

Biodiversity's Impact on Greenhouse Gas Emission Reduction in the Paper Industry

Pengaruh Keanekaragaman Hayati terhadap Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca di Lingkungan Industri Kertas

Niken Kartika Nahdya Rokhimanillah, RM. Alghaf Dienullah, Sekarsari Wibowo, Abdillah Akmal Karami

**Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Pembangunan Negeri "Veteran" Jawa Timur
Jl. Rungkut Madya, Gn. Anyar, Kec. Gn. Anyar, Surabaya, Jawa Timur 60294**

Email: nikenknr@gmail.com

Abstract – Increasing greenhouse gas (GHG) emissions from industrial activities have become a serious environmental concern, making carbon sequestration through vegetation an important mitigation strategy, particularly in industrial areas where green open spaces serve as natural carbon sinks. This applied study analyzed the influence of biodiversity on GHG emission reduction through vegetation carbon stock estimation across four strata, namely trees, poles, saplings, and undergrowth, in the Mill area (estimated 10 Ha) and Conservation area (3.52 Ha), using an allometric approach from literature converted into tCO_2e , with statistical analysis conducted using the Spearman correlation test and Kruskal-Wallis test due to non-normal data distribution and small sample size. The highest carbon sequestration was recorded in the tree strata at $147.996 tCO_2e$ (90.7% of total), while the lowest was recorded in the undergrowth strata at $2.190 tCO_2e$ in the Mill area, with total sequestration of $163.032 tCO_2e$ in the Mill area and $20,233 tCO_2e$ in the Conservation area. The results of this applied study concluded that vegetation effectiveness in reducing GHG emissions is more determined by biomass accumulation rather than species diversity, as evidenced by the dominance of a single species (trembesi) contributing significantly to carbon stocks. Greening strategies should prioritize planting high-biomass vegetation such as trembesi (*Samanea saman*), mahogany (*Swietenia mahagoni*), and acacia (*Acacia mangium*), and be integrated with other emission reduction efforts such as energy efficiency and carbon capture technology.

Keywords: Biodiversity, Greenhouse Gas Emissions, Carbon Sequestration, Vegetation

Abstrak – Peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) akibat aktivitas industri menjadi permasalahan lingkungan yang serius, sehingga penyerapan karbon melalui vegetasi menjadi salah satu strategi mitigasi yang penting, khususnya di kawasan industri yang memiliki ruang terbuka hijau sebagai penyerap karbon alami. Kajian ini menganalisis pengaruh keanekaragaman hayati terhadap penurunan emisi GRK melalui estimasi cadangan karbon vegetasi pada empat strata yaitu pohon, tiang, pancang, dan tumbuhan bawah di area Mill (estimasi 10 Ha) dan area Konservasi (3,52 Ha), menggunakan pendekatan alometrik dari literatur yang dikonversi menjadi tCO_2e , dengan analisis statistik menggunakan uji korelasi Spearman dan uji Kruskal-Wallis, karena data tidak berdistribusi normal dan jumlah sampel tergolong kecil. Serapan karbon tertinggi tercatat pada strata pohon sebesar $147.996 tCO_2e$ (90.7% dari total), sedangkan terendah pada strata tumbuhan bawah sebesar $2.190 tCO_2e$ di area Mill, dengan total serapan karbon sebesar $163.032 tCO_2e$ di area Mill dan $20,233 tCO_2e$ di area Konservasi. Hasil kajian menyimpulkan bahwa efektivitas vegetasi dalam menurunkan emisi GRK lebih ditentukan oleh akumulasi biomassa dibandingkan keanekaragaman jenisnya, sebagaimana tercermin dari dominasi satu jenis vegetasi (trembesi) yang berkontribusi besar terhadap cadangan karbon. Strategi penghijauan sebaiknya diprioritaskan pada penanaman vegetasi berbiomassa tinggi seperti trembesi (*Samanea saman*), mahoni (*Swietenia mahagoni*), dan akasia (*Acacia mangium*), serta diintegrasikan dengan upaya penurunan emisi lainnya seperti efisiensi energi dan teknologi *carbon capture*.

Kata Kunci: Keanekaragaman Hayati, Emisi, Gas Rumah Kaca, Penyerapan Karbon, Vegetasi

1. PENDAHULUAN

Perusahaan industri manufaktur dengan aktivitas produksi yang besar, memiliki komitmen dalam pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan, salah satunya melalui upaya pengurangan emisi gas rumah kaca. Kawasan industri ini ada yang berbatasan langsung dengan

permukiman warga dan fasilitas kesehatan di sekitarnya, sehingga dampak emisi GRK dari aktivitas produksi berpotensi mempengaruhi kualitas udara dan kesehatan masyarakat lingkungan sekitarnya. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah pemanfaatan keanekaragaman hayati di sekitar kawasan

industri sebagai penyerap karbon alami (*carbon sink*), yang mampu menyerap karbon dioksida (CO_2) yang dilepaskan dari kegiatan pabrik ke atmosfer melalui proses fotosintesis [1][2]. Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang menyatakan bahwa wilayah perkotaan wajib memiliki RTH (Ruang Terbuka Hijau) minimal 30% dari luas wilayah, terdiri dari RTH publik minimal 20% dan RTH privat minimal 10% [3]. Kawasan industri diwajibkan memiliki RTH minimal 10% sesuai Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 40/M-IND/PER/6/2016 [4].

Vegetasi dalam RTH berfungsi menghasilkan oksigen (O_2) dan menyerap CO_2 melalui proses fotosintesis [5]. Namun, setiap jenis tanaman memiliki kemampuan yang berbeda dalam menjalankan fungsi ekologisnya, termasuk dalam menyerap karbon [6]. Dalam konteks kawasan industri, kajian mengenai keanekaragaman hayati menjadi penting untuk mengetahui efektivitasnya dalam mendukung penurunan emisi gas rumah kaca [7]. Proses identifikasi dan pengelompokan tanaman dilakukan melalui inventarisasi kategori tanaman, yang dapat digunakan sebagai dasar dalam estimasi cadangan karbon [8]. Cadangan karbon merujuk pada jumlah karbon yang tersimpan dalam biomassa vegetasi, sedangkan serapan karbon merujuk pada kemampuan vegetasi dalam menyerap CO_2 dari atmosfer melalui proses fotosintesis yang kemudian dikonversi ke dalam satuan tCO_2e . Semakin besar cadangan karbon pada vegetasi, semakin banyak pula CO_2 yang dapat diserap dan disimpan, sehingga konsentrasi emisi gas rumah kaca di atmosfer semakin berkurang.

Sebelumnya, sebagian besar kajian lebih banyak dilakukan di kawasan perkotaan atau ruang terbuka hijau umum dengan pendekatan pengukuran langsung, dan kajian di kawasan industri masih terbatas [9]. Oleh karena itu, kajian terapan ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh keanekaragaman hayati terhadap penurunan emisi gas rumah kaca melalui estimasi cadangan karbon vegetasi di lingkungan perusahaan, dengan pendekatan inventarisasi tanaman dan data literatur. Hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan gambaran kontribusi vegetasi dalam mendukung pengelolaan lingkungan dan penurunan emisi gas rumah kaca di kawasan industri.

2. METODE PELAKSANAAN

Kajian terapan ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis dan estimasi berbasis data sekunder. Data yang

digunakan meliputi jenis dan jumlah tanaman hasil inventarisasi di kawasan pabrik (mill) serta nilai cadangan karbon per jenis tanaman berdasarkan biomasanya yang diperoleh dari literatur terdahulu [10][11]. Pelaksanaan kajian pada area Mill seluas 250 Ha, dengan RTH sebesar 20% atau sekitar 50 Ha dari total luas area. Dari luasan tersebut, area taman diestimasi seluas 10 Ha dan digunakan sebagai area *plotting* pada kajian ini, sedangkan pada area konservasi dilakukan pada luas area 3,52 Ha dari total 7 Ha area konservasi. Perhitungan total cadangan karbon dilakukan dengan mengalikan jumlah individu tanaman dengan nilai cadangan karbon per jenis, kemudian dikonversi menjadi serapan karbon dioksida (CO_2) menggunakan faktor konversi sebesar 3,67 [12]. Hasil perhitungan dinyatakan dalam satuan ton CO_2 ekuivalen (tCO_2e).

Dilakukan analisis statistik untuk mengetahui hubungan dan perbedaan cadangan karbon antar kategori tanaman. Kategori strata tersebut diklasifikasikan berdasarkan ukuran diameter batang, yaitu pohon (diameter ≥ 20 cm), tiang (diameter 10–19 cm), pancang (diameter 2–9 cm), dan tumbuhan bawah (semak, herba, dan serasah dengan diameter < 2 cm). Analisis statistik dilakukan menggunakan *software* Minitab dengan tingkat signifikansi sebesar 5% ($\alpha = 0,05$). Variabel bebas dalam kajian ini adalah jumlah individu tanaman, sedangkan variabel terikat adalah cadangan karbon dalam satuan tCO_2e . Perhitungan cadangan karbon dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_{total} = \sum(N_i \times C_i) \quad 1)$$

di mana C_{total} merupakan total cadangan karbon (kg atau ton), N_i adalah jumlah tanaman jenis ke- i , dan C_i adalah nilai cadangan karbon per tanaman jenis ke- i yang diperoleh dari literatur [6][12]. Selanjutnya, nilai cadangan karbon dikonversi menjadi serapan karbon dioksida (CO_2) menggunakan faktor konversi sebesar 3,67 sesuai dengan pedoman IPCC [1], dengan persamaan:

$$\text{CO}_2 = C_{total} \times 3.67 \quad 2)$$

Hasil perhitungan kemudian dianalisis untuk mengetahui kontribusi setiap kategori tanaman dalam menyerap emisi gas rumah kaca di kawasan industri. Selain itu, dilakukan pengelompokan berdasarkan kategori tanaman (pancang, tiang, pohon, tumbuhan bawah) untuk mengidentifikasi tanaman yang memiliki potensi

serapan karbon paling besar. Metode ini diharapkan dapat memberikan gambaran awal yang representatif mengenai potensi serapan karbon vegetasi di kawasan industri.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Estimasi Cadangan Karbon Vegetasi

Keanekaragaman hayati dalam kajian ini dianalisis berdasarkan kategori tanaman setiap strata, yaitu pohon, tiang, pancang, dan tumbuhan bawah. Setiap strata mencakup berbagai spesies tanaman yang dihitung jumlah individunya (Ni) sebagai dasar estimasi cadangan karbon, sehingga analisis statistik dilakukan untuk mengetahui hubungan dan perbedaan cadangan karbon antar kategori strata tersebut. Nilai serapan karbon dalam satuan kilogram CO₂ yang telah didapat kemudian dikonversi menjadi ton CO₂ ekuivalen (tCO₂e) dengan membagi 1000, karena 1 ton setara dengan 1000 kilogram.

Area Mill memiliki vegetasi yang terdiri dari empat kategori strata tanaman. Strata pohon tercatat sebanyak 16 spesies dengan total 560.000 individu, didominasi oleh mangga (*Mangifera indica*) sebanyak 230.000 individu dan ketapang kencana (*Terminalia mantaly*) sebanyak 35.000 individu. Strata tiang terdiri dari 6 spesies dengan 310.000 individu, didominasi oleh tabebuya (*Handroanthus chrysotrichus*) sebanyak 80.000 individu. Strata pancang tercatat 7 spesies dengan 13.580.000 individu, dengan pucuk merah (*Syzygium myrtifolium*) sebagai spesies paling dominan sejumlah 11.000.000 individu, sedangkan strata tumbuhan bawah memiliki keanekaragaman tertinggi dengan 17 spesies dan 18.650.000 individu. Area Konservasi memiliki strata pohon sebanyak 5 spesies dengan total 29.920 individu, didominasi oleh trembesi (*Samanea saman*) sebanyak 10.560 individu. Strata tiang terdiri dari 2 spesies dengan 10.560 individu, strata pancang terdiri dari 2 spesies dengan 42.240 individu, sedangkan strata tumbuhan bawah memiliki keanekaragaman tertinggi dengan 18 spesies dan 3.520.000 individu.

Berdasarkan hasil perhitungan, total serapan karbon vegetasi di lingkungan perusahaan sebesar 163.032 tCO₂e dan pada area konservasi sebesar 20.233 tCO₂e. Nilai ini diperoleh dari akumulasi biomassa vegetasi pada setiap kategori tanaman, di mana biomassa mencerminkan total massa organik yang tersimpan dalam tubuh tanaman dan menjadi dasar estimasi cadangan karbon. Nilai cadangan karbon kemudian dikonversi menjadi serapan CO₂ menggunakan faktor konversi 3,67 sesuai pedoman IPCC, karena setiap 1 ton karbon yang

tersimpan dalam biomassa setara dengan 3,67 ton CO₂ yang diserap dari atmosfer, sehingga dinyatakan dalam satuan ton CO₂ ekuivalen (tCO₂e). Nilai ini menunjukkan bahwa vegetasi memiliki kontribusi dalam menyerap emisi gas rumah kaca melalui proses fotosintesis [1][8].

Distribusi serapan karbon (Tabel 1 dan 2) menunjukkan bahwa kategori pohon mendominasi sebesar 90,7%, sedangkan kategori tanaman lain seperti pancang, tiang, dan tumbuhan bawah memberikan kontribusi yang sangat kecil. Hal ini sesuai dengan pernyataan bahwa vegetasi dengan biomassa besar memiliki kapasitas penyimpanan karbon yang lebih tinggi dibandingkan vegetasi berukuran kecil [6][12].

Tabel 1. Kontribusi Serapan Karbon Berdasarkan Kategori Keanekaragaman hayati di Area Mill

No.	Kategori Tanaman	tCO ₂ e
1	Pohon	147.996
2	Tiang	6.988
3	Pancang	5.858
4	Tumbuhan bawah	2.190
Total		163.032

Tabel 2. Kontribusi Serapan Karbon Berdasarkan Kategori Keanekaragaman hayati Area Konservasi

No.	Kategori Tanaman	tCO ₂ e
1	Pohon	19.487
2	Tiang	186
3	Pancang	228
4	Tumbuhan bawah	332
Total		20.233

Dominasi kategori tanaman berupa pohon menunjukkan bahwa ukuran dan struktur vegetasi menjadi faktor utama dalam menentukan kapasitas serapan karbon. Ukuran dan struktur vegetasi ini tercermin dari nilai biomassa, yaitu total massa organik yang tersimpan dalam tubuh tanaman, di mana semakin besar diameter batang dan tajuk pohon, maka semakin tinggi pula nilai biomasanya. Dengan demikian, semakin besar biomassa vegetasi, semakin besar pula kemampuannya dalam menyerap dan menyimpan karbon dioksida dari atmosfer. Hal ini menunjukkan bahwa besarnya serapan karbon lebih ditentukan oleh nilai biomassa suatu tanaman dibandingkan jumlah individunya, sehingga satu pohon berbiomassa tinggi seperti trembesi dapat menghasilkan cadangan karbon yang jauh lebih besar dibandingkan ratusan bahkan ribuan individu tanaman berukuran kecil [10].

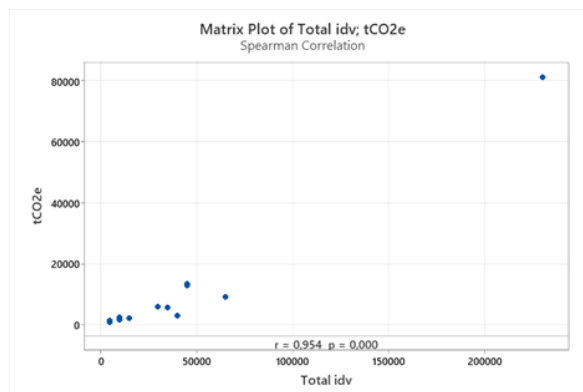
Pengaruh Keanekaragaman Hayati terhadap Cadangan Karbon

Sebelum melakukan uji statistik, terlebih dahulu dilakukan uji normalitas data menggunakan uji Anderson-Darling melalui *software* Minitab *free version*. Hasil uji normalitas menunjukkan bahwa sebagian besar kategori tanaman memiliki nilai P-value < 0,05, sehingga data dinyatakan tidak berdistribusi normal dan tidak memenuhi asumsi parametrik, didukung pula oleh jumlah sampel yang tergolong kecil ($n < 50$) pada setiap kategori tanaman. Berdasarkan hasil tersebut, uji korelasi Spearman (Gambar 1 untuk area Mill, Gambar 2 untuk area Konservasi) digunakan untuk menganalisis hubungan antara jumlah individu vegetasi (Ni) dan cadangan karbon, sedangkan uji Kruskal-Wallis (Tabel 3 dan 4) digunakan untuk menguji perbedaan cadangan karbon antar kategori tanaman yang dihitung dari jumlah tanaman [13].

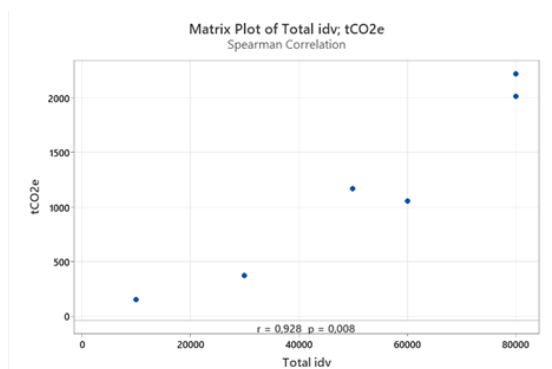
a. Korelasi Spearman

Korelasi Spearman adalah uji statistik non-parametrik yang digunakan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan antara dua variabel berdasarkan peringkat (rank) dari nilai data. Uji ini digunakan untuk mengetahui hubungan antara jumlah individu tanaman (variabel bebas) dengan nilai tCO₂e (variabel terikat) sebagai alternatif korelasi Pearson yang cocok digunakan ketika data tidak berdistribusi normal atau jumlah sampel tergolong kecil.

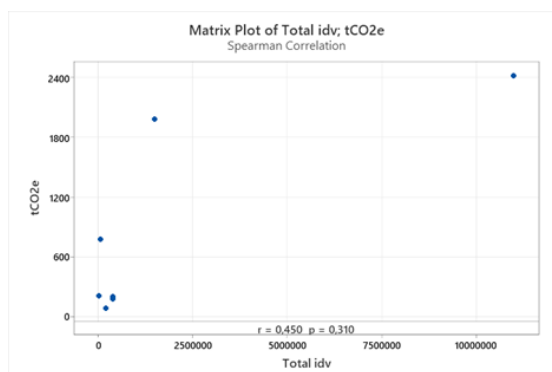
Hasil uji korelasi Spearman pada area Mill menunjukkan hubungan positif yang signifikan pada strata tumbuhan bawah ($r = 0,821$; $p = 0,000$), tiang ($r = 0,928$; $p = 0,008$), dan pohon ($r = 0,954$; $p = 0,000$). Nilai r yang mendekati 1 mengindikasikan kekuatan hubungan yang tinggi antara jumlah individu vegetasi dan cadangan karbon, sedangkan p -value < 0,05 menunjukkan bahwa hubungan tersebut signifikan secara statistik. Meskipun demikian, jumlah individu bukan penentu utama besarnya biomassa, karena biomassa lebih ditentukan oleh ukuran, diameter batang, dan jenis tanaman. Hal ini terlihat dari perbandingan antara tumbuhan bawah di area mill yang berjumlah 18.650.000 individu namun hanya menghasilkan 2.190 tCO₂e, dengan kategori pohon yang hanya berjumlah 560.000 individu namun menghasilkan 147.996 tCO₂e, perbedaan ini mencerminkan tingginya nilai biomassa pohon akibat ukuran dan strukturnya yang jauh lebih besar. Adapun strata pancang menunjukkan hubungan yang tidak signifikan ($r = 0,450$; $p = 0,310$), kemungkinan disebabkan oleh jumlah jenis yang sedikit dan sebaran data yang tidak merata.



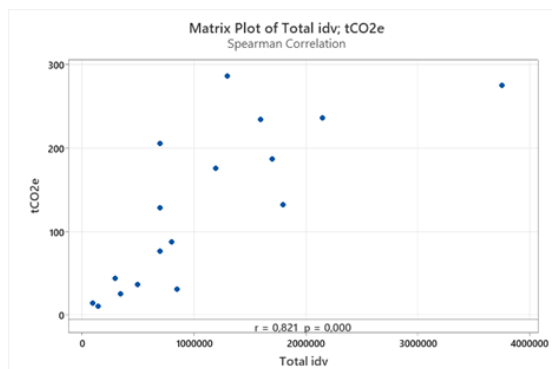
Gambar 1.a Hasil Korelasi Spearman Kategori Pohon (Mill)



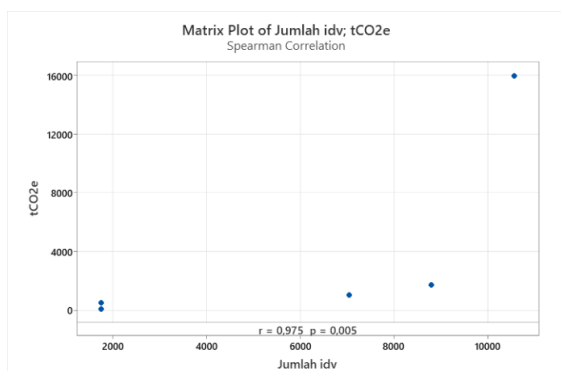
Gambar 1.b Hasil Korelasi Spearman Kategori Tiang (Mill)



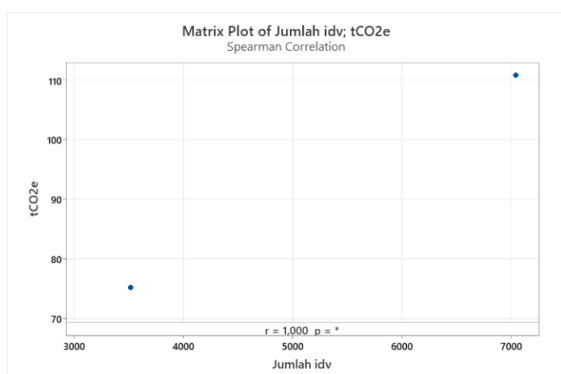
Gambar 1.c Hasil Spearman Kategori Pancang (Mill)



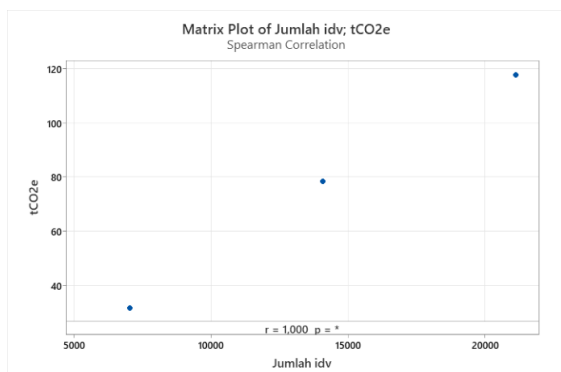
Gambar 1.d Hasil Korelasi Spearman Kategori Tumbuhan Bawah (Mill)



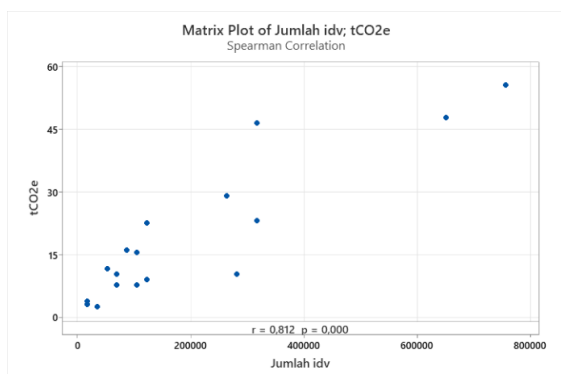
Gambar 2.a Hasil Korelasi Spearman Kategori Pohon (Konservasi)



Gambar 2.b Hasil Korelasi Spearman Kategori Tiang (Konservasi)



Gambar 2.c Hasil Korelasi Spearman Kategori Pancang (Konservasi)



Gambar 2.d Hasil Korelasi Spearman Kategori Tumbuhan Bawah (Konservasi)

Pada area Konservasi, strata tumbuhan bawah ($r = 0,812$; $p = 0,000$) dan pohon ($r = 0,975$; $p = 0,005$) menunjukkan hubungan positif yang sangat kuat dan signifikan. Adapun strata pancang dan tiang menunjukkan hasil (*) yang berarti *P-value* tidak dapat dihitung secara valid oleh Minitab, hal ini terjadi karena jumlah data pada kedua strata tersebut terlalu kecil ($n < 5$) sehingga kombinasi peringkat (*rank*) yang tersedia tidak cukup untuk membentuk distribusi statistik yang representatif. Oleh karena itu, kedua strata tersebut tidak dapat diinterpretasikan secara statistik. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa biomassa vegetasi merupakan faktor utama yang berkontribusi terhadap besarnya nilai tCO_2e , bukan jumlah keanekaragaman jenisnya. Hal ini terlihat dari perbandingan antara tumbuhan bawah di area konservasi yang berjumlah 3.520.000 individu namun hanya menghasilkan 332 tCO_2e , dengan kategori pohon yang hanya berjumlah 29.920 individu namun menghasilkan 19.486 tCO_2e , perbedaan ini mencerminkan tingginya nilai biomassa pohon trembesi akibat ukuran dan strukturnya yang jauh lebih besar.

b. Analisis Kruskal-Wallis

Uji Kruskal-Wallis adalah uji statistik non-parametrik yang digunakan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara tiga kelompok atau lebih berdasarkan peringkat (*rank*) dari nilai data, sebagai alternatif ANOVA yang cocok digunakan ketika data tidak berdistribusi normal. Hasil uji Kruskal-Wallis pada area Mill menunjukkan *P-value* $> 0,05$ pada seluruh strata, yaitu tumbuhan bawah ($H = 15,27$; $P = 0,360$), pancang ($H = 5,89$; $P = 0,317$), tiang ($H = 4,86$; $P = 0,302$), dan pohon ($H = 14,33$; $P = 0,074$). Hasil serupa ditemukan pada area Konservasi, yaitu tumbuhan bawah ($H = 14,90$; $P = 0,187$), pancang ($H = 2$; $P = 0,368$), tiang ($H = 1$; $P = 0,317$), dan pohon ($H = 3,80$; $P = 0,284$). Pada strata pancang dan tiang area Konservasi, hasil perlu diinterpretasikan secara hati-hati mengingat jumlah sampel yang sangat terbatas sehingga nilai *H* yang dihasilkan kurang representatif. Hasil ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan untuk nilai tCO_2e antar kategori tanaman pada seluruh strata di kedua lokasi.

Hasil uji Kruskal-Wallis sejalan dengan temuan korelasi Spearman, bahwa perbedaan jumlah individu tanaman dalam suatu kategori tidak menentukan besarnya nilai tCO_2e . Efektivitas vegetasi dalam menurunkan emisi GRK lebih ditentukan oleh besarnya biomassa yang tersimpan, bukan tingkat keanekaragaman

jenisnya. Hal ini tercermin dari dominasi trembesi di area Konservasi yang hanya berjumlah 6 individu/20m² dari total 3,52 Ha di area konservasi namun menghasilkan serapan karbon tCO₂e mencapai 15.986, jauh lebih besar dibandingkan jenis lain yang lebih beragam namun berbiomassa rendah. Misalnya, tumbuhan bawah yang memiliki 18 spesies hanya menghasilkan 332 tCO₂e, jauh lebih kecil dibandingkan trembesi yang hanya terdiri dari 1 spesies namun menghasilkan 15.986 tCO₂e.

Tabel 3. Total Serapan Karbon Kategori Pohon

No	Nama Lokal	Total Individu	tCO ₂ e
1	Kapuk randu	7,040	1,079.9782
2	Jaranan	8,800	1,769.8208
3	Trembesi	10,560	15,986.5200
4	Angsana	1,760	530.3003
5	Bambu	1,760	120.1411
Total		29,920	19,486.7605

Tabel 4. Total Serapan Karbon Kategori Tumbuhan Bawah

No	Nama Lokal	Total Individu	tCO ₂ e
1	Slender St. John's wort	35,200	2.5837
2	Velvet bundleflower	105,600	15.5021
3	Kacang belat	70,400	10.3347
4	Jarum spanyol	123,200	9.0429
5	Sidaguri	123,200	22.6072
6	Rumput grinting	281,600	10.3347
7	Maman ungu	70,400	7.7510
8	Sidaguri kecil	316,800	46.5062
9	Selasih hutan	264,000	29.0664
10	Tapak kuda ungu	17,600	3.2296
11	Rumput belulang	316,800	23.2531
12	Selada liar kecil	123,200	9.0429
13	Japanese stiltgrass	756,800	55.5491
14	Simpur tapak kuda	17,600	3.8755
15	Rumput barbudan	651,200	47.7981
16	Akar kucing	88,000	16.1480
17	Ketul	105,600	7.7510
18	Sambang geteh	52,800	11.6266
Total		3,520,000	332.0029

Implikasi terhadap Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca

Total serapan karbon vegetasi di kawasan pabrik sebesar 163.032 tCO₂e dan area konservasi sebesar 20.233 tCO₂e, jauh lebih kecil dibandingkan total emisi perusahaan pada scope 1 sebesar 1.931.183 tCO₂e (masing-masing sebesar 8,44% dan 1,05%). Hal ini menunjukkan bahwa vegetasi di kawasan operasional belum mampu mengimbangi emisi gas rumah kaca secara signifikan. Kondisi ini disebabkan oleh dominasi biomassa pada vegetasi pohon yang jumlahnya terbatas, sehingga penyerapan karbon belum mampu mengimbangi emisi yang dihasilkan. Vegetasi dengan biomassa tinggi seperti trembesi dan mahoni memiliki kontribusi terbesar terhadap cadangan karbon, sejalan dengan hasil kajian ini yang menunjukkan dominasi hingga 90,7%.

Mengingat besarnya emisi industri, pendekatan berbasis vegetasi yakni pemanfaatan tanaman sebagai penyerap karbon alami melalui proses fotosintesis saja belum cukup untuk mengimbangi total emisi yang dihasilkan. Oleh karena itu, diperlukan strategi terpadu melalui peningkatan vegetasi berbiomassa tinggi serta pengendalian emisi pada sumbernya. Berdasarkan hasil kajian, jenis tanaman yang direkomendasikan untuk kawasan industri adalah tanaman berbiomassa tinggi seperti trembesi (*Samanea saman*), mahoni (*Swietenia mahagoni*), dan akasia (*Acacia mangium*), dengan mempertimbangkan adaptabilitas terhadap kondisi lingkungan industri, ketahanan terhadap polutan udara, serta kemudahan perawatan jangka panjang. Selain itu, perusahaan telah memiliki area konservasi yang dapat dikembangkan lebih lanjut sebagai upaya tambahan dalam meningkatkan kontribusi penurunan emisi gas rumah kaca di kawasan industri [2].

4. PENUTUP

Kajian terapan ini menunjukkan bahwa total serapan karbon vegetasi di kawasan perusahaan (Mill) sebesar 163.032 tCO₂e, lebih kecil dibandingkan emisi perusahaan sebesar 1.931.183 tCO₂e (≈8,44%), sedangkan pada lahan atau area konservasi sebesar 3,52 Ha dari total 7 Ha diperoleh 20.233 tCO₂e (≈1,05%). Hasil analisis statistik juga menunjukkan bahwa keanekaragaman vegetasi berdasarkan kategori tanaman tidak berpengaruh signifikan terhadap cadangan karbon, sehingga keanekaragaman hayati berdasarkan kategori tanaman, khususnya dominasi pohon berdiameter besar dengan biomassa tinggi, menjadi faktor utama. Untuk

kajian selanjutnya, disarankan untuk melakukan kajian pada seluruh area konservasi secara total sehingga gambaran potensi serapan karbon dapat lebih representatif. Implikasinya, strategi penghijauan perlu difokuskan pada peningkatan vegetasi berbiomassa tinggi serta diintegrasikan dengan efisiensi energi dan pengendalian emisi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. IPCC, *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.
- [2]. D. C. Marvin et al., "Natural climate solutions provide robust carbon mitigation capacity under future climate change scenarios," *Scientific Reports*, vol. 13, 2023, doi: 10.1038/s41598-023-43118-6..
- [3]. Republik Indonesia, Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional, *Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang*, Jakarta, 2007. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Details/39908/uu-no-26-tahun-2007>
- [4]. Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, "Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 40/M-IND/PER/6/2016 tentang Pedoman Teknis Pembangunan Kawasan Industri," *Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2016 Nomor 989*, Jakarta, 2016. [Online]. Available: <https://peraturan.go.id/id/permenperin-no-40-m-ind-per-7-2016-tahun-2016>
- [5]. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, *Laporan Status Hutan dan Kehutanan Indonesia 2022*, Jakarta: KLHK, 2022.
- [6]. A. A. Prasetyo, "Estimasi cadangan karbon pada ruang terbuka hijau di kawasan perkotaan," *Jurnal Sylva Lestari*, vol. 8, no. 2, pp. 210–218, 2020, doi: 10.23960/jsl28210-218.
- [7]. R. S. Hidayat dan M. F. Siregar, "Peran ruang terbuka hijau dalam menyerap emisi karbon di perkotaan," *Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 25, no. 2, pp. 85–92, 2019.
- [8]. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, *Buku Statistik Kehutanan 2022*, Jakarta: KLHK, 2022.
- [9]. D. R. Hakim, "Analisis kemampuan vegetasi dalam menyerap karbon dioksida pada kawasan hijau kota," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 18, no. 3, pp. 210–218, 2020, doi: 10.14710/jil.18.3.210-218.
- [10]. A. Nugroho, "Perbedaan kemampuan serapan polutan udara oleh berbagai jenis tanaman," *Jurnal Biologi Indonesia*, vol. 16, no. 2, pp. 101–110, 2020.
- [11]. SNI 7724:2011, *Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon – Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan*, Badan Standardisasi Nasional, 2011.
- [12]. E. S. Mulyani et al., "Pendugaan cadangan karbon pada vegetasi ruang terbuka hijau," *Jurnal Hutan Tropis*, vol. 9, no. 1, pp. 1–10, 2021.
- [13]. N. Lestari dan A. Wibowo, "Efektivitas ruang terbuka hijau dalam menyerap emisi karbon di kawasan perkotaan," *Jurnal Geografi*, vol. 12, no. 2, pp. 120–130, 2022.

Ruang kosong ini untuk menggenapi jumlah halaman sehingga jika dicetak dalam bentuk buku, setiap judul baru akan menempati halaman sisi kanan buku.