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

Analisis Jejak Karbon Individu Karyawan Migas EP Kalimantan Timur

*Ahmad Randi Taufiqussyakir , Abdu Fadli Assomadi**

Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

*Koresponden: assomadi@its.ac.id

Diterima: 14 November 2025 Diperbaiki: 12 Desember 2025 Disetujui: 20 Januari 2026

ABSTRACT

This study analyzes the individual carbon footprint of employees at Migas EP Kalimantan Timur, focusing on two main aspects: carbon footprint calculation and the economic impact assessment of carbon emissions generated by employee activities. A quantitative approach is used with Stratified Random Sampling to select a sample from 796 employees across various job strata within the company. The carbon footprint is calculated using the IPCC methodology, which is effective in measuring emissions from transportation and energy consumption activities. Additionally, the economic impact is assessed using the Replacement Cost Method (RCM) to evaluate the cost of carbon emission mitigation through tree planting projects. The results show that transportation activities are the largest contributor to individual carbon emissions, with total annual emissions of 294,31 tonCO_2. The required mitigation cost to offset individual carbon emissions is estimated at IDR 1.902.640.954 per year, with Trembesi and Mangrove trees as the most efficient carbon absorption solutions. Based on the domestic carbon trading price of IDR 96,000 per ton, the cost to offset individual carbon emissions is only IDR 28.253.693,92 per year, significantly lower than the estimated mitigation cost in this study.

Keyword: Carbon Emissions, Carbon Footprint, Migas EP East Kalimantan, Emissions Mitigation, Carbon Measurement, RCM.

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis jejak karbon individu karyawan Migas EP Kalimantan Timur, dengan fokus pada dua aspek utama: perhitungan jejak karbon dan kajian dampak ekonomi terkait emisi karbon yang dihasilkan oleh aktivitas karyawan. Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan *Stratified Random Sampling* untuk pemilihan sampel dari 796 karyawan yang mencakup berbagai strata jabatan dalam perusahaan. Perhitungan jejak karbon dilakukan menggunakan metodologi IPCC, untuk mengukur emisi karbon individu yang dihasilkan oleh aktivitas transportasi dan konsumsi energi. Sedangkan dampak ekonomi dihitung menggunakan *Replacement Cost Method* (RCM) dengan menilai biaya mitigasi emisi karbon melalui proyek penanaman pohon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas transportasi merupakan kontributor terbesar terhadap emisi karbon individu, dengan rata-rata emisi tahunan mencapai 294,31 tonCO_2. Biaya mitigasi yang diperlukan untuk mengimbangi emisi karbon individu diperkirakan sebesar Rp 1.902.640.954 per tahun, dengan pohon Trembesi dan Mangrove sebagai solusi penyerapan karbon yang paling efisien. Berdasarkan harga perdagangan karbon domestik yang berlaku sebesar IDR 96.000 per ton, biaya *offset* karbon yang diperlukan untuk mengimbangi emisi karbon individu hanya Rp 28.253.693,92 per tahun, yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan estimasi biaya mitigasi dalam penelitian ini.

Kata Kunci: Emisi Karbon, Jejak Karbon, Migas EP Kalimantan Timur, Mitigasi Emisi, Pengukuran Karbon, RCM.

1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim adalah salah satu tantangan global terbesar yang dihadapi dunia saat ini, dengan emisi gas rumah kaca (GRK) sebagai penyebab utama. Jejak karbon individu, yang mencakup emisi karbon dioksida (CO_2) dan GRK lainnya yang dihasilkan dari aktivitas sehari-hari seperti transportasi, konsumsi energi, dan pola makan, memberikan kontribusi signifikan terhadap perubahan iklim. Menurut laporan CDP (2017), sekitar 71% dari emisi GRK global berasal dari 100 perusahaan besar, tetapi kontribusi individu juga sangat penting dalam menciptakan perubahan kolektif, terutama melalui adopsi gaya hidup berkelanjutan (Boell Foundation, 2023; Britannica, 2024). Di Indonesia, emisi per kapita diperkirakan mencapai 2,87 ton CO_2 pada tahun 2024 (Our World in Data, n.d.), dan pemerintah telah berkomitmen untuk menurunkan emisi sebesar 29% pada tahun 2030 tanpa syarat (unconditional), melalui berbagai kebijakan mitigasi (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2022). Sektor minyak dan gas bumi (migas) memiliki kontribusi signifikan terhadap emisi

 Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International.

karbon global, dengan aktivitas eksplorasi dan produksi migas menghasilkan sekitar 15% dari total emisi terkait energi secara global, setara dengan 5,1 miliar ton GRK pada tahun 2022 (IEA, 2024). Kalimantan Timur, sebagai salah satu pusat industri migas Indonesia, turut berkontribusi pada jejak karbon yang tinggi. Namun, data spesifik mengenai jejak karbon individu karyawan migas di wilayah ini masih sangat terbatas. Aktivitas sehari-hari, seperti penggunaan kendaraan pribadi untuk transportasi ke tempat kerja, konsumsi energi di kantor, serta pola makan, diduga menjadi penyumbang utama jejak karbon individu, yang dapat mencapai hingga 25% dari total emisi perusahaan (Greenly, 2024). Permasalahan utama yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah rendahnya kesadaran individu terhadap kontribusi mereka dalam emisi karbon serta kurangnya data kuantitatif mengenai jejak karbon karyawan di perusahaan migas EP Kalimantan Timur. Kurangnya informasi terkait data kuantitatif jejak karbon individu menyulitkan perusahaan dalam merancang strategi mitigasi berbasis individu yang efektif dan terukur. Sehingga, diperlukan analisis mendalam untuk mengidentifikasi sumber utama jejak karbon individu karyawan serta memberikan rekomendasi mitigasi yang relevan untuk mendukung upaya mitigasi perubahan iklim melalui pendekatan berbasis individu yang secara khusus memperhitungkan aktivitas spesifik di lapangan yang relevan dengan pekerjaan migas. Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar pengembangan kebijakan keberlanjutan perusahaan yang lebih terarah serta meningkatkan kesadaran karyawan akan pentingnya gaya hidup rendah karbon. Secara lebih luas, penelitian ini berkontribusi pada pencapaian target nasional Indonesia menuju netralitas karbon pada tahun 2060.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode *Stratified Random Sampling* untuk memilih sampel dari 796 karyawan, dengan tujuan memastikan representasi yang proporsional dan representatif berdasarkan strata jabatan (Cochran, 1977). Sebelum pengumpulan data, uji validitas dan reliabilitas dilakukan untuk memastikan instrumen pengukuran yang digunakan dapat menghasilkan data yang akurat dan konsisten. Data dikumpulkan melalui kuesioner yang mencakup informasi terkait aktivitas harian karyawan, seperti transportasi, konsumsi energi, dan penggunaan perangkat elektronik. yang kemudian dianalisis menggunakan metodologi IPCC untuk menghitung emisi karbon berdasarkan aktivitas tersebut (IPCC, 2019). Proyeksi emisi dilakukan dengan CAGR (*Compound Annual Growth Rate*) untuk memprediksi emisi hingga tahun 2030 dan 2060. Selain itu, untuk mengukur biaya mitigasi emisi karbon individu, penelitian ini menerapkan *Replacement Cost Method* (RCM), untuk menghitung biaya yang diperlukan untuk mengimbangi emisi karbon (Dixon & Hufschmidt, 1986).

Aspek Teknis

Penentuan Jumlah Responden

Jumlah responden (n) ditetapkan dengan rumus berikut (Cochran, 1977):

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p(1-p)}{E^2 \cdot (N-1) + Z^2 \cdot p(1-p)} \quad \text{.....(1)}$$

Keterangan variabel:
N : Total populasi (796 karyawan)
Z : Nilai Z untuk tingkat kepercayaan 95% (1,96)
p : Proporsi populasi yang diasumsikan (0,5 - konservatif, jika prevalensi tidak diketahui)
E : *Margin of error* (0,05)

Aspek teknis penelitian ini mencakup pengumpulan dan analisis data jejak karbon berdasarkan aktivitas harian karyawan. Penghitungan emisi dari konsumsi energi perangkat elektronik dan transportasi menggunakan metode IPCC. Rumus perhitungan emisi berdasarkan IPCC, sebagai berikut:

- Perhitungan Emisi Konsumsi Energi Listrik

$$\frac{Emisi}{Hari} = Rata - rataDurasiPenggunaan\left(\frac{jam}{hari}\right) \times FaktorEmisi\left(\frac{kgCO_2}{jam}\right) \text{.....(2)}$$

Keterangan:
Faktor Emisi sesuai Peraturan Menteri ESDM No. 22 Tahun 2019 dengan grid Mahakam sebesar 1,12 ton CO_2/MWh dan disesuaikan dengan daya perangkat elektronik yang digunakan sehingga pada Laptop 65W ($0{,}73\times 10^{-4}\ kg\ CO_2$ per jam), Dekstop/PC 180W (PC) + 25W (Monitor) = 205W ($0{,}23 \times 10^{-3}\ kg\ CO_2$ per jam), dan *Handphone* ($0{,}73 \times 10^{-3}\ kg\ CO_2$ per jam).

- Perhitungan Faktor Emisi dari Aktivitas Transportasi

$$Emisi\ CO2\ per\ km = \frac{(Faktor\ Emisi\ CO_2\ )}{1000} \times Massa\ Bahan\ Bakar\ per\ Kilometer \text{.... (3)}$$

Keterangan:
Faktor Emisi sesuai permen lh 12 tahun 2010 dan massa bahan bakar mengacu pada spesifikasi serta efisiensi konsumsi bahan bakar disesuaikan dengan jenis tranportasi yang digunakan.

- Perhitungan Emisi dari Aktivitas Transportasi ke dan dari Kantor

$$\frac{Emisi}{Hari} = Rata - rataJarakPerjalanan(km) \times Rata - rataFrekuensiPerjalananHarian\left(\frac{kali}{hari}\right) \times FaktorEmisi\left(\frac{kgCO_2}{km}\right) \text{.....(4)}$$

- Perhitungan Emisi dari Aktivitas Transportasi Perjalanan Dinas

$$\frac{Emisi}{Bulan} = \begin{pmatrix} Emisi\ Perjalanan\ Luar\ Kota\ \left(\frac{kgCO_2}{hari}\right) + \\ Emisi\ Perjalanan\ Luar\ Provinsi\ \left(\frac{kgCO_2}{hari}\right) \end{pmatrix} \times Rata - rata\ Frekuensi\ Perjalanan\ Dinas\ \left(\frac{kali}{bulan}\right) \text{.....(5)}$$

$$Emisi\ Perjalanan\ Luar\ Kota\ \left(\frac{kgCO_2}{hari}\right) = \begin{pmatrix} Jumlah\ Pengguna\ Mobil\ \times \\ Jarak\ Perjalanan\ \left(\frac{km}{hari}\right) \times Faktor\ Emisi\ Mobil\ \left(\frac{kgCO_2}{km}\right) \end{pmatrix} \text{.....(6)}$$

$$Emisi\ Perjalanan\ Luar\ Provinsi\ \left(\frac{kgCO_2}{hari}\right) = \begin{pmatrix} Jumlah\ Pengguna\ Pesawat\ \times \\ Jarak\ Perjalanan\ \left(\frac{km}{hari}\right) \times Faktor\ Emisi\ Pesawat\ \left(\frac{kgCO_2}{km}\right) \end{pmatrix} \text{.....(7)}$$

- Perhitungan Emisi dari Aktivitas Transportasi Inspeksi Lapangan

$$\frac{Emisi}{Hari} = Rata - rataJarakTempuhInspeksi(km) \times \left(Jumlah\ Pengguna \times Faktor\ Emisi\ Mobil\ \left(\frac{kgCO_2}{km}\right)\right) + \left(Jumlah\ Pengguna\ \times Faktor\ Emisi\ Motor\ \left(\frac{kgCO_2}{km}\right)\right) \text{.....(8)}$$

- Perhitungan Total Emisi

$$Total\ Emisi\ = Emisi\ yang\ Dihasilkan\ dari\ (Konsumsi\ Energi\ Listrik\ + Transportasi\ ke\ dan\ dari\ Kantor\ + Transportasi\ Perjalanan\ Dinas\ + Transportasi\ Inspeksi\ Lapangan) \text{ ....(9)}$$

Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak R Studio untuk memastikan akurasi analisis. Stratifikasi dilakukan berdasarkan lima kategori jabatan: manajerial, pengawas, analis/staf, teknisi/operator, dan helper. Proyeksi emisi hingga tahun 2030 dan 2060 dilakukan dengan menggunakan metode *Compound Annual Growth Rate* (CAGR), yang dihitung dengan rumus:

$$CAGR = \left(\frac{Nilai\ Akhir}{Nilai\ Awal}\right)^{\frac{1}{n}} - 1 \text{ .....(10)}$$

Dimana n adalah jumlah tahun yang dihitung (misalnya, 5 tahun untuk proyeksi 2030).

Aspek Ekonomi

Metode *Replacement Cost Method* (RCM) ini menilai biaya yang dibutuhkan untuk mengimbangi emisi karbon dengan menanam pohon yang memiliki kapasitas serapan karbon yang sesuai. yang dihitung dengan rumus:

$$Jumlah\ Pohon = \frac{Emisi\ Total\ \left(\frac{kgCO_2}{tahun}\right)}{Serapan\frac{Karbon}{Pohon}\left(\frac{kgCO_2}{tahun}\right)} \text{.....(11)}$$

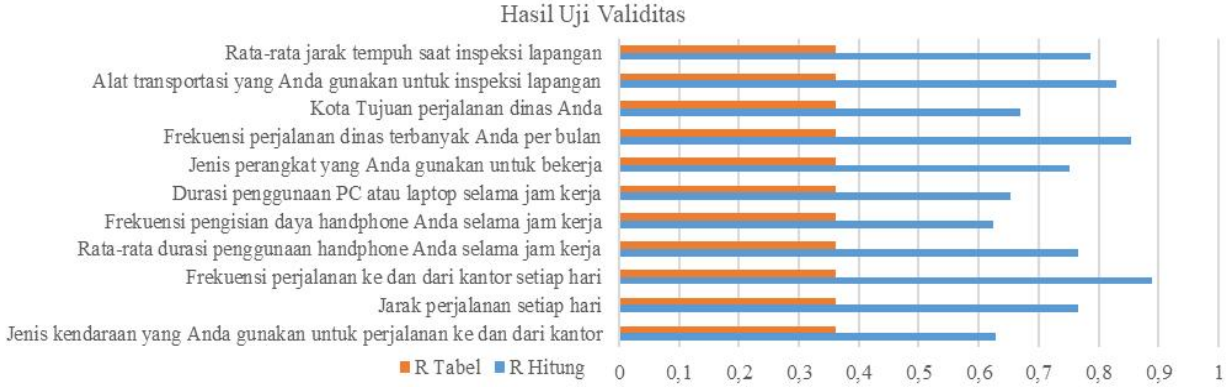
RCM digunakan untuk menghitung biaya total penanaman dan pemeliharaan pohon yang diperlukan, yang meliputi biaya bibit, tenaga kerja, pemeliharaan tahunan, dan transportasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Aspek Teknis: Penghitungan Jejak Karbon Individu

Pengumpulan Data

Uji validitas menggunakan koefisien korelasi Pearson (R Hitung), dengan hasil pada **gambar 1** yang menunjukkan bahwa semua item kuesioner valid (R Hitung > R Tabel 0,361). Selanjutnya, uji reliabilitas dilakukan dengan menggunakan Cronbach's Alpha untuk mengukur konsistensi instrumen. Hasil uji menunjukkan nilai Cronbach's Alpha sebesar 0,920, yang mengindikasikan instrumen reliabel.



Gambar 1. Hasil Uji Validitas

Penentuan Jumlah Responden

Penelitian ini menggunakan metode Stratified Random Sampling untuk menentukan jumlah responden yang representatif dari populasi karyawan di Migas EP Kalimantan Timur, yang berjumlah 796 karyawan. Populasi dibagi ke dalam lima strata jabatan: Managerial, Pengawas, Analis/Staff, Teknisi/Operator, dan Helper. Berdasarkan rumus yang diadaptasi dari Cochran (1977), jumlah responden yang dibutuhkan untuk penelitian ini adalah 120 orang, dengan asumsi margin kesalahan 0,0825 dan tingkat kepercayaan 95%.

$$n=\frac{796\times(1,96)^2\times0,5\times0,5}{(0,0825)^2\times(796-1)+(1,96)^2\times0,5\times0,5}$$

$$n=\frac{796\times3,8416\times0,25}{0,00680625\times795+0,9604}$$

$$=\frac{764,4784}{6,37136875}=119,9865=120$$

Tabel 1 adalah distribusi jumlah responden pada setiap strata berdasarkan pengolahan data menggunakan RStudio yang menggambarkan distribusi proporsi yang diperoleh tidak hanya merepresentasikan data secara statistik, tetapi juga memberikan gambaran substantif mengenai heterogenitas kontribusi emisi di antara kelompok jabatan.

Tabel 1. Hasil Statistik Distribusi Proporsi Strata

Jabatan	Jumlah Reponden	Proporsi (%)
Managerial (SM, Suptend, AsstMan)	1	0,83%
Pengawas (Sr Spv, Spv)	4	3,33%
Analis/Staff (*Analyst, Engineer, Officer*)	23	19,17%
Teknisi/Operator (*Technician*, Opr)	62	51,67%
Helper (Admin, *Office Boy, Carpenter*)	30	25%
Total	**120**	**100%**

Pada aspek teknis, penelitian ini menganalisis dua sumber utama emisi, yaitu konsumsi energi perangkat elektronik dan aktivitas transportasi. Data yang diperoleh melalui survei menunjukkan bahwa emisi karbon individu karyawan lebih banyak disumbangkan oleh penggunaan kendaraan pribadi dan konsumsi energi perangkat elektronik yang digunakan dalam kegiatan sehari-hari di kantor.

Emisi dari Konsumsi Energi

Berdasarkan hasil perhitungan, konsumsi energi perangkat seperti laptop, desktop/PC, dan *handphone* berkontribusi pada emisi karbon individu, meskipun kontribusinya tidak sebesar transportasi.

Emisi karbon dari penggunaan perangkat di sektor ini menunjukkan bahwa jabatan Pengawas dan Analis Staf cenderung menghasilkan emisi lebih besar dari Laptop dan *Handphone*. Penggunaan Laptop dalam jabatan ini menjadi faktor dominan, mengingat pekerjaannya yang lebih intensif terhadap penggunaan energi.

Tabel 2. Konsumsi Energi dan Emisi yang dihasilkan per Jabatan

Jabatan	Laptop	Desktop/PC	*Handphone*		Emisi yang Dihasilkan ($kgCO_2$/hari)	Emisi yang Dihasilkan ($tonCO_2$/tahun*)
	Rata-rata Durasi Penggunaan (jam/hari)	Rata-rata Durasi Penggunaan (jam/hari)	Rata-rata Durasi Penggunaan (jam/hari)	Rata-rata Frekuensi Pengisian Daya (kali)		
Managerial (SM, *Suptend, AsstMan*)	5,00	0,00	2,00	0,00	3,64E-04	9,61E-05
Pengawas (Sr Spv, Spv)	7,33	2,00	4,63	1,00	4,35E-03	1,15E-03
Analis/Staf (*Analyst, Engineer, Officer*)	6,22	0,00	4,30	1,00	3,58E-03	9,44E-04
Teknisi/Operator (*Technician, Opr*)	3,68	2,92	3,19	1,00	3,26E-03	8,60E-04
Helper (Admin, *Office Boy, Carpenter*)	4,44	2,14	2,60	1,00	2,70E-03	7,13E-04
Total	**26,66**	**7,06**	**16,72**	**4,00**	**1,42E-02**	**3,76E-03**

Emisi dari Aktivitas Transportasi

Pada bagian ini, setiap jenis transportasi dihitung berdasarkan jarak tempuh, jenis kendaraan, dan frekuensi perjalanan. Faktor emisi CO_2 dihitung berdasarkan jenis kendaraan, bahan bakar yang digunakan, dan konsumsi bahan bakar per kilometer, dengan mengacu pada Permen LH No. 12 Tahun 2010. Massa jenis bahan bakar untuk Pertamax, Pertalite dan Biodiesel 35% spesifikasi yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi (2006, 2017, 2023) Berikut adalah **Tabel 3** yang merinci faktor emisi CO_2 untuk berbagai jenis kendaraan yang digunakan dalam perjalanan ke kantor, perjalanan dinas, dan inspeksi lapangan.

Tabel 3. Faktor Emisi dari Aktivitas Transportasi

Jenis Kendaraan	Faktor Emisi CO_2 (g/ kg BBM)	Massa Jenis Bahan Bakar (kg/m^3)	Kuantitas Konsumsi Bahan Bakar (liter/km)	Faktor Emisi CO_2 (kg/km)
Mobil (Bensin/Pertamax)	3180	770	1:10	2,44E-01
Sepeda Motor (Ke dan dari kantor)	3180	770	1:37	6,62E-02
Mobil Innova Diesel (Perjalanan Dinas)	3172	880	1:11	2,54E-01
Mobil Double Cabin (Inspeksi lapangan)	3172	880	1:9	3,10E-01
Sepeda Motor CRF (Inspeksi lapangan)	3180	770	1:41	5,97E-02

Faktor emisi ini dihitung berdasarkan rumus yang mengalikan faktor emisi per kg bahan bakar dengan konsumsi bahan bakar per kilometer, disesuaikan dengan massa jenis bahan bakar. Sebagai tambahan, untuk pesawat, faktor emisi yang digunakan adalah $9{,}1\times 10^{-1}$ kg CO_2 per orang per kilometer (Sonhaji, 2022).

(1) Aktivitas Transportasi ke dan dari Kantor

Aktivitas transportasi ke dan dari kantor merupakan salah satu kontributor utama terhadap jejak karbon individu karyawan. Data menunjukkan bahwa banyak karyawan yang menggunakan kendaraan pribadi (mobil dan motor) untuk perjalanan ke dan dari kantor.

Emisi terbesar dari aktivitas transportasi ke dan dari kantor berasal dari Teknisi/Operator yang menggunakan kendaraan pribadi (mobil/motor) dengan rata-rata jarak tempuh 4,22 km.

Tabel 4. Emisi dari Aktivitas Transportasi ke dan dari Kantor

TRANSPORTASI KE DAN DARI KANTOR						
Jabatan	Mobil	Motor	Rata-rata Jarak Perjalanan (km)	Rata-rata Frekuensi Perjalanan Harian (kali/hari)	Emisi yang Dihasilkan ($kgCO_2$/hari/orang)	Emisi yang Dihasilkan ($tonCO_2$/tahun/orang)
	Jumlah Pengguna	Jumlah Pengguna				
Managerial (SM, *Suptend, AsstMan*)	1,00	0,00	1,00	4,00	0,98	257,66
Pengawas (Sr Spv, Spv)	2,00	2,00	0,68	4,00	1,68	442,22
Analis/Staf (*Analyst, Engineer, Officer*)	6,00	13,00	2,00	4,00	18,60	4.909,56

TRANSPORTASI KE DAN DARI KANTOR						
Jabatan	**Mobil**	**Motor**	**Rata-rata Jarak Perjalanan (km)**	**Rata-rata Frekuensi Perjalanan Harian (kali/hari)**	**Emisi yang Dihasilkan ($kgCO_2$/hari/orang)**	**Emisi yang Dihasilkan ($tonCO_2$/tahun/orang)**
	Jumlah Pengguna	**Jumlah Pengguna**				
Teknisi/Operator (*Technician, Opr*)	6,00	30,00	4,22	2,00	29,09	7.679,87
Helper (Admin, *Office Boy, Carpenter*)	0,00	25,00	5,48	4,00	36,28	9.577,29
Total	**15,00**	**70,00**	**13,37**	**18,00**	**86,62**	**22.866,59**

Sumber: Data Perhitungan, 2025
*) 1 bulan dihitung sebagai 22 hari kerja

(2) Aktivitas Transportasi Perjalanan Dinas

Aktivitas perjalanan dinas melibatkan perjalanan keluar kota atau antar kota untuk keperluan pekerjaan. Perjalanan ini biasanya menggunakan kendaraan perusahaan atau kendaraan pribadi yang disewa.

Tabel 5. Emisi dari Aktivitas Perjalanan Dinas (Perjalanan Luar Kota menggunakan Mobil)

Jabatan	**Perjalanan Luar Kota (Mobil)**		
	Jumlah Pengguna	**Jarak Perjalanan (km/hari)**	**Emisi Mobil yang Dihasilkan ($kgCO_2$/hari/orang)**
Managerial (SM, *Suptend, AsstMan*)	0,00	121,00	0,00
Pengawas (Sr Spv, Spv)	2,00	121,00	122,84
Analis/Staf (*Analyst, Engineer, Officer*)	12,00	121,00	737,04
Teknisi/Operator (*Technician, Opr*)	57,00	121,00	3.500,92
Helper (Admin, *Office Boy, Carpenter*)	24,00	121,00	1.474,07
Total	**95,00**	**605,00**	**5.834,86**

Sumber: Data Perhitungan, 2025

Tabel 6. Emisi dari Aktivitas Perjalanan Dinas (Perjalanan Luar Provinsi menggunakan Mobil-Pesawat)

Jabatan	**Perjalanan Luar Provinsi (Mobil - Pesawat)**				
	Jumlah Pengguna	**Jarak Perjalanan (km/hari)**	**Jumlah Pengguna**	**Jarak Perjalanan (km/hari)**	**Emisi Mobil - Pesawat yang Dihasilkan ($kgCO_2$/hari/orang)**
Managerial (SM, *Suptend, AsstMan*)	1,00	121,00	1,00	1.257,00	290,19
Pengawas (Sr Spv, Spv)	2,00	121,00	2,00	1.257,00	580,39
Analis/Staf (*Analyst, Engineer, Officer*)	11,00	121,00	11,00	1.257,00	3.192,13
Teknisi/Operator (*Technician, Opr*)	5,00	121,00	5,00	1.257,00	1.450,97
Helper (Admin, *Office Boy, Carpenter*)	6,00	121,00	6,00	1.257,00	1.741,16
Total	**25,00**	**605,00**	**25,00**	**6.285,00**	**7.254,84**

Sumber: Data Perhitungan, 2025

Tabel 7. Emisi dari Aktivitas Perjalanan Dinas Total

Jabatan	**Rata-rata Frekuensi Perjalanan Dinas (kali/bulan)**	**Emisi yang Dihasilkan ($kgCO_2$/hari/orang)**	**Emisi yang Dihasilkan ($kgCO_2$/bulan/orang)**	**Emisi yang Dihasilkan ($kgCO_2$/tahun/orang)**	**Emisi yang Dihasilkan ($tonCO_2$/tahun/orang)**
Managerial (SM, *Suptend, AsstMan*)	2,00	290,19	580,39	6.964,65	6,96
Pengawas (Sr Spv, Spv)	3,00	703,23	2.109,68	25.316,15	25,32

Jabatan	Rata-rata Frekuensi Perjalanan Dinas (kali/bulan)	Emisi yang Dihasilkan ($kgCO_2$/hari/orang)	Emisi yang Dihasilkan ($kgCO_2$/bulan/orang)	Emisi yang Dihasilkan ($kgCO_2$/tahun/orang)	Emisi yang Dihasilkan ($tonCO_2$/tahun/orang)
Analis/Staf (*Analyst, Engineer, Officer*)	2,00	3.929,16	7.858,33	94.299,96	94,30
Teknisi/Operator (*Technician, Opr*)	1,00	4.951,89	4.951,89	59.422,62	59,42
Helper (Admin, *Office Boy, Carpenter*)	1,00	3.215,23	3.215,23	38.582,78	38,58
Total	**9,00**	**13.089,70**	**18.715,51**	**224.586,16**	**224,59**

Jabatan Analis/Staf menunjukkan kontribusi emisi tertinggi dalam perjalanan dinas karena sering melakukan perjalanan ke luar provinsi menggunakan pesawat domestik dalam 1 bulan. Sedangkan pada Jabatan Teknisi/Operator juga memiliki kontribusi emisi tinggi karena memiliki jumlah pengguna terbanyak dalam melakukan perjalanan dinas antar kota di dalam provinsi.

(3) Aktivitas Transportasi Inspeksi Lapangan

Aktivitas inspeksi lapangan melibatkan perjalanan ke lokasi-lokasi operasional untuk melakukan pemeriksaan atau inspeksi rutin.

Tabel 8. Emisi dari Aktivitas Inspeksi Lapangan

Jabatan	Mobil *Double Cabin*	Motor *Trail*	Rata-rata Jarak Tempuh Inspeksi (km)	Emisi yang Dihasilkan ($kgCO_2$/hari/orang)	Emisi yang Dihasilkan ($kgCO_2$/bulan/orang*)	Emisi yang Dihasilkan ($tonCO_2$/tahun/orang)
	Jumlah Pengguna	Jumlah Pengguna				
Managerial (SM, *Suptend, AsstMan*)	1,00	0,00	30,00	9,30	204,60	2,46
Pengawas (Sr Spv, Spv)	3,00	0,00	10,75	10,00	219,95	2,64
Analis/Staf (*Analyst, Engineer, Officer*)	3,00	1,00	2,39	2,37	52,04	0,62
Teknisi/Operator (*Technician, Opr*)	15,00	43,00	16,95	122,33	2.691,26	32,30
Helper (Admin, *Office Boy, Carpenter*)	12,00	0,00	9,00	33,48	736,56	8,84
Total	**34,00**	**44,00**	**69,09**	**177,47**	**3.904,40**	**46,85**

Sumber: Data Perhitungan, 2025

*) 1 bulan dihitung sebagai 22 hari kerja

Jabatan Teknisi/Operator dan Helper memiliki emisi terbesar dari aktivitas inspeksi lapangan karena sering melakukan perjalanan ke lokasi-lokasi operasional dengan kendaraan operasional perusahaan. Managerial dan Pengawas juga memiliki kontribusi emisi yang signifikan, tetapi lebih sedikit dikarenakan lebih banyak pekerjaan kantor seperti kegiatan rapat serta kegiatan membuat dan meninjau laporan.

(4) Rekap Total Emisi Masing-masing Jabatan

Tabel 9 menunjukkan bahwa jejak karbon individu karyawan di Migas EP Kalimantan Timur mencapai 294,31 ton CO_2 per tahun yang dihitung berdasarkan rata-rata emisi per individu yang diperoleh berdasarkan sampel yang diambil dari lima strata jabatan di perusahaan, dengan kontribusi terbesar berasal dari transportasi perjalanan dinas (224,59 $tonCO_2$/tahun) dan kontribusi terendah oleh penggunaan energi perangkat elektronik ($3{,}76\times 10^{-1}$ $tonCO_2$/tahun).

Tabel 9. Rekap Rata-rata Emisi Masing-masing Jabatan ($tonCO_2$/tahun)

Jabatan	Rata-rata Emisi per Orang ($kgCO_2$/hari)	Rata-rata Emisi per Orang ($kgCO_2$/bulan)	Rata-rata Emisi per Orang ($kgCO_2$/tahun)	Rata-rata Emisi per Orang ($tonCO_2$/tahun)
Managerial (SM, *Suptend, AsstMan*)	300,47	806,47	9.677,61	9,68
Pengawas (Sr Spv, Spv)	714,90	2.366,57	28.398,86	28,40
Analis/Staf (*Analyst, Engineer, Officer*)	3.950,13	8.319,58	99.834,92	99,83

Jabatan	Rata-rata Emisi per Orang ($kgCO_2$/hari)	Rata-rata Emisi per Orang ($kgCO_2$/bulan)	Rata-rata Emisi per Orang ($kgCO_2$/tahun)	Rata-rata Emisi per Orang ($tonCO_2$/tahun)
Teknisi/Operator (*Technician, Opr*)	5.103,31	8.283,20	99.398,43	99,40
Helper (Admin, *Office Boy, Carpenter*)	3.284,99	4.749,96	56.999,50	57,00
Total	**13.353,80**	**24.525,78**	**294.309,31**	**294,31**

Sumber: Data Perhitungan, 2025
*) 1 bulan dihitung sebagai 22 hari kerja

Dibandingkan dengan penelitian serupa, seperti yang dilakukan oleh Santoso (2017) di sektor pemerintahan Jakarta, yang menunjukkan jejak karbon individu hanya sekitar 3–5 ton CO_2 per orang per tahun, emisi di sektor migas jauh lebih tinggi, terutama karena intensitas perjalanan dinas dan inspeksi lapangan menggunakan kendaraan yang lebih *double cabin* dan motor *trail* dengan jarak tempuh rata-rata 13,82 km dari semua strata jabatan.

Proyeksi Emisi Karbon

(1) Perhitungan *Forecasting* untuk Tahun 2030

$$CAGR = \left(\frac{Nilai\ Akhir}{Nilai\ Awal}\right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

$$Nilai\ Akhir = Nilai\ Awal\ \times (1 + CAGR)^n$$

$$Nilai\ Akhir = 294.309{,}31 \frac{kgCO_2}{tahun} \times (1 + 0{,}02)^5$$

$$Nilai\ Akhir = 324.941{,}26 \frac{kgCO_2}{tahun}$$

$$Persentase\ Peningkatan = \frac{Nilai\ Proyeksi\ - Nilai\ Awal}{Nilai\ Awal} \times 100$$

$$\%Peningkatan\ (2030) = \frac{324.941{,}26\ - 294.309{,}31}{294.309{,}31} \times 100$$

$$\%Peningkatan\ (2030) = 10{,}41\%$$

(2) Perhitungan *Forecasting* untuk Tahun 2060

$$CAGR = \left(\frac{Nilai\ Akhir}{Nilai\ Awal}\right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

$$Nilai\ Akhir = Nilai\ Awal\ \times (1 + CAGR)^n$$

$$Nilai\ Akhir = 294.309{,}31 \frac{kgCO_2}{tahun} \times (1 + 0{,}02)^{35}$$

$$Nilai\ Akhir = 588.586{,}12 \frac{kgCO_2}{tahun}$$

$$Persentase\ Peningkatan = \frac{Nilai\ Proyeksi\ - Nilai\ Awal}{Nilai\ Awal} \times 100$$

$$\%Peningkatan\ (2060) = \frac{588.586{,}12 - 294.309{,}31}{294.309{,}31} \times 100$$

$$\%Peningkatan\ (2060) = 99{,}99\%$$

Berdasarkan data yang diperoleh, proyeksi emisi karbon individu karyawan di Migas EP Kalimantan Timur menunjukkan peningkatan signifikan dalam 5–10 tahun ke depan jika tidak ada langkah mitigasi yang lebih efektif. Proyeksi menggunakan CAGR (*Compound Annual Growth Rate*) menunjukkan bahwa emisi karbon akan meningkat sekitar 10,41% pada 2030 dan 99,99% pada 2060. Untuk mengatasi hal ini, strategi mitigasi yang dapat ditempuh meliputi dekarbonisasi konsumsi energi melalui elektrifikasi transportasi dan penggunaan energi terbarukan, pengembangan program literasi karbon untuk meningkatkan kesadaran pengurangan jejak karbon dan menghitung dengan dukungan alat seperti carbon calculator, serta kebijakan insentif dan disinsentif seperti subsidi kendaraan listrik dan tarif tinggi bagi konsumsi energi fosil (Pertamina Hulu Energi, 2025).

3.2. Aspek Ekonomi: Valuasi Ekonomi Jejak Karbon

Berdasarkan kondisi wilayah Kalimanan Timur yang memiliki iklim tropis basah. Maka, dapat ditentukan pemilihan jenis pohon yang sesuai untuk kondisi tersebut dengan mempertimbangkan daya serapan karbon untuk masing-masing pohon. Trees4Treess (2024) menjelaskan beberapa rekomendasi jenis pohon yang memiliki nilai serapan karbon cukup tinggi dengan umur >10 tahun dan sesuai dengan kondisi lingkungan wilayah Kalimantan Timur.

Pada Metode RCM juga dilakukan pendekatan untuk menghitung biaya yang mencakup biaya pembelian bibit pohon, tenaga kerja untuk penanaman, pemeliharaan tahunan (penyiraman, pemupukan, perlindungan hama), serta biaya transportasi dan peralatan. Biaya penggantian ini dihitung dengan mempertimbangkan kondisi lokal di Kalimantan Timur, di mana asumsi-asumsi tertentu seperti harga bibit dan biaya tenaga kerja digunakan untuk menghitung total biaya yang diperlukan untuk mencapai serapan karbon optimal.

Tabel 10. Rekomendasi Pemilihan Jenis Pohon dan Kemampuan Penyerapan Emisi per Tahun

Jenis Pohon	Bobot Jenis Pohon (%)	Jumlah Pohon	Jumlah Pohon (Pembulatan)	Total Emisi yang Diserap ($kgCO_2$/tahun)	Alasan Pemilihan
Trembesi	40%	4,13	4	117.723,72	Serapan karbon tinggi, pertumbuhan cepat, pemulihan tanah cepat.
Akasia	30%	1.878,57	1.879	88.292,79	Pertumbuhan cepat, memperbaiki struktur tanah dan kesuburan tanah.
Ulin	10%	654,02	654	29.430,93	Pertumbuhan lambat, penting untuk konservasi hutan tropis Kalimantan.
Durian Kutejensis	15%	1.471,55	1.472	44.146,40	Manfaat ganda: penyerap karbon dan hasil buah bernilai ekonomi tinggi, cocok untuk agroforestry.
Mangrove	5%	294,31	294	14.715,47	Efisien menyerap karbon, melindungi pesisir, dan mendukung ekosistem pesisir.
Total	**100%**	**4.302,58**	**4.303**	**294.309,31**	

Tabel 11. Total Biaya Penggantian dengan RCM

Jenis Pohon	Jumlah Pohon	Biaya Bibit	Biaya Tenaga Kerja	Biaya Pemeliharaan	Biaya Lain-lain	Total Biaya Penggantian
		(Rp/pohon)	(Rp/pohon)	(Rp/pohon)	(Rp/pohon)	(Rp/tahun)
Trembesi	4	3.344.000	25.000	25.000	15.000	Rp 14.081.410
Akasia	1.879	550.000	25.000	25.000	15.000	Rp 1.155.320.596
Ulin	654	308.000	25.000	25.000	15.000	Rp 243.949.718
Durian Kutejensis	1.472	250.000	25.000	25.000	15.000	Rp 463.537.166
Mangrove	294	22.500	25.000	25.000	15.000	Rp 25.752.065
Total	**4.303**					**Rp 1.902.640.954**

Sumber: Data Perhitungan, 2025

Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi karbon individu di Migas EP Kalimantan Timur sangat dipengaruhi oleh aktivitas transportasi, dengan total emisi tahunan mencapai 294,31 tonCO_2. Biaya mitigasi yang dibutuhkan untuk mengimbangi emisi karbon individu, yang dihitung menggunakan RCM, diperkirakan sebesar Rp 1.902.640.954 per tahun. Namun, berdasarkan harga perdagangan karbon domestik yang berlaku sebesar Rp 96.000 per ton (Bursa Karbon Indonesia, 2025), biaya offset karbon yang diperlukan untuk mengimbangi 294,31 tonCO_2 hanya sekitar Rp 28.253.693,92 per tahun, yang menunjukkan adanya perbedaan signifikan dalam biaya mitigasi karbon antara metode RCM dan harga pasar. Perbedaan ini mencerminkan perhitungan yang lebih komprehensif dalam RCM, yang mencakup biaya penuh proyek penanaman pohon, sementara harga pasar karbon lebih murah karena hanya menghitung biaya transaksi karbon namun dapat mengurangi biaya mitigasi secara substansial dibandingkan dengan biaya estimasi yang lebih tinggi berdasarkan metode RCM.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian, menunjukkan:

a) **Perhitungan Jejak Karbon**: Aktivitas karyawan di Migas EP Kalimantan Timur menghasilkan total emisi tahunan sebesar 294,31 tonCO_2/tahun yang dihitung berdasarkan rata-rata emisi per individu dan perhitungan tersebut berlaku untuk total 796 karyawan. Kontribusi terbesar berasal dari transportasi

perjalanan dinas sebesar 224,59 tonCO_2/tahun atau 76,31% dari total emisi jejak karbon yang dihasilkan, sementara penggunaan perangkat elektronik menyumbang emisi sebesar $3{,}76\times 10^{-3}$ tonCO_2 per tahun.

b) **Dampak Ekonomi**: Berdasarkan *Replacement Cost Method* (RCM), biaya mitigasi untuk penyerapan emisi karbon individu diperkirakan sebesar Rp 1.902.568.000 per tahun untuk penanaman pohon. Namun, jika menggunakan harga perdagangan karbon, biaya mitigasi yang diperlukan sekitar Rp 28.253.693,92 per tahun, jauh lebih rendah dibandingkan dengan biaya estimasi berdasarkan RCM. Perbedaan signifikan ini menunjukkan bahwa penggunaan harga karbon pasar dapat mengurangi biaya mitigasi secara substansial.

DAFTAR PUSTAKA

Astari, R. G. (2012). Studi Jejak Karbon Dari Aktivitas Permukiman Di Kecamatan Pademangan Kotamadya Jakarta Utara. Depok: Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Indonesia.

Britannica. (2024). Carbon Footprint: Definition, Examples, Calculation, Effects & Facts.

Bursa Karbon Indonesia. (2025). Perdagangan Karbon Internasional Indonesia di IDXCarbon: Harga Penutupan dan Volume Transaksi. PT Bursa Efek Indonesia.

Boell Foundation (Heinrich- Böll- Stiftung). (2023). Annual Report 2023. Heinrich- Böll- Stiftung e.V.

Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2008). Time Series Analysis: Forecasting and Control. Wiley.

CDP. (2017). The Carbon Majors Database: CDP Carbon Majors Report 2017. CDP. Diambil November 14, 2025, dari https://www.cdp.net.

Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi. (2006). SK Dirjen Migas No. 3674 K/24/DJM/2006 tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin 90 yang Dipasarkan di Dalam Negeri.

Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi. (2017). SK Dirjen Migas No. 0486.K/10/DJM.S/2017 tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin 90 yang Dipasarkan di Dalam Negeri.

Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi. (2023). Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi No. 447.K/MG.06/DJM/2023 tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Solar yang Dipasarkan di Dalam Negeri.

Dixon, J. A., & Hufschmidt, M. M. (Eds.). (1986). Economic Valuation Techniques for the Environment: A Case Study Workbook. Johns Hopkins University Press.

Environmental Protection Agency (EPA). (2019). Overview of Greenhouse Gases.

Greenly. (2024). Carbon Footprint: Everything You Need to Know.

International Energy Agency (IEA). (2024). Emissions from Oil and Gas Operations in Net Zero Transitions.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). Sixth Assessment Report: Climate Change 2021.

Investopedia. (2021). Compound annual growth rate (CAGR). Investopedia. https://www.investopedia.com/terms/c/cagr.asp

Kementerian ESDM RI. (2022). Enhanced Nationally Determined Contribution (NDC) Indonesia.

Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2010). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2010 tentang Pedoman Perhitungan Beban Pencemar dari Sumber Transportasi.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia (KLHK). (2022). Sosialisasi Tata Cara Perdagangan Karbon Sektor Kehutanan.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia (KLHK). (2023). Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Tahun 2023. Jakarta: KLHK.

Migas ESDM RI. (2021). COP ke-26: Komitmen Indonesia Capai Net Zero Emission.

Our World in Data. (n.d.). CO_2 emissions per capita. Our World in Data. Diambil November 14, 2025, dari https://ourworldindata.org/grapher/co-emissions-per-capita?country=~IDN.

Pemerintah Republik Indonesia. (2011). Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK). Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.

Pertamina Hulu Energi. (2023). Explore the Potential for a Sustainable Future (ESG Booklet). Pertamina.

Pertamina Hulu Energi. (2025). Sustainability Challenge 18 ACTS Group. Pertamina.

Santoso, A. D. (2017). Jejak Karbon Individu Pegawai di Instansi Pemerintah: Studi Kasus Pegawai Pemerintahan di Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan. Jurnal Teknologi Lingkungan, 18(2), 233-240.

Sonhaji, I. (2022). Perhitungan Carbon Emissions Pesawat Berukuran Sedang Rute Bandara Internasional Surabaya ke Bandara Internasional Soekarno Hatta Jakarta. Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik, 9(1), 1–10

Trees4Trees. (2024). Trees That Absorb the Most Carbon Dioxide.
YKAN – Yayasan Konservasi Alam Nusantara. (2022). Reforestation Opportunities in Indonesia: Mitigating Climate Change through Native Species.