

Analisis Kualitas Udara CO₂ di Permukiman Sekitar Pertambangan PT Vale Kabupaten Luwu Timur

Alfriska Rante^{1*}, Herawaty Riogilang², Hendra Riogilang³

¹⁻³ Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Sam Ratulangi, Manado; Jl. Kampus UNSRAT Bahu, Malalayang Satu Barat, Kecamatan Malalayang, Kota Manado, Sulawesi Utara, Indonesia. 95115

*Penulis Korespondensi: alfriskarante31@gmail.com

Abstract. This research aims to analyze air quality, particularly the concentration level of carbon dioxide (CO₂) in residential areas located around the nickel mining site of PT Vale in East Luwu Regency, covering Towuti, Nuha, and Wasuponda. The focus of this study is related to the impacts of urbanization and increased transportation activities that contribute to global warming. The research methods include calculating carbon dioxide (CO₂) emissions originating from transportation activities, human respiration, livestock, and LPG fuel consumption. Additionally, an analysis of the CO₂ absorption capacity by existing vegetation is also conducted. Primary data were obtained through traffic counting surveys and vegetation surveys, while secondary data were collected from the Central Statistics Agency (BPS) and relevant agencies. The research results show that the total CO₂ emissions in the residential area around the PT Vale mining site in East Luwu Regency are 67,351.38 tons/year. The existing vegetation can only absorb 5,814.05 tons per year or about 21% of the total emissions. The projected CO₂ emissions until 2049 show a significant increase, making emissions from transportation the largest contributor, with a total projected CO₂ emission of 2,123,067 tons per year. Therefore, additional planning for Green Open Spaces (RTH) is needed, with the planting of mango and trembesi trees, as well as the implementation of Roof Gardens to optimize CO₂ absorption.

Keywords: Air quality; CO₂ emissions; Green Open Space; Mining PT Vale; Settlement.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas udara, terutama tingkat konsentrasi karbon dioksida (CO₂), di daerah permukiman yang terletak di sekitar lokasi pertambangan nikel PT Vale di Kabupaten Luwu Timur, mencakupi Towuti, Nuha dan Wasuponda. Fokus dari penelitian ini berkaitan dengan dampak urbanisasi dan peningkatan aktivitas transportasi yang berkontribusi pada terjadinya pemanasan global. Metode penelitian mencakup perhitungan emisi karbon dioksida (CO₂), yang berasal dari kegiatan transportasi, respirasi manusia, hewan ternak, dan konsumsi bahan bakar LPG. Selain itu, analisis kapasitas penyerapan CO₂ oleh vegetasi eksisting juga dilakukan. Data primer diperoleh melalui survei traffic counting dan survei vegetasi, sedangkan data sekunder dikumpulkan dari Badan Pusat Statistik (BPS) serta instansi terkait. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total emisi CO₂ di area permukiman sekitar pertambangan PT Vale Kabupaten Luwu Timur adalah 67.351,38 ton/tahun. Vegetasi eksisting hanya mampu menyerap 5.814,05 ton/tahun atau sekitar 21% dari total emisi. Proyeksi emisi CO₂ hingga tahun 2049 menunjukkan peningkatan yang besar yang menjadikan emisi dari transportasi penyumbang emisi terbesar, dengan total proyeksi emisi CO₂ mencapai 2.123.067 ton/tahun. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) tambahan, dengan penanaman pohon mangga dan trembesi, serta penerapan Roof Garden untuk optimasi penyerapan CO₂.

Kata Kunci : Emisi CO₂; Permukiman; Pertambangan PT Vale; Kualitas Udara; Ruang Terbuka Hijau.

1. LATAR BELAKANG

Udara memiliki peran yang sangat penting dalam kelangsungan hidup manusia. Akan tetapi, seiring dengan kemajuan pembangunan kota, industri, dan sektor transportasi di era modern, kualitas udara semakin terpengaruh oleh adanya polusi udara.

Udara dapat tercemar oleh berbagai polutan yang berasal dari aktivitas manusia maupun proses alamiah, seperti emisi kendaraan, industri, pembakaran bahan bakar fosil

Diterima: Juli 20, 2025
Direvisi: Agustus 18, 2025
Diterima: Agustus 25, 2025
Diterbitkan: September 08, 2025
Versi sekarang: September 22, 2025



Hak cipta: © 2025 oleh penulis. Diserahkan untuk kemungkinan publikasi akses terbuka berdasarkan syarat dan ketentuan lisensi Creative Commons Attribution (CC BY SA) (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

dan aktivitas rumah tangga. Pencemaran udara menjadi masalah besar yang mempengaruhi kesehatan manusia, lingkungan serta kualitas hidup secara keseluruhan.

Kendaraan bermotor menghasilkan berbagai jenis gas buang, dengan CO₂ menjadi polutan utama. Kendaraan bermotor merupakan faktor penyumbang polusi udara yang berperan tinggi, dan peningkatan jumlah kendaraan akan mendorong peningkatan CO₂ (Sudarti et al., 2022).

Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor sejalan dengan peningkatan CO₂. Penelitian lain menunjukkan bahwa emisi CO₂ menyumbang 94% dari total emisi gas rumah kaca, dengan kendaraan bermotor sebagai salah satu penyumbang utama (Suryandaru et al., 2024).

Mengingat perkembangan transportasi yang begitu cepat dan pesat, maka keberadaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) sangat diperlukan dalam menyerap emisi CO₂. Keberadaan RTH diharapkan mampu meminimalisasi permasalahan lingkungan terutama pencemaran udara dan mutu lingkungan yang lebih baik.

2. KAJIAN TEORITIS

Emisi CO₂ kegiatan transportasi

Tabel 1. Faktor Emisi Jenis Bahan Bakar dari Kendaraan

Tipe Kendaraan/Bahan Bakar	Faktor Emisi CO ₂ (gram/L)
Bensin	
Kendaraan Penumpang	2.597,86
Kendaraan Niaga Besar	2.597,86
Sepeda Motor	2.597,86
Diesel	
Kendaraan penumpang	2.924,9
Kendaraan Niaga kecil	2.924,9
Kendaraan Niaga Besar	2.924,9
Lokomotif	2.924,9

Sumber : (IPCC,2006)

Tabel 2. Konsumsi Energi Spesifik Kendaraan Bermotor

No	Jenis Kendaraan	Konsumsi Energi Spesifik (L/100 km)
1	Mobil Penumpang	
	- Bensin	11,79
	- Diesel/Solar	11,36
2	Bus Besar	
	- Bensin	23,15
	- Diesel/solar	16,89
3	Bus sedang	13,04
4	Bus Kecil	
	- Bensin	11,35
	- Diesel/solar	11,83
5	Bemo, Bajaj	10,99
6	Taksi	
	- Bensin	10,88
	- Diesel/solar	6,25
7	Truk besar	15,82
8	Truk Sedang	15,15
9	Truk kecil	
	- Bensin	8,11
	- Diesel/solar	10,64
10	Sepeda Motor	2,66

Sumber: (Maytantri, 2020)

Emisi CO₂ kegiatan Permukiman

Tabel 3. Nilai NCV dan FE untuk LPG

Bahan Bakar	NCV (MJ/kg)	Faktor Emisi (g/CO ₂ /MJ)
LPG	47,3	63,1

Sumber : (IPCC,2006)

Tabel 4. Faktor Emisi Hewan Ternak

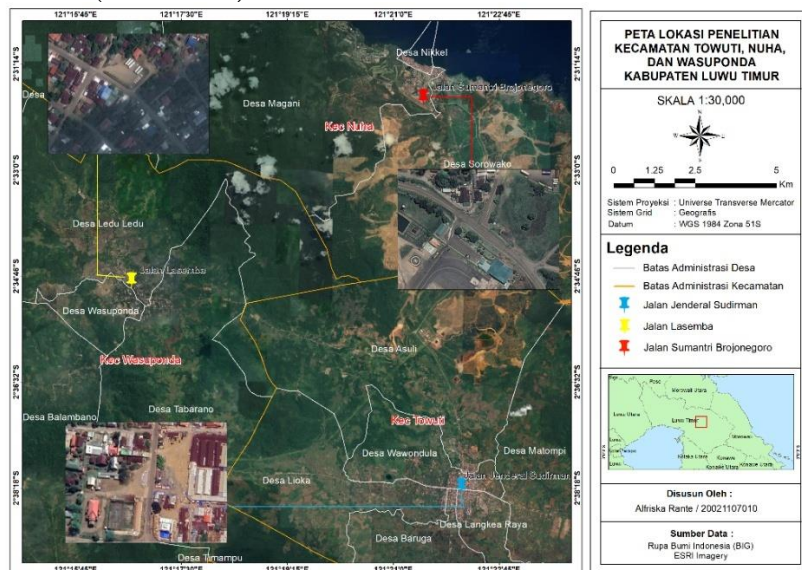
Jenis Ternak	Faktor Emisi (kg CO ₂ /hari.ekor)
Sapi dan Kerbau	1,702
Kambing dan Domba	0,314
Unggas	0,167

Sumber : (Maytantri, 2020)

3. METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di permukiman sekitar pertambangan PT Vale, Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan, mencakup Kecamatan Towuti, Nuha, dan Wasuponda. Pengumpulan data dilakukan selama tiga hari di tiap lokasi pada jam puncak pagi (06.30–07.30) dan sore (15.30–16.30).



Gambar 1. Lokasi penelitian

Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini bersifat kuantitatif deskriptif, menggunakan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi volume dan jenis kendaraan serta vegetasi di lokasi menggunakan aplikasi traffic counter. Data sekunder diperoleh dari Badan Pusat Statistik dan dokumen instansional terkait jumlah penduduk, rumah tangga, dan hewan ternak di tiap kecamatan.

Analisis Data

Analisis dimulai dengan perhitungan emisi CO₂ dari transportasi dan permukiman, termasuk respirasi manusia dan hewan ternak, kemudian menghitung total emisi. Selanjutnya, dilakukan penilaian daya serap vegetasi terhadap CO₂ dan kecukupan RTH eksisting. Proyeksi emisi CO₂ masa depan dihitung menggunakan metode aritmatik dan geometri untuk menentukan kebutuhan RTH tambahan jika diperlukan.

Perencanaan dan Pemeliharaan RTH

Perencanaan RTH didasarkan pada hasil daya serap CO₂ vegetasi eksisting. Jika kapasitas RTH tidak mencukupi, disusun alternatif penambahan RTH. Pemeliharaan RTH dilakukan sesuai SOP, meliputi penyiraman, pemupukan, dan pemangkasan, dengan mengacu pada peraturan perundang-undangan yang berlaku.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Emisi CO₂

Emisi CO₂ Kegiatan Transportasi

Emisi transportasi di permukiman sekitar pertambangan Luwu Timur menjadi penyumbang utama pencemaran udara akibat tingginya jumlah kendaraan bermotor. Data kendaraan diperoleh dari survei jam puncak dan dikonversi ke satuan mobil penumpang (smp), misalnya sepeda motor 924 kendaraan/jam menjadi 231 smp/jam, mobil 362 tetap 362 smp/jam, sedangkan truk dan bus dikonversi dengan faktor 1,2. Emisi CO₂ dihitung berdasarkan smp/jam, faktor emisi, dan konsumsi bahan bakar, dengan hasil terbesar di Jalan Sumantri Brojonegoro (211,75 kg/jam.km). Emisi tiap kecamatan dihitung dengan mengalikan emisi jalan dengan panjang jalan, contohnya Jalan Jenderal Sudirman di Towuti menghasilkan 23,21 kg/jam atau 16,94 ton/bulan.

Perhitungan emisi CO₂ transportasi :

$$Q = n \times FE \times K \times L$$

Keterangan :

Q = Jumlah emisi (g/jam)

n = Jumlah kendaraan setelah dikonversi (smp/jam)

FE = faktor emisi (g/liter)

K = Konsumsi bahan bakar (liter/100 km)

Tabel 5. Jumlah Kendaraan rata-rata per jam

Waktu Penelitian	Nama Jalan	Jumlah kendaraan
Senin, 02 September 2024	Jalan Jenderal Sudirman	1299
Selasa, 03 September 2024	Jalan Sumantri Brojonegoro	1439
Rabu, 04 September 2024	Jalan Lasemba	953

Sumber : (Data Primer, 2024)

Tabel 5. Emisi CO₂ dari Kegiatan Transportasi

Kecamatan	Nama Jalan	Emisi CO ₂ (ton/tahun)
Towuti	Jalan Jenderal Sudirman	203,279
Nuha	Jalan Sumantri Brojonegoro	463,559
Wasuponda	Jalan Lasemba	362,279
Jumlah		1.029,117

Sumber: (Perhitungan, 2024)

Berdasarkan hasil perhitungan yang ada pada tabel di atas, jumlah emisi CO₂ dari hasil kegiatan transportasi menunjukkan bahwa daerah yang menghasilkan emisi CO₂ terbesar adalah kecamatan Nuha, yaitu 463,559 ton/tahun. Hal ini dipengaruhi kecamatan Nuha menjadi pusat aktivitas manusia sehingga banyak dilintasi kendaraan.

Emisi CO₂ Kegiatan Permukiman

Emisi CO₂ permukiman di Luwu Timur berasal dari respirasi manusia, respirasi hewan ternak, dan penggunaan LPG rumah tangga. Besarnya emisi tiap kecamatan berbeda tergantung jumlah penduduk, ternak, dan luas wilayah permukiman di sekitar kawasan pertambangan.

- Perhitungan emisi CO₂ dari bahan bakar:

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{FE} \times \text{Konsumsi bahan bakar} \times \text{NCV}$$

Keterangan :

Konsumsi bahan bakar = jumlah bahan bakar yang dikonsumsi (kg/bulan)

FE = faktor emisi CO₂ bahan bakar (g CO₂/MJ)

Net Calorific Value (NCV) = Energi content per unit massa/ volume bahan bakar (MJ/Kg)

- Perhitungan emisi CO₂ dari respirasi manusia dan hewan :

$$\text{Emisi CO}_2 = n \times \text{FE}$$

Keterangan :

Emisi CO₂ = Jumlah emisi CO₂ yang dihasilkan (satuan massa)

n = Jumlah penduduk/Jumlah hewan ternak (ekor)

FE = Faktor emisi (3,2 kgCO₂/jiwa.hari)/faktor emisi (kg CO₂/ekor.hari)

Tabel 6. Emisi CO₂ dari kegiatan permukiman per kecamatan

Kecamatan	Emisi CO ₂	Emisi CO ₂	Emisi CO ₂
	LPG (ton/tahun)	Respirasi Manusia (ton/tahun)	Respirasi Hewan Ternak (ton/tahun)
Towuti	880,32	19.066,43	2.779,42
Nuha	1.279,53	25.692,50	2.246,58
Wasuponda	528,26	12.057,26	2.043,97

Sumber : (Perhitungan, 2024)

Total Emisi CO₂

Perhitungan total emisi CO₂ diperoleh dari penjumlahan emisi CO₂ yang dihasilkan dari kegiatan transportasi, permukiman dan industri di kabupaten Luwu Timur yang dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 7. Total Emisi CO₂

Kecamatan	Total emisi CO ₂ (ton/tahun)
Towuti	22.929,45
Nuha	29.430,16
Wasuponda	14.991,77
Jumlah	67.351,38

Sumber : (Perhitungan,2024)

Ruang Terbuka Hijau

Daya Serap CO2 Menurut Jenis Pohon

Tabel 8. Pohon yang terdapat di lokasi

1. Kecamatan Towuti

Jenis Pohon	Nama Ilmiah	Jumlah	Jumlah Daya Serap CO ₂ (ton/tahun)
Pohon Kelapa	<i>Cocos Nucifera L</i>	56	17,92
Pohon Rambutan	<i>Nepbelium lappaceum</i>	72	0,15768
Pohon Mangga	<i>Mangifera Indica</i>	118	53,71
Pohon Palembang	<i>Arecaceae</i>	36	0,014
Pohon Karsen	<i>Muntingia Calabura</i>	45	7,884
Pohon Nangka	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	12	1,518
Pohon Pepaya	<i>Carica Papaya</i>	7	0,01015
Pohon Johar	<i>Senna siamea</i>	8	0,93
Pohon Pinus	<i>Pinus</i>	31	0,839
Pohon Ketapang	<i>Terminalia Catappa</i>	12	0,3714
Tanaman perdu	<i>Syzygium oleana</i>	9	1,11483
Pohon Kamboja	<i>Plumeria rubra</i>	3	0,132
Pohon Mahoni	<i>Swietenia mahagoni</i>	4	1,18292
Pohon Trembesi	<i>Samanea Saman</i>	17	484,30263
Pohon Alpukat	<i>Persea Americana</i>	3	0,1296
Pohon Pinang	<i>Areca catechu</i>	9	1,01646
Jumlah		442	571

2. Kecamatan Nuha

Jenis Pohon	Nama Ilmiah	Jumlah	Jumlah Daya Serap CO ₂ (ton/tahun)
Ketapang	<i>Terninalia mantaly</i>	80	19,96
Kencana			
Pohon Trembesi	<i>Samanea Saman</i>	172	4900,00308
Pohon kelapa	<i>Cocos Nucifera L</i>	54	17,28
Pohon pinus	<i>Pinus</i>	151	4,08908
Pohon mangga	<i>Mangifera Indica</i>	146	66,45482
Pohon glodokan	<i>Polyalthia longifolia</i>	46	46,75532
Pohon Alpukat	<i>Persea Americana</i>	3	0,1296
Pohon Tabebuia	<i>Tabebuia rosea</i>	14	1,484
Pohon Ketapang	<i>Terminalia Catappa</i>	14	0,4333
Pohon Karsen	<i>Muntingia Calabura</i>	10	1,752
Pohon Johar	<i>Senna siamea</i>	7	0,81375
Pohon Pinang	<i>Areca catechu</i>	18	2,03292

Pohon Saputangan	<i>Maniltoa grandiflora</i>	12	0,09912
Jumlah		727	5.058,29

3. Kecamatan Wasuponda

Jenis Pohon	Nama Ilmiah	Jumlah	Jumlah Daya Serap CO ₂ (ton/tahun)
Pohon Kelapa	<i>Cocos Nucifera L</i>	59	18,88
Pohon Karsen	<i>Muntingia Calabura</i>	38	6,6576
Pohon Mangga	<i>Mangifera Indica</i>	82	37,32394
Pohon Tanjung	<i>Mimusops elengi</i>	10	0,3429
Pohon Pinus	<i>Pinus</i>	18	0,48744
Pohon Nangka	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	9	1,13859
Pohon Pinang	<i>Areca catechu</i>	6	0,67764
Pohon Trembesi	<i>Samanea Saman</i>	4	113,95356
Pohon Ketapang	<i>Terminalia Catappa</i>	6	0,1857
Pohon Rambutan	<i>Nephelium lappaceum</i>	15	0,03285
Pohon Glodokan	<i>Polyalthia longifolia</i>	5	5,0821
Jumlah		252	184,76232

Hasil dari perhitungan jumlah emisi CO₂ yang dihasilkan di wilayah permukiman sekitar pertambangan PT Vale Kabupaten Luwu Timur sebesar 67.351,38 ton/tahun dan daya serap CO₂ oleh vegetasi eksisting sebesar 5.814,05 ton/tahun. Kabupaten Luwu Timur hanya mampu menyerap sebesar 21% dari total emisi yang ada.

Proyeksi Jumlah Emisi CO₂

Tabel 9. Proyeksi emisi CO₂ per kecamatan tahun 2049.

Kecamatan	Transportasi	Emisi CO ₂ LPG (ton/tahun)	Emisi CO ₂ Respirasi Manusia (ton/tahun)	Emisi CO ₂ Respirasi Hewan Ternak (ton/tahun)
Towuti	480.304	1.870	52.224	6.113
Nuha	783.502	1.507	31.579	4.941
Wasuponda	749.341	952	6.239	4.495
Jumlah	2.013.147	4.329	90.041	15.549

Sumber : (Perhitungan, 2024)

Tabel 10. Total Proyeksi emisi CO₂ per kecamatan tahun 2049

Kecamatan	Proyeksi Emisi CO ₂ pemukiman (ton/tahun)
Towuti	540.511
Nuha	821.529
Wasuponda	761.027
Jumlah	2.123.067

Berdasarkan hasil dari proyeksi pada tabel di atas, tahun 2049 diperkirakan mengalami penambahan emisi CO₂ dari emisi tahun 2024. Emisi CO₂ dari kegiatan transportasi sebagai penyumbang utama sehingga perlu perencanaan Ruang Terbuka Hijau hingga tahun 2049.

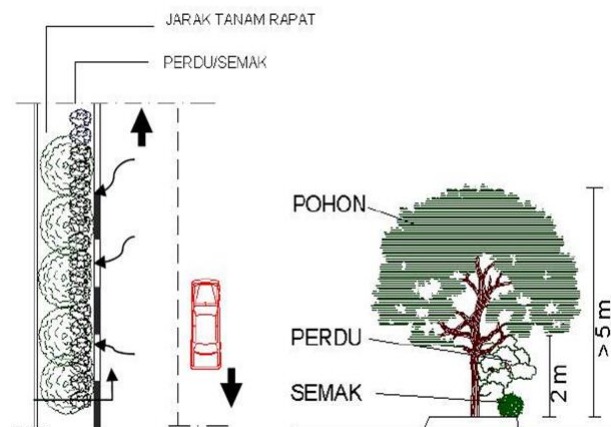
Perencanaan RTH di wilayah permukiman sekitar Kawasan pertambangan PT Vale Kabupaten Luwu Timur

- Menambahkan jenis vegetasi di permukiman

Proyeksi emisi CO₂ di permukiman Luwu Timur menunjukkan transportasi sebagai penyumbang terbesar. Untuk pencegahan, diterapkan program “1 KK 1 pohon”, dengan pohon mangga dipilih karena dapat menyerap CO₂ sebesar 0,45517 ton/tahun sekaligus menghasilkan buah untuk masyarakat

- Perencanaan vegetasi pada jalur hijau

Menurut (Ma, 2024), berjalannya waktu, pembangunan dan transportasi semakin berkembang, yang membuat peningkatan pada aktivitas manusia. Hal ini mengakibatkan tingginya emisi CO₂ sehingga kebutuhan lahan untuk membangun RTH semakin meningkat. Maka, dilakukan perencanaan pada jalur hijau dengan menanami pohon, pohon yang diilih adalah pohon trembesi karena trembesi memiliki daya serap emisi CO₂ tertinggi sebesar 28,448 ton/tahun. Jarak yang direncanakan berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 5 Tahun 2012 sebesar 4 meter dengan diameter 0,5 meter, jarak antar pohon ditanami padang rumput sebesar 70% dan semak belukar sebesar 30%.



Sumber : (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Nomor 5 Tahun 2008 Tentang Pedoman Penyediaan Dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau Di Kawasan Perkotaan, 2008)

- Penambahan RTH dengan sistem Roof Garden

Menurut (Suryanto et al., 2016), dalam menerapkan sistem roof garden, perlu diatur tanaman yang tidak mempunyai perakaran dalam, relatif tahan kekurangan air, tanah dan tumbuh baik pada temperatur yang tinggi dan pertumbuhan batang yang tidak mengganggu struktur bangunan, serta mudah dalam pemeliharaan. Jenis tanaman yang disarankan yang dapat dikonsumsi oleh manusia seperti tanaman cabai (*Capsicum frutescens* L), jeruk nipis (*Citrus aurantifolia*), bawang merah (*Allium cepa*), Kacang merah (*Vigna angularis*), ubi jalar (*Ipomoea batatas* L), dan masih banyak berbagai tanaman lainnya. sedangkan untuk bangunan bertingkat dilakukan sistem roof garden dengan memperhatikan struktur bangunan, ketebalan tanah, drainase, jenis tanaman, serta tempat tumbuh tanaman. Jenis tanaman yang disarankan adalah jenis tanaman perdu/semak dan tanaman ground cover.



Gambar 3. *Sistem Roof Garden* pada Atap Rumah

Pemeliharaan Ruang Terbuka Hijau

Pemeliharaan RTH di permukiman sekitar kawasan industri Luwu Timur mencakup penyiraman harian saat kemarau, pendangiran dan penyiangan bulanan, pemangkasan untuk mengatur pertumbuhan dan mencegah hama, pemupukan sebulan sekali, pengendalian hama/penyakit dengan pestisida/fungisida ramah lingkungan, serta penggantian tanaman mati atau rusak dengan media tanam dan penyiraman sesuai jenis tanaman.

5. KESIMPULAN

Total emisi CO₂ yang dihasilkan dari kegiatan transportasi dan permukiman di sekitar pertambangan Kabupaten Luwu Timur tercatat sebesar 67.351,38 ton per tahun. Perencanaan ruang terbuka hijau (RTH) di permukiman sekitar pertambangan PT Vale Kabupaten Luwu Timur hingga tahun 2049 dilakukan melalui penambahan vegetasi berupa pohon mangga dan pohon trembesi. Hasil perencanaan tersebut menunjukkan bahwa persentase penyerapan emisi CO₂ pada tahun 2049 dapat mencapai 84.372,88 ton per tahun atau sekitar 3,97%. Selain itu, alternatif lain dalam upaya penambahan RTH dapat dilakukan dengan menerapkan sistem roof garden sebagai solusi tambahan dalam mendukung penyerapan emisi dan peningkatan kualitas lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan karunia-Nya, penelitian berjudul “Analisis Kualitas Udara CO₂ di Permukiman Sekitar Pertambangan PT Vale Kabupaten Luwu Timur” dapat diselesaikan. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan motivasi selama proses penelitian ini, khususnya pimpinan dan staf PT Vale Indonesia atas izin dan data yang diberikan, Badan Pusat Statistik Kabupaten Luwu Timur atas penyediaan data sekunder, serta dosen pembimbing dan pihak akademik yang telah memberikan bimbingan dan arahan berharga. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas dukungannya sehingga penelitian ini berjalan lancar. Semoga penelitian ini memberikan manfaat dan kontribusi positif bagi pengelolaan kualitas udara di permukiman sekitar kawasan pertambangan Kabupaten Luwu Timur.

DAFTAR REFERENSI

- Febriansyah, A. R., Ergantara, R. I., & Nasoetion, P. (2022). Daya serap CO₂ tanaman pengisi ruang terbuka hijau (RTH) privat rumah besar perumahan Springhill dan Citra Mas di Kelurahan Kemiling Permai. *Jurnal Rekayasa, Teknologi, dan Sains*, 6(1), 20–31. <http://ejournalmalahayati.ac.id/index.php/teknologi/article/view/5862>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.

- Istianto, A., & Mangkoedihardjo, S. (2018). Planning greenspace for the highlands region of Surabaya. *Current World Environment*, 13(Special Issue 1), 1–3. <https://doi.org/10.12944/CWE.13.Special-Issue1.01>
- Karapang, A. C., Mangangka, I. R., & Riogilang, H. (2023). Penanganan emisi CO₂ dari berbagai jenis kendaraan bermotor di Desa Tumpaan. *Tekno*, 21(85), 1136–1154. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/tekno>
- Kautsari, N. (2014). Potensi dampak pemanasan global terhadap reproduksi crustacea: Suatu tinjauan kepustakaan ringkas. *Depik*, 3(3). <https://doi.org/10.13170/depik.3.3.2148>
- Lawalata, J., Riogilang, H., & Rondonuwu, S. (2021). Analisis pencemaran udara gas CO akibat pembuangan gas emisi kendaraan bermotor di depan Bahu Mall pada ruas Jalan Wolter Monginsidi Kota Manado. *Tekno*, 19(78), 151–157.
- Lestari, E. A. P. (2019). Efektivitas ruang terbuka hijau dalam mereduksi emisi gas karbon di Kota Banjarmasin, Kalimantan Selatan. *Seminar Nasional Geomatika*, 3, 397. <https://doi.org/10.24895/SNG.2018.3-0.979>
- Ma, B. (2024). Dampak urbanisasi terhadap emisi karbon dioksida: Bukti dari 136 negara dan wilayah.
- Maytantri, A. (2020). Evaluasi dan perencanaan ruang terbuka hijau berbasis serapan emisi karbon dioksida (CO₂) di zona timur laut Kota Surabaya (studi literatur dan kasus). Institut Teknologi Sepuluh Noverber.
- Mukono, H. J. (2011). Aspek kesehatan pencemaran udara. Pusat Penerbitan dan Percetakan UNAIR.
- Mustikaningrum, D., Kristiawan, K., & Suprayitno, S. (2021). Emisi gas rumah kaca sektor pertanian di Kabupaten Tuban: Inventarisasi dan potensi aksi mitigasi. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, 9(2), 155–171. <https://doi.org/10.14710/jwl.9.2.155-171>
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 5 Tahun 2008 tentang Pedoman Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Perkotaan. (2008). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/285541/permen-pupr-no-5-tahun-2008>
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 05/PRT/M/2012 tentang Pedoman Penanaman Pohon pada Sistem Jaringan Jalan. (2012). <https://binamarga.pu.go.id/index.php/peraturan/detail/peraturan-menteri-pekerjaan-umum-nomor-05prtm2012-tentang-pedoman-penanaman-pohon-pada-sistem-jaringan-jalan>
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. (2021). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/161852/pp-no-22-tahun-2021>
- Putra, R. (2019). Metode proyeksi pertumbuhan penduduk dan analisis dampak lingkungan. Penerbit Universitas Indonesia.
- Sibirian, S. (2020). Pencemaran udara dan emisi gas rumah kaca. Penerbit Kreasi Cendekia Pustaka.
- Sudarti, S., Yushardi, Y., & Kasanah, N. (2022). Analisis potensi emisi CO₂ oleh berbagai jenis kendaraan bermotor di Jalan Raya Kemantren Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 9(2), 70–75. <https://doi.org/10.21776/ub.jsal.2022.009.02.4>
- Suryandaru, A., Hidayat, A. T., Apriadi, M. I., & Sahrupi. (2024). Penanganan emisi gas karbon di Kota Cilegon menggunakan pendekatan sistem dinamis. *JENIUS: Jurnal Terapan Teknik Industri*, 5(1), 150–155. <https://doi.org/10.37373/jenius.v5i1.1048>
- Suryanto, A., Sitawati, & Nurlaelih, E. (2016). Produksi tumpangsari kacang merah (*Vigna angularis*) dan bawang merah (*Allium cepa*) di atap (rooftop culture). *Seminar Nasional Pembangunan Pertanian*, 4–8.
- Widyawati, R. F., Hariani, E., Ginting, A. L., & Nainggolan, E. (2021). Pengaruh pertumbuhan ekonomi, populasi penduduk kota, keterbukaan perdagangan internasional terhadap emisi gas karbon dioksida (CO₂) di negara ASEAN. *Jambura Agribusiness Journal*, 3(1), 37–47. <https://doi.org/10.37046/jaj.v3i1.11193>