendapatan masyarakat yang lebih signifikan. Untuk memenuhi komitmen penurunan emisi GRK, disarankan untuk menggunakan strategi penanaman tanaman sisipan seperti akasia dan trembesi di antara perkebunan sawit, yang tidak hanya akan

meningkatkan kapasitas serapan karbon tetapi juga mempertahankan kesepakatan dengan masyarakat mengenai penanaman sawit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Krzemień, A., Suárez Sánchez, A., Riesgo Fernández, P., Zimmermann, K., & González Coto, F. (2016). Towards sustainability in underground coal mine closure contexts: A methodology proposal for environmental risk management. *Journal of Cleaner Production*, 139, 1044–1056.
- [2] Li, M., Wang, Y., Chen, W., Sun, Y., Hou, H., & Liu, Y. (2024). Assessing GHG emissions of food consumption towards low-carbon transformation in China. *Environmental Impact Assessment Review*, 105(December 2023), 107408.
- [3] Jones, S. (2024). *The Impact of the Bauxite Boom on People and Planet*. Mighty Earth.
- [4] Shrestha, R. K., & Lal, R. (2008). Land Use Impacts on Physical Properties of 28 Years Old Reclaimed Mine Soils in Ohio. *Plant and Soil*, 306(1–2), 249–260.
- [5] Humphrey, d. h. (1974). Innovation Theory and Patterns Of Rural Development. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 36(3), 203–213.
- [6] Jim Penman, M. G., T. H., W. I. and T. K. (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>.
- [7] Abdalla, K., Chivenge, P., Ciais, P., & Chaplot, V. (2016). No-tillage lessens soil CO₂ emissions the most under arid and sandy soil conditions: Results from a meta-analysis. *Biogeosciences*, 13(12), 3619–3633.
- [8] June, T., Kii, M. I., & Santikayasa, I. P. (2020). Dynamics Modeling of CO₂ in Oil Palm. *Agromet*, 34(1), 42–54.
- [9] Moreau, K., Laamanen, C. A., Bose, R., Shang, H., & Scott, J. A. (2020). Life cycle assessment to demonstrate how automation improves the environmental performance of an underground mining operation. *Journal of Sustainable Mining*, 19(3), 182–194.
- [10] Fajariani, W., Hendra, M., & Susanto, D. (2020). Estimation of above Ground Carbon Sequestration in Trembesi (*Albizia saman*) and Johar (*Senna siamea*) at PT Multi Harapan Utama, East Kalimantan. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*, 5(2), 115–123.
- [11] Adler, M. D., Posner, E. A., Becker, G., Frank, R., Hahn, W., & Kip, V. (2000). Introduction In *Journal of Legal Studies: Vol. XXIX*.
- [12] Maria Tilea, D. (1996). *The Cost-Benefit Analysis in the Management of it Projects*.
- [13] Hamidun, M. S., Baderan, D. W. K., & Malle, M. (2021). Efektivitas Penyerapan Kebisingan oleh Jenis Pohon Pelindung Jalan di Provinsi Gorontalo. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(3), 661–669.
- [14] Dahlan, E. (2008). Jumlah Emisi Gas Co₂ Dan Pemilihan Jenis Tanaman Berdaya Rosot Sangat Tinggi: Studi Kasus Di Kota Bogor. *Media Konservasi*, 13(2), 85–89.
- [15] Munasinghe, E. S., Rodrigo, V. H. L., & Karunathilake, P. K. W. (2011). Carbon sequestration in mature rubber (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) plantations with genotypic comparison. In *Journal of the Rubber Research Institute of Sri Lanka* (Vol. 91).
- [16] Krisnawati, H., Kallio, M., & Kanninen, M. (2011). *Acacia mangium Willd. Ekologi, Silvikultur dan Produktivitas*.
- [17] Karuru, S. S., Rasyid, B., & Millang, S. (2021). Carbon stock estimation on some land cover: Secondary forest, agroforestry, palm oil plantation and paddy fields. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 637(1).
- [18] Elfis, E., Titisari, P. W., Ferazona, S., & Farradinna, S. (2023). Pengkayaan Kebun Sawit Rakyat Melalui Penerapan Agroforestri Tumbuhan Lokal pada Lahan Gambut di Kabupaten Siak, Riau. *Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*, 8(3), 674–682.
- [19] Meyer III, W. M. (2017). Re-envisioning Sustainable Oil-Palm in SE Asia. In *EnviroLab Asia*. 1(3).
- [20] Purwanto, R. H., Rohman, & Maryudi, A. (2012). Potensi Biomasa dan Simpanan Karbon Jenis-jenis Tanaman Berkayu di Hutan Rakyat Desa Nglanggeran, Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Ilmu Kehutanan, Faculty of Forestry, Universitas Gadjah Mada*.