

PEMETAAN GAS RUMAH KACA DI KOTA MANADO

Mawar Sharon Palar, Sangkertadi, & Rachmat Prijadi

Program Studi Perencanaan Wilayah & Kota, Universitas Sam Ratulangi

Email :

Mawarpalar05@gmail.com; sangkertadi@unsrat.ac.id; rachmatprijadi@unsrat.ac.id

ABSTRAK

Pemanasan global dan perubahan iklim disebabkan oleh gas-gas rumah kaca seperti CO₂, CH₄, dan NO_x yang menyerap dan memancarkan radiasi inframerah, menyebabkan peningkatan suhu global. Aktivitas manusia seperti industri, pertanian, deforestasi, dan penggunaan energi fosil menyebabkan peningkatan emisi gas tersebut. Pencemaran udara menurut Undang-Undang Nomor 23 tahun 1997 pasal 1 ayat 12 mengenai Pencemaran Lingkungan adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan hidup tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya. Kota Manado, sebagai ibu kota Sulawesi Utara, memiliki peran penting dalam konteks perubahan iklim dan dampaknya terhadap lingkungan dan masyarakat setempat. Peningkatan aktivitas manusia, pertumbuhan populasi, dan perkembangan ekonomi telah berkontribusi pada peningkatan emisi gas rumah kaca di kota tersebut. Dengan pertumbuhan penduduk sebesar 0,31 persen dan kepadatan penduduk mencapai 2.934 penduduk/km², aktivitas kegiatan yang memicu naiknya konsentrasi GRK juga meningkat. Pemahaman yang lebih baik tentang pola emisi gas rumah kaca di Manado menjadi kunci dalam upaya mengurangi dampak perubahan iklim dan melindungi lingkungan serta kesejahteraan masyarakat lokal. Penelitian ini diharapkan memberikan wawasan penting bagi pemerintah daerah, dan masyarakat untuk merancang kebijakan yang berkelanjutan serta berkontribusi pada upaya global dalam mengatasi perubahan iklim.

Kata Kunci: Pemetaan Gas Rumah Kaca, Kota Manado

ABSTRACT

Global warming and climate change are caused by greenhouse gases such as CO₂, CH₄, and NO_x that absorb and emit infrared radiation, causing an increase in global temperature. Human activities such as industry, agriculture, deforestation, and fossil energy use lead to increased emissions of these gases. Air pollution according to Law Number 23 of 1997 article 1 paragraph 12 regarding Environmental Pollution is the entry or inclusion of living things, substances, energy, and/or other components into the environment by human activities so that the quality drops to a certain level which causes the environment to be unable to function in accordance with its designation. The city of Manado, as the capital of North Sulawesi, plays an important role in the context of climate change and its impacts on the environment and local communities. Increased human activity, population growth, and economic development have contributed to increased greenhouse gas emissions in the city. With a population growth of 0.31 percent and a population density of 2,934 people/km², the activities that trigger GHG concentrations to rise have also increased. A better understanding of greenhouse gas emission patterns in Manado is key to mitigating the impacts of climate change and protecting the environment and welfare of local communities. This research is expected to provide important insights for local governments, and communities to design sustainable policies and contribute to global efforts to address climate change.

Keywords: Mapping Greenhouse Gases, Manado City

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Pemanasan global dan perubahan iklim telah menjadi salah satu tantangan terbesar yang dihadapi umat manusia saat ini. Gas-gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan nitrous oksida (NO_x) dapat

menyerap dan memancarkan radiasi inframerah, mempertahankan panas di atmosfer dan menyebabkan peningkatan suhu global. Seiring berjalannya waktu, zaman dan teknologi semakin maju menimbulkan dampak yang memicu meningkatnya aktivitas

industri, pertanian, deforestasi, dan penggunaan energi fosil serta timbunan sampah perkotaan.

Aktifitas utama yang menyebabkan konsentrasi GRK meningkat di atmosfer adalah aktifitas yang ditimbulkan oleh manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, pertanian, dan pengelolaan limbah yang tidak tepat. Dalam PERPRES No. 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional, pemerintah Indonesia melakukan inventarisasi GRK nasional, serta monitoring, pelaporan, verifikasi dengan mengacu pada *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines* tahun 2006. Perhitungan yang dilakukan berdasarkan metodologi IPCC *Guidelines* 2006 dengan tingkat Tier 1. *Global Warming Potential (GWP)* yang digunakan dalam mengkonversi data emisi GRK non-CO₂ menjadi karbon dioksida ekuivalen (CO₂eq).

Pemahaman yang lebih baik tentang emisi gas rumah kaca di Manado menjadi penentu dalam upaya mengurangi dampak perubahan iklim dan melindungi lingkungan serta kesejahteraan masyarakat lokal dan dengan pemahaman yang lebih baik tentang pola emisi gas rumah kaca di Manado, dapat dirumuskan strategi mitigasi yang lebih tepat dan efektif untuk mengurangi emisi dan menjaga keberlanjutan lingkungan kota serta penelitian ini juga dapat memberikan wawasan penting bagi pengambil keputusan, pemerintah daerah, dan masyarakat untuk merancang kebijakan dan praktik yang berkelanjutan serta berkontribusi pada upaya

global dalam mengatasi perubahan iklim. Penelitian ini dapat dikaitkan dengan program studi Perencanaan Wilayah dan Kota, terutama dalam konteks penelitian emisi gas rumah kaca, dengan mengacu pada mata kuliah mitigasi dan perubahan iklim. Mata kuliah tersebut memberikan pemahaman yang mendalam tentang upaya mitigasi terhadap perubahan iklim, termasuk dalam hal penelitian emisi gas rumah kaca.

Dengan demikian, penelitian tentang gas rumah kaca di kota Manado diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam upaya mitigasi perubahan iklim, pelestarian lingkungan, dan pembangunan berkelanjutan di kota Manado, serta penelitian tentang Pemetaan Gas Rumah Kaca di Kota Manado dapat menjadi sumber rujukan yang berharga bagi penelitian-penelitian mendatang.

Melihat kondisi tersebut maka penulis mengangkat rumusan masalah sebagai berikut:

- Bagaimana cara mengetahui sebaran gas rumah kaca di kota Manado?
- Bagaimana pemetaan gas rumah kaca di kota Manado?

Berdasarkan rumusan masalah diatas tujuan yang ditargetkan oleh penulis adalah untuk mengetahui sebaran gas rumah kaca di Kota Manado dan untuk mengetahui pemetaan gas rumah kaca di kota Manado.

TINJAUAN PUSTAKA

a) Gas Rumah Kaca (GRK)

Gas rumah kaca adalah gas-gas yang ada dalam atmosfer bumi dan menyebabkan efek rumah kaca. Gas-gas ini bertindak

mirip dengan kaca dalam menyerap energi matahari dan mempertahankan panas di dalamnya. Gas-gas rumah kaca meliputi karbon dioksida (CO₂), sulfur dioksida (SO₂), nitrogen monoksida (NO), nitrogen dioksida (NO₂), metana (CH₄), dan klorofluorokarbon (CFC).

b) Efek Rumah Kaca

Sekitar sepertiga dari energi matahari yang mencapai puncak atmosfer bumi dipantulkan langsung kembali ke luar angkasa, sementara dua pertiga sisanya diserap oleh permukaan bumi dan sebagian kecil lagi diserap oleh atmosfer.

Beberapa penyebab utama yang mengakibatkan konsentrasi Gas Rumah Kaca di semakin meningkat antara lain: penebangan hutan, transportasi, limbah industri, limbah pertanian dan peternakan, dan energi listrik.

c) *Protocol Kyoto*

Protocol Kyoto merupakan perjanjian internasional yang mengatur pelaksanaan konvensi perubahan iklim dan dalam UU No.17 Tahun 2004, *protocol Kyoto* mengatur emisi gas rumah kaca akibat kegiatan manusia agar konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer stabil dan tidak membahayakan sistem iklim bumi. Pemerintah Indonesia juga meratifikasi *protocol Kyoto* dengan mengeluarkan UU No.17 Tahun 2004 Tentang Pengesahan *Kyoto Protocol To The United Nations Framework Convention On Climate Change*.

d) Kesepakatan Paris /*Paris Agreement*

Perjanjian Paris (*Paris Agreement*) merupakan perjanjian internasional untuk mitigasi, adaptasi dan keuangan perubahan iklim pada tahun 2015 yang disepakati oleh 195 negara termasuk negara-negara yang menyumbang emisi karbon yang tinggi.

e) *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) atau Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim merupakan merupakan panel ilmiah yang terdiri dari para ilmuwan perubahan iklim dari seluruh dunia dan didirikan oleh 2 organisasi PBB, World Meteorological Organization (WMO) dan United Nations Environment Programme (UNEP) pada 1988.

f) *Green Economy*

Menurut United Nations Environment Programme (UNEP) *Green Economy* atau ekonomi hijau didefinisikan sebagai sistem ekonomi yang bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan manusia dan memperjuangkan keadilan sosial, sambil secara signifikan mengurangi risiko terhadap lingkungan dan kekurangan sumber daya alam. Secara sederhana, ekonomi hijau dapat dijelaskan sebagai ekonomi yang memiliki emisi karbon yang rendah, efisiensi penggunaan sumber daya yang tinggi, dan memberikan inklusi sosial yang luas.

g) Sistem Informasi Geografis

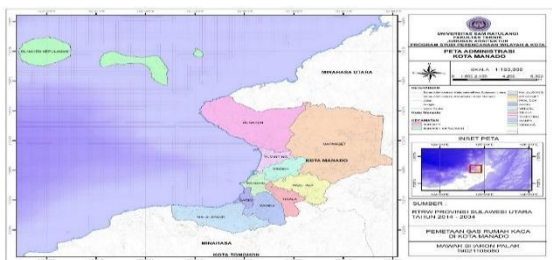
Sistem ini mengimplementasikan dengan perangkat keras dan perangkat lunak pada computer dan berfungsi untuk akuisisi dan

verifikasi data, kompilasi data, menyimpan data, merubah data, manajemen dan pertukaran data, manipulasi dan presentasi data serta analisa data (Bernhardsen, 2002)

METODE PENELITIAN

Tempat dan Lokasi Penelitian

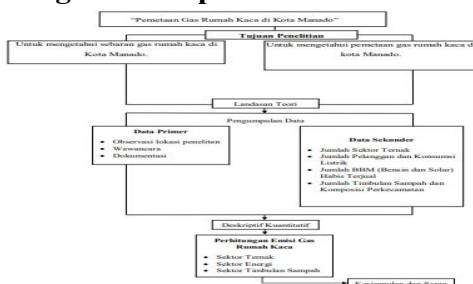
Lokasi studi pada penelitian ini dilakukan pada Kota Manado merupakan ibukota dari provinsi Sulawesi Utara. Secara astronomis kota Manado terletak di antara 124°40' – 124°50' BT dan 1°30' – 1°40' LU. Kota Manado terdiri dari 11 kecamatan dan 87 kelurahan dimana 10 kecamatan terletak pada daratan utama pulau sulawesi dan satu kecamatan berbentuk kepulauan.



Gambar 1. Peta Administrasi Lokasi Studi

Sumber: Peneliti, 2024

Kerangka Konseptual



Gambar 2. Kerangka Konseptual

Sumber: Peneliti 2024

Teknik Pengumpulan Data:

Pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan 2 jenis pengumpulan data yang dipakai dalam penelitian ini di bagi atas dua yaitu data primer dan data sekunder, sebagai berikut :

- Data Primer

- Observasi Lapangan
- Wawancara
- Dokumentasi
- Data Sekunder
- Survey Instansi
- Studi Literatur

Teknik Analisis Data

Dalam penelitian ini menggunakan perhitungan emisi gas rumah kaca yang mengacu pada metode yang telah ditetapkan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines* dalam *IPCC Guidelines* 2006, metodologi ini juga ditetapkan dalam Peraturan Menteri LHK Nomor P.73/MenLHK/Setjen/Kum.1/12/2017 tentang Pedoman Penyelenggaraan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca.

Secara umum untuk perhitungan dan serapan dari gas rumah kaca didapat dari rumus atau persamaan sebagai berikut:

$$\text{Tingkat Emisi} = \text{Data Aktivitas} \times \text{Faktor Emisi}$$

Keterangan dari rumus di atas:

- Data Aktivitas

Data aktivitas merupakan data kegiatan yang menimbulkan emisi atau serapan dari Gas Rumah Kaca yang disebabkan oleh kegiatan pembangunan atau dari kegiatan manusia.

- Faktor Emisi

Faktor emisi merupakan nilai dari atau besaran dari emisi yang dikeluarkan dari sebuah kegiatan atau aktivitas.

Untuk konversi dari beberapa gas ke gas karbondioksida (CO_2) adalah sebagai berikut:

Tabel 1. GWP dari Dua Senyawa GRK

Gas	GWP (CO ₂ eq)
CO ₂	1
Metana (CH ₄)	28

Sumber: *Fifth Assessment Report IPCC*, 2014

HASIL DAN PEMBAHASAN

Baseline Emisi Gas Rumah Kaca

Perhitungan emisi GRK dari sektor peternakan di Kota Manado

Perhitungan emisi gas rumah kaca dari sektor ternak dihitung dari jumlah ternak yang ada di lokasi penelitian. Untuk pendekatan dalam menghitung emisi gas rumah kaca dari sektor ternak menggunakan pendekatan dari IPCC tier 1. Hasil dari perhitungan emisi fermentasi pencernaan dari ternak jenis sapi potong yaitu sebesar 1,59 juta ton CO₂eq dan hasil perhitungan emisi pupuk kandang dari ternak jenis ayam petelur yaitu sebesar 20.54 ton CO₂eq. Berikut ini merupakan tabel perhitungan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari sektor ternak yang ada di kota Manado.

Tabel 2. Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Ternak

No	Jenis Ternak	Populasi Ternak Tahun 2022	Faktor Emisi	Emisi CH ₄			Emisi CO ₂		
				Per Hari	Per Tahun	Ton/tahun	Per Hari	Per Tahun	Ton/tahun
Fermentasi Pencernaan									
	Sapi Potong	3331	47	15657	5714330	57143.31	438396	1600012540	1600012.54
	Kambing	2002	5	10010	3653650	3653.65	280280	102302200	102302.20
	Babi	3808	1	3808	2119920	2119.92	163624	59177960	59177.96
	Kuda	50	18	900	325500	325.50	32500	9390000	9390.00
	Ayam Petelur	67	0.02	1.34	489.1	0.49	37.52	13694.8	13.69
	Ayam Petelur	126675	0.02	2533.5	924727.5	924.73	76938	25892370	25892.37
	Itik	942	0.03	18.64	6876.6	6.88	537.52	195544.8	195.54
Pupuk Kandang									
	Sapi Potong	3331	1	3331	1215815	1215.82	93568	34043520	34043.52
	Kambing	2002	0.2	400.4	146146	146.15	11211.2	4092088	4092.09
	Babi	3808	7	40656	14839440	14839.44	1138368	415504320	415504.32
	Kuda	50	2.19	109.5	39967.5	39.97	3068	1119090	1119.09
	Ayam Petelur	67	0.02	2.31	33.87	0.34	26.38	20542.1	20.54
	Ayam Petelur	126675	0.02	2533.5	924727.5	924.73	76938	25892370	25892.37
	Itik	942	0.03	28.36	10514.9	10.31	791.28	288817.2	288.82

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Ternak yang paling banyak menyumbangkan emisi gas rumah kaca di kota Manado yaitu fermentasi dari ternak sapi potong yang berjumlah 3.331 ekor dengan total emisi

sebesar 57143.305 ton CH₄ per tahun, jika dikonversi ke kilogram CO₂ total emisi yang dihasilkan dari fermentasi ternak sapi potong yaitu 1.200.009,40 ton CO₂ per tahun dan emisi paling sedikit dihasilkan dari jenis ternak itik yang berjumlah 942 ekor dengan total emisi 6.87 ton CH₄ per tahun, jika di konversikan ke kilogram CO₂ total emisi yang di hasilkan dari jenis ternak itik yaitu 144.41 ton CO₂ per tahun.

Perhitungan emisi GRK dari sektor penggunaan listrik di Kota Manado

Data yang di peroleh dalam perhitungan emisi gas rumah kaca dari penggunaan listrik di kota Manado yaitu data penggunaan dan konsumsi listrik per rayon di kota Manado dan untuk menghitung emisi gas rumah kaca dari penggunaan listrik dihitung berdasarkan data yang tersedia yaitu data rayon listrik yang ada di kota Manado. Rayon-rayon tersebut adalah rayon Manado Utara, Rayon Paniki dan Rayon Manado Selatan.

Berikut ini merupakan tabel perhitungan emisi CO₂ dari Seluruh Rayon PLN yang ada di kota Manado.

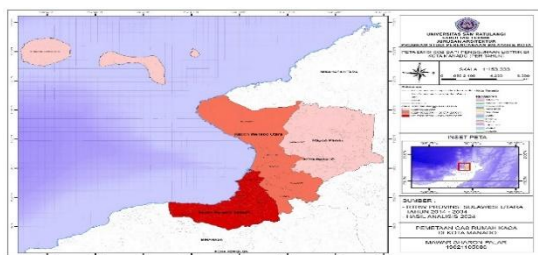
Tabel 3. Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Penggunaan Listrik

No.	Rayon PLN di Kota Manado	Jumlah Pelanggan	Jumlah Konsumsi Listrik di Kota Manado (KWh/Tahun)	Faktor Emisi Pembangkit Listrik Sulawesi Utara (Ton CO ₂ /MWh)	Jumlah Emisi CO ₂ (Ton CO ₂ /Tahun)
1	Rayon Manado Utara	689.628	154065016	0.78	120.170.712.5
2	Rayon Paniki	559.639	131031158	0.78	102.204.303.2
3	Rayon Manado Selatan	1.150.863	431210208	0.78	336.343.962.2
Jumlah Emisi CO ₂ dari Penggunaan Listrik di Kota Manado					558.718.978

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Dari hasil perhitungan emisi gas rumah kaca yang ada pada tabel diatas dapat dilihat bahwa rayon PLN yang menyumbangkan

emisi terbanyak adalah rayon rayon Manado Selatan dengan total emisi 336, 34 juta ton CO₂/MWh per tahun dan diikuti dengan rayon Manado Utara dengan total emisi sebesar 120,17 juta ton CO₂/MWh per tahun dan rayon yang menyumbangkan emisi paling sedikit yaitu rayon Paniki dengan total emisi sebesar 102,20 juta ton CO₂/MWh per tahun.



Gambar 3. Peta Peta Emisi CO₂ dari Penggunaan Listrik di Kota Manado (Per-Tahun)

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Perhitungan emisi GRK dari sektor Bahan Bakar Gas di Kota Manado

Hasil wawancara dari berbagai pengguna bahan bakar gas LPG 3 kg yang ada di kota Manado memiliki kisaran waktu habis yang bervariasi mulai dari kurang dari satu minggu, satu minggu dan lebih dari satu minggu namun rata-rata masa habis gas LPG 3 kg yang mendominasi adalah keluarga yang menghabiskan gas LPG 3 kg dalam satu minggu. Dalam penelitian Sangkertadi (2013) menjelaskan bahwa rata-rata setiap keluarga yang beranggotakan 4 orang menggunakan gas LPG 3 kg setiap minggunya jika dijumlahkan maka setiap orang memerlukan sekitar 0,75 kg setiap minggunya atau 0,11 kg (dibulatkan dari 0,1071428571) setiap harinya. Dalam perhitungan bahan bakar gas, data aktivitas di konversi ke satuan energi agar sesuai dengan satuan faktor emisi. Untuk

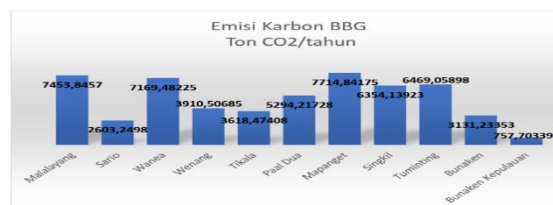
data aktivitas di konversi dari kilogram (kg) ke gigagram (Gg).

Berikut ini merupakan hasil perhitungan emisi gas karbon dioksida dari penggunaan bahan bakar gas LPG.

Tabel 4. Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Penggunaan Bahan Bakar Gas LPG

Kecamatan	Jumlah Penduduk	Faktor Emisi (kg Tj)	NCV (GJ/t)	Penggunaan Bahan Bakar Gas							
				Penggunaan LPG				LPG			
				Rg/hari	Rg/tahun	Rg/hari	Rg/tahun	Per hari	Per tahun	Rg (tj/tahun)	Emisi CO ₂ (tj/tahun)
Malalangga	8270	69.00	47.3	8662.22	3120800	2467438	2467438	0.22467438	118.177207	118.177207	118.177207
Sario	21724	69.00	47.3	2388.84	869880	872218.4	872218.4	0.1160297	43.1160297	43.1160297	43.1160297
Wana	19828	69.00	47.3	6551.58	2400134	2402134	2402134	0.1129028	113.430071	113.430071	113.430071
Wana	22871	69.00	47.3	2388.84	869880	1130211	1130211	0.1160297	43.1160297	43.1160297	43.1160297
Tibawa	30140	69.00	47.3	3322.58	1212289	1212289	1212289	0.1129028	113.430071	113.430071	113.430071
Pail Dasa	44180	69.00	47.3	4839.8	1761877	1761877	1761877	0.1160297	43.1160297	43.1160297	43.1160297
Mapanget	84300	69.00	47.3	7082.8	2580437	2580437	2580437	0.1160297	43.1160297	43.1160297	43.1160297
Segah	10622	69.00	47.3	1022.70	376394	376394	376394	0.1160297	43.1160297	43.1160297	43.1160297
Tuminting	13861	69.00	47.3	5888.24	2154705	2154705	2154705	0.1160297	43.1160297	43.1160297	43.1160297
Bunaken	26120	69.00	47.3	2874.3	1052740	1052740	1052740	0.1160297	43.1160297	43.1160297	43.1160297
Bunaken Kepulauan	8122	69.00	47.3	897.53	328485.1	328485.1	328485.1	0.1160297	43.1160297	43.1160297	43.1160297

Sumber: Hasil Analisis, 2024

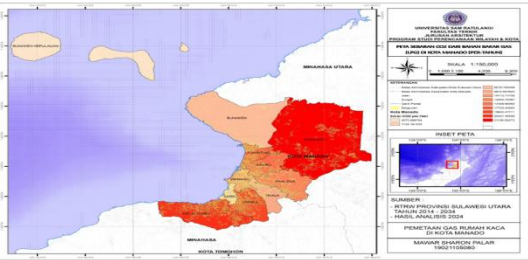


Gambar 4. Grafik Emisi Karbon BBG Ton CO₂/Tahun

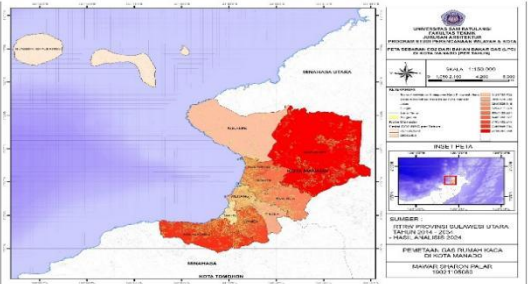
Sumber: Hasil Analisis, 2024

Hasil perhitungan emisi gas rumah kaca dari penggunaan bahan bakar gas jenis LPG di kota Manado berjumlah 54.476,75 ton CO₂ per tahun. Kecamatan yang paling banyak menyumbangkan emisi dari penggunaan bahan bakar gas adalah kecamatan Mapanget dengan emisi total 7.714,84 ton CO₂ /tahun dan kecamatan yang paling sedikit menyumbang emisi gas rumah kaca adalah kecamatan Bunaken Kepulauan dengan total emisi 757,70 ton CO₂/tahun.

Gambar 5. Peta Sebaran CO₂ dari Bahan Bakar Gas (LPG) di Kota Manado (Per-Hari)



Sumber: Hasil Analisis, 2024



Gambar 6. Peta Sebaran CO2 dari Bahan Bakar Gas (LPG) di Kota Manado (Per-Tahun)

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Perhitungan emisi GRK dari sektor bahan bakar minyak di Kota Manado

Perhitungan emisi gas karbon dioksida dari sektor transportasi mengambil sampel dari 21 SPBU yang ada di kota Manado dengan asumsi 85% bahan bakar minyak habis terpakai di lokasi studi. Untuk perhitungan bahan bakar minyak yang dihitung hanya bensin dan solar. Faktor Emisi dari setiap bahan bakar minyak berbeda beda, begitu juga dengan NCV, nilai yang ditunjukkan dari setiap bahan bakar berbeda beda. Faktor emisi dan NCV mengacu pada standar yang telah ditetapkan oleh IPCC (2006).

Berikut ini merupakan hasil perhitungan penggunaan bahan bakar minyak yang ada di kota Manado (bensin dan solar).

Tabel 6. Perhitungan Emisi Gas Karbon Dioksida dari Penggunaan Bahan Bakar Minyak Jenis Solar

No	SPBU	Alamat	Faktor Emisi	NCV	Penggunaan BBM				Konsumsi Energi		Emisi Karbon		
					Kg/kwh	tergaka 185% per hari	Kg/hari	tergaka 185% per tahun	Per hari	Per tahun	Kg CO ₂ per hari	Kg CO ₂ per tahun	Ton CO ₂ per tahun
1	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 1	0.00003	0.00003	10000	18000	18000	4940000	0.4885	163.812	1131.174	1131.174	1131.174
2	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 2	0.00003	0.00003	11000	12750	12750	4637700	0.42075	153.2737	1011.471	1011.471	1011.471
3	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 3	0.00003	0.00003	10000	18000	18000	4940000	0.4885	163.812	1131.174	1131.174	1131.174
4	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 4	0.00003	0.00003	13000	11050	11050	4032250	0.36465	133.0972	1217.734	1217.734	1217.734
5	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 5	0.00003	0.00003	6004	5103.4	5103.4	1862741	0.18412	67.47045	1812.881	1812.881	1812.881
6	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 6	0.00003	0.00003	8000	8000	8000	2880000	0.2884	105.3612	1053.612	1053.612	1053.612
7	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 7	0.00003	0.00003	10000	8100	8100	2927100	0.2885	105.3612	1053.612	1053.612	1053.612
8	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 8	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
9	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 9	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
10	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 10	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
11	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 11	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
12	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 12	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
13	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 13	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
14	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 14	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
15	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 15	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
16	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 16	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
17	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 17	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
18	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 18	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
19	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 19	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
20	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 20	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
21	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 21	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235

Sumber: Hasil Analisis, 2024

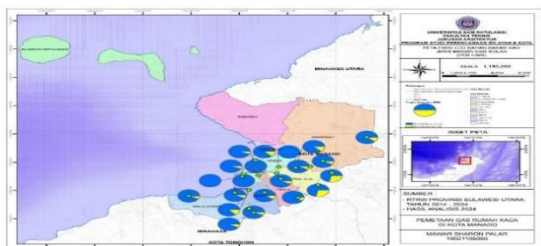
Tabel 5. Perhitungan Emisi Gas Karbon Dioksida dari Penggunaan Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin

No	SPBU	Alamat	Faktor Emisi	NCV	Penggunaan BBM				Konsumsi Energi		Emisi Karbon		
					Kg/kwh	tergaka 185% per hari	Kg/hari	tergaka 185% per tahun	Per hari	Per tahun	Kg CO ₂ per hari	Kg CO ₂ per tahun	Ton CO ₂ per tahun
1	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 1	0.00003	0.00003	10000	18000	18000	4940000	0.4885	163.812	1131.174	1131.174	1131.174
2	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 2	0.00003	0.00003	11000	12750	12750	4637700	0.42075	153.2737	1011.471	1011.471	1011.471
3	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 3	0.00003	0.00003	10000	18000	18000	4940000	0.4885	163.812	1131.174	1131.174	1131.174
4	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 4	0.00003	0.00003	13000	11050	11050	4032250	0.36465	133.0972	1217.734	1217.734	1217.734
5	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 5	0.00003	0.00003	6004	5103.4	5103.4	1862741	0.18412	67.47045	1812.881	1812.881	1812.881
6	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 6	0.00003	0.00003	8000	8000	8000	2880000	0.2884	105.3612	1053.612	1053.612	1053.612
7	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 7	0.00003	0.00003	10000	8100	8100	2927100	0.2885	105.3612	1053.612	1053.612	1053.612
8	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 8	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
9	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 9	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
10	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 10	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
11	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 11	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
12	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 12	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
13	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 13	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
14	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 14	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
15	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 15	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
16	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 16	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
17	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 17	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
18	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 18	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
19	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 19	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
20	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 20	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235
21	74.911.0	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 21	0.00003	0.00003	10000	10000	10000	3593700	0.35937	129.5235	1295.235	1295.235	1295.235

Sumber: Hasil Analisis, 2024

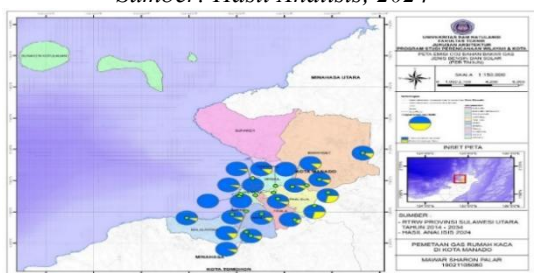
Perhitungan emisi dari Bahan Bakar Minyak (BBM) jenis bensin dan solar dihitung berdasarkan SPBU yang tersebar di kota Manado. Total emisi dari bahan

bakar minyak berjumlah 304.800,29 ton CO₂/tahun untuk BBM jenis bensin dan 17.894,62 ton CO₂/tahun untuk BBM jenis solar. Berikut ini merupakan peta emisi karbondioksida dari penggunaan Bahan Bakar Minyak yang ada di kota Manado.



Gambar 7. Peta Emisi CO₂ Bahan Bakar Gas Jenis Bensin dan Solar (Per-Hari)

Sumber: Hasil Analisis, 2024



Gambar 8. Peta Emisi CO₂ Bahan Bakar Gas Jenis Bensin dan Solar (Per-Tahun)

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Perhitungan emisi GRK dari sektor bahan bakar minyak di Kota Manado

Perhitungan emisi gas karbon dari sektor sampah mengambil data dari Dinas Lingkungan Hidup kota Manado dengan jumlah timbulan sampah 243,2 ton per hari dan 88.768 ton per tahun. Kecamatan Mapanget merupakan kecamatan yang menghasilkan timbulan sampah terbanyak yaitu 33,5 ton sampah per hari, dan 12.227,5 ton sampah per tahun diikuti kecamatan Malalayang yaitu 33,2 ton sampah per hari dan 12.118 ton sampah per tahun. Kecamatan yang paling sedikit menghasilkan timbulan

sampah yaitu kecamatan Bunaken Kepulauan dengan jumlah timbulan sampah 3,5 ton sampah per hari dan 1.277,5 ton sampah per tahun.

Berikut ini merupakan hasil perhitungan dari emisi gas rumah kaca sektor limbah :

Emisi Gas Rumah Kaca dari kecamatan Malalayang

Timbulan sampah yang dihasilkan di kecamatan Malalayang berjumlah 33,2 ton sampah perhari dan 12.118 ton sampah per tahun, sampah yang dihasilkan dari kecamatan Malalayang didominasi oleh sampah organik yang dapat mengeluarkan gas metana (CH₄). Jumlah emisi yang dikeluarkan oleh gas CH₄ di kecamatan Malalayang berjumlah 6273,12 Gg CH₄/tahun atau setara dengan 6.27 juta ton CH₄/tahun. Untuk emisi gas karbon dioksida (CO₂) menggunakan faktor pengali yang merujuk ke nilai *Global Warming Potential* (GWP) yang bernilai 28. Emisi CO₂ yang dihasilkan dari timbulan sampah yang ada di kecamatan Malalayang berjumlah 156828,02 Gg CO₂/tahun atau setara dengan 156,82 juta ton CO₂/tahun. Hasil akhir dari perhitungan ini dinyatakan dalam bentuk karbon dioksida ekuivalen (CO₂eq). Emisi CO₂eq yang dihasilkan dari kecamatan Malalayang sebesar 156,82 juta ton CO₂eq/tahun.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Emisi dari Limbah Sampah di Kecamatan Malalayang

Komponen Sampah	Komposisi Sampah %	DOC %	DOC %	MSWT	MSWT (Gg/thn)	MSWP	MSWP (Gg/thn)	DOCF	F	16/22	R	CO ₂	EMIS CH ₄	EMISI CO ₂
Sisa Makanan	47.70%	15%	0.07155	12118	12.118	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	2794.815679	69870.39198	
Kayu	1.14	43%	0.004902	12118	12.118	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	191.4770994	4786.927484	
Kertas	18.66	40%	0.07464	12118	12.118	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	2915.514218	72887.85545	
Tekstil	1.54	24%	0.003696	12118	12.118	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	144.3693143	3609.237858	
Karet/Kulit	1.49	39%	0.00581	12118	12.118	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	226.9445017	5673.612543	
Plastik	19.48%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Logam	0.26%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kaca	1.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lainnya	7.88%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumlah Emisi Gg Tahun													6273.121013	156828.0253
Jumlah Emisi Ton Tahun													6273121.013	156828025.3

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Emisi Gas Rumah Kaca dari kecamatan Sario

Timbulan sampah yang dihasilkan di kecamatan Sario berjumlah 11,6 ton sampah perhari dan 4.234 ton sampah per tahun, sampah yang dihasilkan dari kecamatan Sario didominasi oleh sampah organik yang dapat mengeluarkan gas metana (CH₄). Jumlah emisi yang dikeluarkan oleh gas CH₄ di kecamatan Sario berjumlah 765,81 Gg CH₄/tahun atau setara dengan 765.810 ton CH₄/tahun. Untuk emisi gas karbon dioksida (CO₂) menggunakan faktor pengali yang merujuk ke nilai *Global Warming Potential* (GWP) yang bernilai 25. Emisi CO₂ yang dihasilkan dari timbulan sampah yang ada di kecamatan Sario berjumlah 21.442,8006 Gg CO₂/tahun atau setara dengan 21,44 juta ton CO₂/tahun. Hasil akhir dari perhitungan ini dinyatakan dalam bentuk karbon dioksida ekuivalen (CO₂eq). Emisi CO₂eq yang dihasilkan dari kecamatan Sario sebesar 21,44 juta ton CO₂eq/tahun.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Emisi dari Limbah Sampah di Kecamatan Sario

Komponen Sampah	Komposisi Sampah	DOC ₁ %	DOC ₂ %	MSWT	MSWT Gg/tahun	MSWF	MCF	DOCF	F	16/22	R	OX	EMIS CH ₄	EMISI CO ₂
Sisa Makanan	47.70%	15%	0.07155	4234	4.234	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	341.1873982	9553.24715
Kayu	1.14	43%	0.004902	4234	4.234	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	23.3752708	654.507583
Kertas	18.66	40%	0.07464	4234	4.234	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	355.922116	9965.81925
Tekstil	1.54	24%	0.003696	4234	4.234	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	17.62448919	495.484297
Karet/Kulit	1.49	39%	0.00581	4234	4.234	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	27.70508433	775.742361
Plastik	19.48%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Logam	0.26%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kaca	1.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lainnya	7.88%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumlah Emisi Gg/Tahun													765.8143086	21442.8006
Jumlah Emisi Ton/Tahun													765814.3086	21442800.6

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Emisi Gas Rumah Kaca dari kecamatan Wanea

Timbulan sampah yang dihasilkan di kecamatan Wanea berjumlah 31,8 ton sampah perhari dan 11.607 ton sampah per tahun, sampah yang dihasilkan dari kecamatan Wanea didominasi oleh sampah organik yang

dapat mengeluarkan gas metana (CH₄). Jumlah emisi yang dikeluarkan oleh gas CH₄ di kecamatan Wanea berjumlah 5.755.217 Gg CH₄/tahun atau setara dengan 5.75 juta ton CH₄/tahun. Untuk emisi gas karbon dioksida (CO₂) menggunakan faktor pengali yang merujuk ke nilai *Global Warming Potential* (GWP) yang bernilai 25. Emisi CO₂ yang dihasilkan dari timbulan sampah yang ada di kecamatan Wanea berjumlah 161.146,08 Gg CO₂/tahun atau setara dengan 161,14 juta ton CO₂/tahun. Hasil akhir dari perhitungan ini dinyatakan dalam bentuk karbon dioksida ekuivalen (CO₂eq). Emisi CO₂eq yang dihasilkan dari kecamatan Wanea sebesar 161,14 juta ton CO₂eq/tahun.

Tabel 9. Hasil Perhitungan Emisi dari Limbah Sampah di Kecamatan Wanea

Komponen Sampah	Komposisi Sampah	DOC ₁ %	DOC ₂ %	MSWT	MSWT Gg/tahun	MSWF	MCF	DOCF	F	16/22	R	OX	EMIS CH ₄	EMISI CO ₂
Sisa Makanan	47.70%	15%	0.07155	11607	11.607	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	2564.078	71794.18585
Kayu	1.14	43%	0.004902	11607	11.607	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	175.6689	4918.729546
Kertas	18.66	40%	0.07464	11607	11.607	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	2674.812	74894.7314
Tekstil	1.54	24%	0.003696	11607	11.607	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	132.4505	3708.613709
Karet/Kulit	1.49	39%	0.00581	11607	11.607	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	208.2082	5829.828369
Plastik	19.48%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Logam	0.26%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kaca	1.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lainnya	7.88%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumlah Emisi Gg/Tahun													5755.217	161146.0809
Jumlah Emisi Ton/Tahun													5755217	161146080.9

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Emisi Gas Rumah Kaca dari kecamatan Wenang

Timbulan sampah yang dihasilkan di kecamatan Wenang berjumlah 17,6 ton sampah perhari dan 6.424 ton sampah per tahun, sampah yang dihasilkan dari kecamatan Wenang didominasi oleh sampah organik yang dapat mengeluarkan gas metana (CH₄). Jumlah emisi yang dikeluarkan oleh gas CH₄ di kecamatan Wenang berjumlah 1.762.92 Gg CH₄/tahun atau setara dengan 1,76 juta ton CH₄/tahun. Untuk emisi gas karbon dioksida (CO₂) menggunakan faktor pengali yang merujuk ke nilai *Global Warming Potential*

(GWP) yang bernilai 25. Emisi CO₂ yang dihasilkan dari timbunan sampah yang ada di kecamatan Wenang berjumlah 49.361,78 Gg CO₂/tahun atau setara dengan 49,36 juta ton CO₂/tahun. Hasil akhir dari perhitungan ini dinyatakan dalam bentuk karbon dioksida ekivalen (CO₂eq). Emisi CO₂eq yang dihasilkan dari kecamatan Wenang sebesar 49.36 juta ton CO₂eq/tahun.

Tabel 10. Hasil Perhitungan Emisi dari Limbah Sampah di Kecamatan Wenang

Komponen Sampah	Komposisi Sampah %	DOC %	DOC %	MSWT	MSWT Gg/tan	MSWF	MCF	DOCF	F	16/22	R	OX	EMIS CH ₄	EMIS CO ₂
Sisa Makanan	47.70%	13%	0.07155	6424	6.424	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	781.4206932	21991.77941
Kayu	1.14	43%	0.004902	6424	6.424	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	53.8103737	1506.690463
Kertas	18.66	40%	0.07464	6424	6.424	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	819.140159	22641.52621
Tekstil	1.54	24%	0.003696	6424	6.424	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	40.57103623	1136.011414
Kayu Kuli	1.49	39%	0.00381	6424	6.424	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	61.7710973	1703.775319
Plastik	19.48%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Logam	0.26%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kaca	1.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lainnya	7.88%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumlah Emisi Gg/Tahun													1765.930829	49361.78802
Jumlah Emisi Ton/Tahun													1765930.829	49361788.02

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Emisi Gas Rumah Kaca dari kecamatan Tikala

Timbunan Sampah yang dihasilkan di kecamatan Tikala berjumlah 16,3 ton sampah perhari dan 5.949 ton sampah per tahun, sampah yang dihasilkan dari kecamatan Tikala didominasi oleh sampah organik yang dapat mengeluarkan gas metana (CH₄). Jumlah emisi yang dikeluarkan oleh gas CH₄ di kecamatan Tikala berjumlah 1.512,10 Gg CH₄/tahun atau setara dengan 1,5 juta CH₄/tahun. Untuk emisi gas karbon dioksida (CO₂) menggunakan faktor pengali yang merujuk ke nilai *Global Warming Potential* (GWP) yang bernilai 25. Emisi CO₂ yang dihasilkan dari timbunan sampah yang ada di kecamatan Tikala berjumlah 42.339.01Gg CO₂/tahun atau setara dengan 42,33 juta ton CO₂/tahun. Hasil akhir dari perhitungan ini dinyatakan dalam bentuk karbon dioksida ekivalen (CO₂eq). Emisi CO₂eq yang

dihasilkan dari kecamatan Tikala sebesar 42,33 juta ton CO₂eq/tahun.

Tabel 11. Hasil Perhitungan Emisi dari Limbah Sampah di Kecamatan Tikala

Komponen Sampah	Komposisi Sampah %	DOC %	DOC %	MSWT	MSWT Gg/tan	MSWF	MCF	DOCF	F	16/22	R	OX	EMIS CH ₄	EMIS CO ₂
Sisa Makanan	47.70%	13%	0.07155	5949.5	5.9495	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	673.6778	18862.9774
Kayu	1.14	43%	0.004902	5949.5	5.9495	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	46.13469	1292.33145
Kertas	18.66	40%	0.07464	5949.5	5.9495	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	702.7716	19677.6049
Tekstil	1.54	24%	0.003696	5949.5	5.9495	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	34.79963	974.389439
Kayu Kuli	1.49	39%	0.00381	5949.5	5.9495	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	54.70393	1531.71067
Plastik	19.48%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Logam	0.26%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kaca	1.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lainnya	7.88%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumlah Emisi Gg/Tahun													1512.108	42339.0138
Jumlah Emisi Ton/Tahun													1512108	42339013.8

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Emisi Gas Rumah Kaca dari kecamatan Tuminting

Timbunan Sampah yang dihasilkan di kecamatan Tuminting berjumlah 29,5 ton sampah perhari dan 10.767 ton sampah per tahun, sampah yang dihasilkan dari kecamatan Tuminting didominasi oleh sampah organik yang dapat mengeluarkan gas metana (CH₄). Jumlah emisi yang dikeluarkan oleh gas CH₄ di kecamatan Tuminting berjumlah 4.952.808 Gg CH₄/tahun atau setara dengan 49.528 CH₄/tahun. Untuk emisi gas karbon dioksida (CO₂) menggunakan faktor pengali yang merujuk ke nilai *Global Warming Potential* (GWP) yang bernilai 25. Emisi CO₂ yang dihasilkan dari timbunan sampah yang ada di kecamatan Tuminting berjumlah 138.678,636 Gg CO₂/tahun atau setara dengan 138,67 juta ton CO₂/tahun. Hasil akhir dari perhitungan ini dinyatakan dalam bentuk karbon dioksida ekivalen (CO₂eq). Emisi CO₂eq yang dihasilkan dari kecamatan Tuminting sebesar 138,67 juta ton CO₂eq/tahun.

Tabel 12. Hasil Perhitungan Emisi dari Limbah Sampah di Kecamatan Tuminting

Komponen Sampah	Komposisi Sampah	DOC, %	DOC, %	MSWT	MSWT Gg/tahun	MSWF	MCF	DOCF	F	16/22	R	OX	EMIS CH4	EMISI CO2
Sisa Makanan	47.70%	15%	0.07155	10767.5	10.7675	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	2206.587	61784.43321
Kayu	1.14	43%	0.004902	10767.5	10.7675	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	151.1766	4252.946074
Kertas	18.66	40%	0.07464	10767.5	10.7675	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	2361.882	64452.69175
Tekstil	1.54	24%	0.003696	10767.5	10.7675	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	113.9839	3191.54808
Karet/Kulit	1.49	39%	0.00581	10767.5	10.7675	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	179.1792	5017.016868
Plastik	19.48%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Logam	0.26%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kaca	1.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lainnya	7.88%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumlah Emisi Gg/Tahun													4952.808	138678.636
Jumlah Emisi Ton/Tahun													4952808	138678636

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Emisi Gas Rumah Kaca dari kecamatan Paal Dua

Timbulan sampah yang dihasilkan di kecamatan Paal Dua berjumlah 24,2 ton sampah perhari dan 8.833 ton sampah per tahun, sampah yang dihasilkan dari kecamatan Paal Dua didominasi oleh sampah organik yang dapat mengeluarkan gas metana (CH₄). Jumlah emisi yang dikeluarkan oleh gas CH₄ di kecamatan Paal Dua berjumlah 3.333,02Gg CH₄/tahun atau setara dengan 3.3 juta CH₄/tahun. Untuk emisi gas karbon dioksida (CO₂) menggunakan faktor pengali yang merujuk ke nilai *Global Warming Potential* (GWP) yang bernilai 25. Emisi CO₂ yang dihasilkan dari timbulan sampah yang ada di kecamatan Paal Dua berjumlah 93.324,62 Gg CO₂/tahun atau setara dengan 93,324,62 Gg CO₂/tahun. Hasil akhir dari perhitungan ini dinyatakan dalam bentuk karbon dioksida ekivalen (CO₂eq). Emisi CO₂eq yang dihasilkan dari kecamatan Paal Dua sebesar 93,32 juta ton CO₂eq/tahun.

Tabel 13. Hasil Perhitungan Emisi dari Limbah Sampah di Kecamatan Paal Dua

Komponen Sampah	Komposisi Sampah	DOC, %	DOC, %	MSWT	MSWT Gg/tahun	MSWF	MCF	DOCF	F	16/22	R	OX	EMIS CH4	EMISI CO2
Sisa Makanan	47.70%	15%	0.07155	8833	8.833	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	1484.936	41578.2079
Kayu	1.14	43%	0.004902	8833	8.833	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	101.7352	2848.58666
Kertas	18.66	40%	0.07464	8833	8.833	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	1349.065	43373.8287
Tekstil	1.54	24%	0.003696	8833	8.833	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	76.70613	2147.77158
Karet/Kulit	1.49	39%	0.00581	8833	8.833	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	120.5797	3376.23184
Plastik	19.48%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Logam	0.26%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kaca	1.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lainnya	7.88%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumlah Emisi Gg/Tahun													3333.022	93324.6267
Jumlah Emisi Ton/Tahun													3333022	93324626.7

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Emisi Gas Rumah Kaca dari kecamatan Singkil

Timbulan sampah yang dihasilkan di kecamatan Singkil berjumlah 28 ton sampah perhari dan 10.220 ton sampah per tahun, sampah yang dihasilkan dari kecamatan Singkil didominasi oleh sampah organik yang dapat mengeluarkan gas metana (CH₄). Jumlah emisi yang dikeluarkan oleh gas CH₄ di kecamatan Singkil berjumlah 4.461,93 Gg CH₄/tahun atau setara dengan 4, 46 juta CH₄/tahun. Untuk emisi gas karbon dioksida (CO₂) menggunakan faktor pengali yang merujuk ke nilai *Global Warming Potential* (GWP) yang bernilai 25. Emisi CO₂ yang dihasilkan dari timbulan sampah yang ada di kecamatan Singkil berjumlah 124.934,27 Gg CO₂/tahun atau setara dengan 124,93 juta ton CO₂/tahun. Hasil akhir dari perhitungan ini dinyatakan dalam bentuk karbon dioksida ekivalen (CO₂eq). Emisi CO₂eq yang dihasilkan dari kecamatan Singkil sebesar 124,93 juta ton CO₂eq/tahun.

Tabel 14. Hasil Perhitungan Emisi dari Limbah Sampah di Kecamatan Singkil

Komponen Sampah	Komposisi Sampah	DOC, %	DOC, %	MSWT	MSWT Gg/tahun	MSWF	MCF	DOCF	F	16/22	R	OX	EMIS CH4	EMISI CO2
Sisa Makanan	47.70%	15%	0.07155	10220	10.22	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	1987.899	55661.01193
Kayu	1.14	43%	0.004902	10220	10.22	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	136.1994	3813.421111
Kertas	18.66	40%	0.07464	10220	10.22	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	2073.744	58064.82083
Tekstil	1.54	24%	0.003696	10220	10.22	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	102.687	2875.25501
Karet/Kulit	1.49	39%	0.00581	10220	10.22	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	161.4208	4519.783079
Plastik	19.48%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Logam	0.26%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kaca	1.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lainnya	7.88%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumlah Emisi Gg/Tahun													4461.938	124934.2725
Jumlah Emisi Ton/Tahun													4461938	124934272.5

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Emisi Gas Rumah Kaca dari kecamatan Mapanget

Timbulan sampah yang dihasilkan di kecamatan Mapanget berjumlah 33,5 ton sampah perhari dan 12.227 ton sampah per tahun, sampah yang dihasilkan dari kecamatan Mapanget didominasi oleh

sampah organik yang dapat mengeluarkan gas metana (CH₄). Jumlah emisi yang dikeluarkan oleh gas CH₄ di kecamatan Mapanget berjumlah 6.387,003 Gg CH₄/tahun atau setara dengan 6,38 juta CH₄/tahun. Untuk emisi gas karbon dioksida (CO₂) menggunakan faktor pengali yang merujuk ke nilai *Global Warming Potential* (GWP) yang bernilai 25. Emisi CO₂ yang dihasilkan dari timbunan sampah yang ada di kecamatan Mapanget berjumlah 178.836,08 Gg CO₂/tahun atau setara dengan 178,83 juta ton CO₂/tahun. Hasil akhir dari perhitungan ini dinyatakan dalam bentuk karbon dioksida ekuivalen (CO₂eq). Emisi CO₂eq yang dihasilkan dari kecamatan Mapanget sebesar 178,83 juta ton CO₂eq/tahun.

Tabel 15. Hasil Perhitungan Emisi dari Limbah Sampah di Kecamatan Mapanget

Komponen Sampah	Komposisi Sampah	DOC %	DOC %	MSWT	MSWT Gg/tm	MSWF	MCF	DOCF	F	16/22	R	OX	EMIS CH ₄	EMISI CO ₂
Sisa Makanan	47.70%	17%	0.07135	12227.5	12.2275	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	2845.558	79675.47276
Kayu	1.14	43%	0.064802	12227.5	12.2275	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	194.9532	5438.68374
Kertas	18.66	40%	0.07464	12227.5	12.2275	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	2996.442	83116.39416
Tekstil	1.54	24%	0.003696	12227.5	12.2275	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	146.9992	4115.73992
Kayu Kaki	1.49	39%	0.00581	12227.5	12.2275	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	231.0644	6469.38427
Plastik	19.48%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Logam	0.28%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kaca	1.83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lainnya	7.88%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumlah Emisi Gg/Tahun													6387.003	178836.0807
Jumlah Emisi Ton/Tahun													6387.003	178836.0807

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Emisi Gas Rumah Kaca dari kecamatan Bunaken

Timbunan sampah yang dihasilkan di kecamatan Bunaken berjumlah 14 ton sampah perhari dan 5.110 ton sampah per tahun, sampah yang dihasilkan dari kecamatan Bunaken didominasi oleh sampah organik yang dapat mengeluarkan gas metana (CH₄). Jumlah emisi yang dikeluarkan oleh gas CH₄ di kecamatan Bunaken berjumlah 0.218 Gg CH₄/tahun atau setara dengan 218,29 CH₄/tahun. Untuk emisi gas karbon dioksida (CO₂) menggunakan faktor pengali yang

merujuk ke nilai *Global Warming Potential* (GWP) yang bernilai 25. Emisi CO₂ yang dihasilkan dari timbunan sampah yang ada di kecamatan Bunaken berjumlah 6.112,244 Gg CO₂/tahun atau setara dengan 6.112 ton CO₂/tahun. Hasil akhir dari perhitungan ini dinyatakan dalam bentuk karbon dioksida ekuivalen (CO₂eq). Emisi CO₂eq yang dihasilkan dari kecamatan Bunaken sebesar 6.112 ton CO₂eq/tahun.

Tabel 16. Hasil Perhitungan Emisi dari Limbah Sampah di Kecamatan Bunaken

Komponen Sampah	Komposisi Sampah	DOC %	DOC %	MSWT	MSWT Gg/tm	MSWF	MCF	DOCF	F	16/22	R	OX	EMIS CH ₄	EMISI CO ₂
Sisa Makanan	47.70%	17%	0.07135	5110	5.11	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	0.097255	2.723441
Kayu	1.14	43%	0.064802	5110	5.11	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	0.006663	0.186567
Kertas	18.66	40%	0.07464	5110	5.11	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	0.101455	2.846745
Tekstil	1.54	24%	0.003696	5110	5.11	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	0.005024	0.140567
Kayu Kaki	1.49	39%	0.00581	5110	5.11	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	0.007897	0.221124
Plastik	19.48%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Logam	0.28%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kaca	1.83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lainnya	7.88%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumlah Emisi Gg/Tahun													0.218294	6.112244
Jumlah Emisi Ton/Tahun													218.2944	6112.244

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Emisi Gas Rumah Kaca dari kecamatan Bunaken Kepulauan

Timbunan sampah yang dihasilkan di kecamatan Bunaken Kepulauan berjumlah 3,5 ton sampah perhari dan 1.277 sampah per tahun, sampah yang dihasilkan dari kecamatan Bunaken Kepulauan didominasi oleh sampah organik yang dapat mengeluarkan gas metana (CH₄). Jumlah emisi yang dikeluarkan oleh gas CH₄ di kecamatan Bunaken Kepulauan berjumlah 0.054 Gg CH₄/tahun atau setara dengan 54,57 ton CH₄/tahun. Untuk emisi gas karbon dioksida (CO₂) menggunakan faktor pengali yang merujuk ke nilai *Global Warming Potential* (GWP) yang bernilai 28. Emisi CO₂ yang dihasilkan dari timbunan sampah yang ada di kecamatan Bunaken Kepulauan berjumlah 1.52 Gg CO₂/tahun atau setara

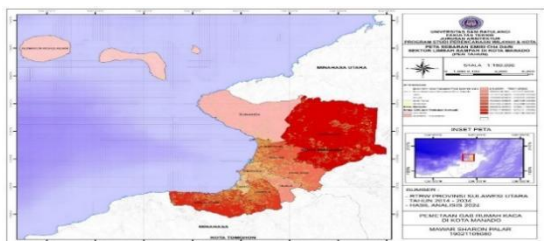
dengan 1.528,06 juta ton CO₂/tahun. Hasil akhir dari perhitungan ini dinyatakan dalam bentuk karbon dioksida ekivalen (CO₂eq). Emisi CO₂eq yang dihasilkan dari kecamatan Bunaken Kepulauan sebesar 1.528,06 ton CO₂eq/tahun.

Tabel 17. Hasil Perhitungan Emisi dari Limbah Sampah di Kecamatan Bunaken Kepulauan

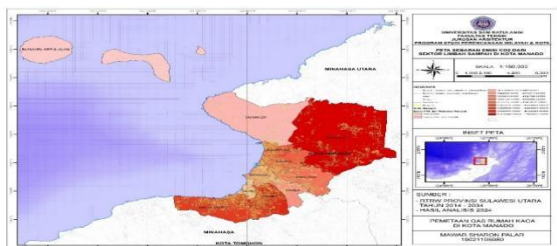
Komponen Sampah	Komponen Sampah	DOC %	DOC %	MSWT	MSWT Gg/tn	MSWF	MSCF	DOCF	F	16/22	R	COX	EMIS CH4	EMIS CO2
Sisa Makanan	47.70%	15%	0.07135	1277.5	1.2775	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	0.024314	0.680785
Kayu	1.34	43%	0.004902	1277.5	1.2775	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	0.001666	0.046642
Kertas	18.66	40%	0.07464	1277.5	1.2775	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	0.023564	0.710186
Tekstil	1.34	24%	0.003496	1277.5	1.2775	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	0.001256	0.035167
Karet/Kulit	1.49	39%	0.00381	1277.5	1.2775	1	0.8	0.5	0.5	1.33	0	0	0.001974	0.055281
Plastik	19.48%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Logam	0.20%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kaca	1.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lainnya	7.88%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumlah Emisi Gg/Tahun													0.054574	1.528061
Jumlah Emisi Ton/Tahun													54.57241	1528.061

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Dari hasil perhitungan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari sektor limbah yang ada di seluruh kecamatan di kota Manado, kecamatan paling banyak menghasilkan emisi gas rumah kaca yaitu kecamatan Mapanget dengan total emisi sebesar 159,67 juta ton CO₂eq/tahun dan kecamatan yang menghasilkan emisi paling sedikit adalah kecamatan Bunaken Kepulauan dengan total emisi 1.364,34 juta ton CO₂eq/tahun.



Gambar 9. Peta Emisi CH4 Dari Sektor Sampah di Kota Manado (Per-Tahun)



Gambar 10. Peta Sebaran Emisi CO2 dari Sektor Sampah di Kota Manado (Per-Tahun)

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis dalam penelitian ini yaitu Pemetaan Gas Rumah Kaca di kota Manado memperoleh kesimpulan bahwa sebaran gas rumah kaca yang ada di kota Manado dihitung dari sektor-sektor sebagai berikut:

A. Sektor Ternak

Jenis ternak yang paling banyak menyumbangkan emisi gas rumah kaca di kota Manado yaitu fermentasi dari ternak sapi potong yang berjumlah 3.331 ekor dengan total emisi sebesar 1,2 juta ton CO₂ per tahun dan emisi paling sedikit dihasilkan dari jenis ternak itik yang berjumlah 942 ekor dengan total emisi 144.41 ton CO₂ per tahun.

B. Sektor Energi

a) Penggunaan Listrik

Perhitungan emisi dari penggunaan listrik yang ada di kota Manado dihitung per rayon-rayon yang ada di kota Manado. Rayon yang paling banyak menghasilkan emisi adalah rayon Manado Selatan dengan jumlah emisi sebesar 336,34 juta ton CO₂/MWh per tahun dan rayon paling sedikit menghasilkan emisi adalah rayon Paniki dengan total emisi sebesar 102,20 juta ton CO₂/MWh per tahun

b) Bahan Bakar Gas

Dari hasil perhitungan emisi gas rumah kaca dari penggunaan BBG di kota Manado, kecamatan yang paling banyak menyumbang emisi adalah kecamatan Mapanget dengan emisi total 7714,84 ton CO₂ per tahun dan kecamatan yang paling sedikit kecamatan Bunaken Kepulauan dengan total emisi 757,70 ton CO₂/tahun.

c) Bahan Bakar Minyak

BBM yang dihitung adalah BBM jenis bensin dan solar yang tersebar di seluruh SPBU yang ada di kota Manado. Total emisi dari BBM jenis bensin berjumlah 304.800,29 ton CO₂/tahun dan emisi dari BBM jenis solar berjumlah 17.894,62 ton CO₂/tahun.

C. Sektor Limbah Sampah Perkotaan

Timbulan sampah yang paling banyak dihasilkan di kota Manado adalah sampah organik dengan total timbulan sampah 70,53% dan sampah anorganik sebesar 29,47% .Perhitungan emisi dari sektor limbah sampah di kota Manado menggunakan skenario semua sampah yang ada di setiap kecamatan langsung masuk ke TPA tanpa adanya reduksi sampah. Dari hasil perhitungan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari sektor limbah yang ada di seluruh kecamatan di kota Manado, kecamatan paling banyak menghasilkan emisi gas rumah kaca yaitu kecamatan Mapanget dengan total emisi sebesar 159,67 juta ton CO₂eq/tahun dan kecamatan yang menghasilkan emisi paling sedikit adalah kecamatan Bunaken Kepulauan dengan total emisi 1.364,34 juta ton CO₂eq/tahun.

2. Dari hasil analisis diperoleh data-data jumlah emisi dari masing-masing sektor serta data-data tersebut disajikan dalam peta. Khusus sektor ternak tidak disajikan di dalam peta dikarenakan data-data yang ada merupakan data jenis ternak per kota tidak dalam bentuk data jenis ternak per kecamatan. Sektor yang paling banyak menyumbang emisi gas rumah kaca di kota Manado adalah

sektor limbah dengan total emisi sebesar 917.58 juta ton CO₂eq dan sektor yang paling sedikit menyumbangkan emisi adalah subsektor energi dengan jenis Bahan Bakar Gas (BBG) dengan total emisi sebesar 54.476,75 ton CO₂/tahun.

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka peneliti memberikan saran kepada:

- Pemerintah

Kepada pemerintah diharapkan melaksanakan PERPRES No. 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) adalah dengan menyusun Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAD-GRK). RAD-GRK akan menjadi instrumen penting dalam upaya mencapai target penurunan emisi GRK yang telah ditetapkan. Dalam menyusun RAD-GRK, pemerintah dapat melibatkan berbagai pemangku kepentingan termasuk pemerintah daerah, sektor swasta, dan masyarakat untuk memastikan keselarasan dan kesepakatan dalam implementasinya. serta kiranya pemerintah dapat melakukan sosialisasi terhadap masyarakat tentang pentingnya mengetahui faktor-faktor yang dapat menyebabkan konsentrasi GRK semakin meningkat serta dampaknya pada keberlanjutan kondisi lingkungan. Selain itu, pemerintah juga dapat menerapkan konsep *green economy* dalam rangka mencapai target *zero emission*. Konsep *green economy* akan membantu mengarahkan kebijakan dan program yang mendukung pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan tanpa

mengorbankan lingkungan. Penerapan konsep *green economy* dapat dilakukan melalui berbagai cara, seperti meningkatkan efisiensi energi, mengembangkan transportasi berkelanjutan, mempromosikan penggunaan energi terbarukan, dan mengelola limbah dengan baik. Dengan menerapkan RAD-GRK dan konsep *green economy*, diharapkan pemerintah dapat mencapai target penurunan emisi GRK secara efektif dan efisien, serta berkontribusi pada upaya global dalam mengatasi perubahan iklim.

- Masyarakat

Kiranya masyarakat yang ada di kota Manado lebih memperhatikan hal-hal yang dapat menyebabkan emisi gas rumah kaca semakin meningkat.

- Peneliti Selanjutnya

Untuk penelitian selanjutnya agar dapat menganalisis dengan tingkatan atau tier yang lebih tinggi (tier 2 dan tier 3) serta menghitung serapan karbon yang ada di kota Manado.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistik Kota Manado. 2023. *Kota Manado dalam Angka 2023*. <https://manadokota.bps.go.id/publication/2023/02/28/27efc03ce34ac287612ae4de/kota-manado-dalam-angka-2023.html>

Darimi, D., Siregar, Y. I., & Anita, S. Beban Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Berdasarkan Jarak Tempuh Dan Jumlah Kendaraan Pada Persimpangan Pasar Pagi Arengka Pekanbaru.

<https://repository.unri.ac.id/handle/123456789/9510>

DIRJEN Ketenagalistrikan, 2019. Faktor Emisi Grk Sistem Ketenagalistrikan Tahun 2019.

https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/96d7c-nilai-fe-grk-sistem-ketenagalistrikan-tahun-2019.pdf

Fauziawan, A. I., Putra, I. M. A. W., & Wiyati, R. K. (2021). Pemakaian Geographic Information System Untuk Pemetaan Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Limbah Di Kabupaten Karangasem. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, 6(3).

Gobel, I. W. J., Tondobala, L., & Sela, R. L. (2019). Sebaran Spasial Emisi Gas Karbon Dioksida (CO₂) pada Kawasan Permukiman di Kecamatan Singkil Kota Manado. *SPASIAL*, 6(3), 628-636.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. "Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories". Institute for global environmental strategies (IGS), Hayama, Japan.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2023. Sixth Assessment Report. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2020. Pedoman Penyusunan Data Aktivitas IGRK

- (Inventarisasi Gas Rumah Kaca) Pemerintah Daerah Sektor Energi. https://ditjenppi.menlhk.go.id/reddplu/s/images/adminppi/dokumen/igrk/Buku-2-IGRK-Pedoman-Sektor-Energi_V2-online.pdf
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2012. Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Volume 3 Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi Dan Penyerapan Gas Rumah Kaca Pertanian, Kehutanan, Dan Penggunaan Lahan Lainnya. https://signsmart.menlhk.go.id/v2.1/app/frontend/pedoman/download/Pedoman_Buku_II_Volume_3_AFOLU1.pdf
- Nurhayati dan Widiawati.2017. Emisi Gas Rumah Kaca dari Peternakan di Pulau Jawa yang Dihitung dengan Metode Tier-1 IPCC. <https://repository.pertanian.go.id/server/api/core/bitstreams/c6ae80cd-ae1d-4f3b-9aad-a6b71851e2ba/content>
- Peraturan Presiden No. 71. (2011). Penyelenggaran Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional.
- Undang Undang Nomor 17 Tahun 2004 Tentang Pengesahan *Kyoto Protocol To The United Nations Framework Convention On Climate Change* (Protokol Kyoto Atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa Tentang Perubahan Iklim.
- Warokka, A., Siwi, H. ., Tumembow, M. N. T., & Papia, J. . (2021). Pengolahan Sampah Perkotaan Manado dengan Proses Gasifikasi Menggunakan Updraft Gasifier di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sumompo. *JURNAL MASINA NIPAKE*, 1(2), 105-113. Diambil dari <https://p3m.polimdo.ac.id/jurnal/index.php/MASINA-NIPAKE/article/view/80>