

LAPORAN AKHIR



INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MALANG

2025

DINAS LINGKUNGAN HIDUP (DLH)

LAPORAN AKHIR
KEGIATAN INVENTARISASI GAS RUMAH KACA (GRK)
KOTA MALANG TAHUN 2025

DINAS LINGKUNGAN HIDUP
KOTA MALANG
2025

KATA PENGANTAR

Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) di Kota Malang merupakan upaya penting dalam menyediakan data dan informasi terkait jumlah emisi GRK yang dihasilkan. Informasi ini diharapkan dapat menjadi landasan dalam merumuskan kebijakan serta strategi penurunan emisi yang efektif, sekaligus mendukung terwujudnya pembangunan berkelanjutan di Kota Malang.

Tim penyusun menyadari bahwa laporan ini masih memiliki keterbatasan dan mungkin terdapat kekurangan. Oleh karena itu, kritik, saran, maupun masukan yang bersifat membangun dari berbagai pihak sangat kami harapkan guna penyempurnaan di masa mendatang.

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, baik berupa data, informasi, maupun pemikiran, sehingga laporan ini dapat terselesaikan dengan baik.

Akhirnya, besar harapan kami agar laporan ini dapat bermanfaat sebagai salah satu sumber referensi, serta menjadi pijakan dalam upaya bersama mencapai target penurunan emisi GRK di Kota Malang pada masa yang akan datang.

Tim Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Maksud dan Tujuan.....	2
1.3. Sasaran.....	2
1.4. Ruang Lingkup	3
1.5. Dasar Hukum	4
1.6. Keluaran Kegiatan.....	4
1.7. Tahapan Pelaksanaan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Konsep dan Dampak Perubahan Iklim	6
2.2. Gas Rumah Kaca (GRK) dan Sumber Emisinya	7
2.3. Kebijakan dan Komitmen Nasional Penurunan Emisi GRK	8
2.4. Inventarisasi GRK sebagai Instrumen Mitigasi	9
2.5. Metodologi Perhitungan Emisi GRK.....	10
2.6. Peran Pemerintah Daerah dalam Mitigasi Iklim	12
BAB III METODOLOGI	14
3.1. Gambaran Umum Wilayah	14
3.2. Rencana Kerja	16
3.3. Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1. Profil Emisi GRK dari Sektor Energi	25
4.2. Profil Emisi GRK dari Sektor AFOLU	29
4.2.1. Subsektor Peternakan.....	29
4.2.2. Subsektor Pertanian	33
4.3. Emisi GRK dari Sektor Sektor Limbah.....	38
4.4. Total Emisi GRK Kota Malang 2021-2024.....	44

4.5.	Estimasi Serapan Karbon oleh Pohon Pelindung Kota Malang.....	46
4.5.1.	Metodologi Perhitungan	46
4.5.2.	Hasil Perhitungan dan Distribusi Serapan Karbon	47
4.5.3.	Interpretasi dan Keterbatasan	48
4.5.4.	Dinamika Tutupan Lahan Kota Malang Tahun 2021-2025 dan Kaitannya dengan Serapan Karbon	48
4.5.5.	Implikasi terhadap Kebijakan dan Mitigasi Iklim	51
4.6.	Strategi Penurunan Emisi GRK Kota Malang	52
BAB V KESIMPULAN		56
5.1.	Kesimpulan	59
5.2.	Rekomendasi	60
DAFTAR PUSTAKA		62
LAMPIRAN		66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Luas Kecamatan diambil dari Data Geospasial Satudata Kota Malang	14
Gambar 2. Profil konsumsi BBM di Kota Malang dalam 4 tahun terakhir	25
Gambar 3. Profil konsumsi listrik di Kota Malang dalam 4 tahun terakhir	26
Gambar 4. Profil konsumsi beberapa sumber energi penyumbang emisi yang digunakan oleh rumah tangga di Kota Malang dalam 4 tahun terakhir	27
Gambar 5. Jumlah Total Emisi GRK (CO ₂ E, Gg) Dari Sektor Energi Kota Malang Dalam 4 Tahun Terakhir	29
Gambar 6. Jumlah ternak berdasarkan kategori hewan di Kota Malang dalam kurun 4 tahun terakhir	30
Gambar 7. Jumlah emisi GRK subsektor peternakan senyawa metana (CH ₄) selama kurun waktu 4 tahun di Kota Malang.....	32
Gambar 8. Jumlah emisi GRK subsektor peternakan senyawa dinitrogen oksida (N ₂ O) selama kurun waktu 4 tahun di Kota Malang. N ₂ O _D : Direct N ₂ O Emissions from Manure Management Systems, N ₂ O _G : Indirect N ₂ O Emissions from Manure Management.....	33
Gambar 9. Jumlah Emisi GRK Subsektor Pertanian dari aktivitas penggunaan pupuk urea	34
Gambar 10. Jumlah Emisi GRK Subsektor Pertanian dari aktivitas pengolahan sawah padi	35
Gambar 11. Jumlah Emisi GRK Subsektor Pertanian dari aktivitas pembakaran biomassa sisa panen. L _{fire} -CH ₄ : CH ₄ emissions from fire, L _{fire} -N ₂ O: N ₂ O emissions from fire.....	36
Gambar 12. Jumlah Emisi GRK Subsektor Pertanian dari aktivitas pengolahan lahan yang menghasilkan N ₂ O Langsung. Direct N ₂ O: Direct N ₂ O Emissions from Managed Soils.....	36
Gambar 13. Jumlah Emisi GRK (CO ₂ Ekuivalen, Gg) dari Sektor AFOLU Kota Malang dalam kurun 4 tahun terakhir	38
Gambar 14. Profil komposisi sampah di Kota Malang dalam kurun waktu 4 tahun	39
Gambar 15. Profil persentase sampah yang dijadikan kompos (Composting) di Kota Malang dalam kurun waktu 4 tahun.....	40

Gambar 16. Hubungan jumlah timbulan sampah padat di TPA dengan emisi CH_4 yang dihasilkan di Kota Malang dalam kurun waktu 4 tahun	41
Gambar 17. Jumlah Emisi GRK (CH_4) yang dihasilkan dari aktivitas pengomposan sampah organik di TPA	42
Gambar 18. Jumlah Emisi GRK (N_2O) yang dihasilkan dari aktivitas pengomposan sampah organik di TPA	43
Gambar 19. Jumlah total emisi GRK (CO_2e , Gg) dari Sektor Limbah Kota Malang dalam kurun 4 tahun terakhir	43
Gambar 20. Besaran Emisi GRK (CO_2E , Gg) per sektor	45
Gambar 21. Kontribusi tiap sektor terhadap besaran total emisi GRK (CO_2E , Gg) di Kota Malang.....	45
Gambar 22. Tutupan lahan tahun 2020-2025 di Kota Malang	50

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tahapan dan jadwal pelaksanaan tiap kegiatan	17
Tabel 2. Perhitungan potensi serapan karbon (CO ₂) oleh vegetasi pohon di Kota Malang	47
Tabel 3. Profil perubahan tutupan lahan Kota Malang	49
Tabel 4. Matriks Rencana Aksi Daerah (RAD) Penurunan Emisi GRK Kota Malang	54
Tabel 5. Jalur Penurunan Emisi GRK Kota Malang Tahun 2025–2030. Baseline: Emisi GRK Tahun 2024 = 3.496,14 Gg CO ₂ e	57

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perubahan iklim merupakan tantangan global yang berdampak signifikan terhadap keberlanjutan lingkungan, sosial, dan ekonomi. Salah satu penyebab utama perubahan iklim adalah meningkatnya konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK) di atmosfer akibat aktivitas manusia. Pemerintah Indonesia telah menunjukkan komitmen kuat terhadap isu ini dengan menetapkan target penurunan emisi GRK sebesar 26% pada tahun 2020 dengan sumber pendanaan domestik, dan hingga 41% dengan dukungan internasional. Komitmen tersebut kemudian diperkuat melalui dokumen *Nationally Determined Contribution (NDC)* yang menetapkan target penurunan emisi sebesar 31,89% secara mandiri dan hingga 43,20% dengan bantuan internasional pada tahun 2030.

Kebijakan penurunan emisi GRK juga tercermin dalam arah pembangunan nasional, sebagaimana tercantum dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2025–2030. Salah satu prioritasnya adalah peningkatan kualitas lingkungan hidup dan penanggulangan perubahan iklim, yang dilaksanakan melalui penguatan pemantauan lingkungan, pengurangan risiko bencana, serta peningkatan kapasitas mitigasi dan adaptasi. Di sisi regulasi, Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup menekankan pentingnya pelestarian fungsi atmosfer melalui upaya mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim.

Sebagai pelaksanaan dari komitmen nasional, pemerintah telah mengesahkan Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi GRK dan Peraturan Presiden Nomor 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi GRK Nasional. Peraturan ini mengamanatkan kepada seluruh pemerintah daerah untuk turut serta menyusun inventarisasi GRK secara berkala sebagai dasar perencanaan aksi mitigasi dan pembangunan rendah karbon di tingkat daerah.

Kota Malang sebagai salah satu kota besar di Indonesia, memiliki peran penting dalam mendukung agenda nasional tersebut. Aktivitas ekonomi dan sosial yang pesat di perkotaan menyebabkan tingginya konsumsi energi, produksi limbah, dan kegiatan lain

yang berpotensi menghasilkan emisi GRK dalam jumlah besar. Di sisi lain, kota juga merupakan entitas yang paling rentan terhadap dampak perubahan iklim. Oleh karena itu, inventarisasi GRK menjadi langkah awal yang penting untuk memetakan kontribusi emisi dari sektor-sektor utama seperti energi, proses industri dan penggunaan produk (IPPU), pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan lainnya (AFOLU), serta limbah.

Melalui kegiatan inventarisasi GRK Tahun 2025 ini, Pemerintah Kota Malang berupaya mengidentifikasi status dan tren emisi GRK dengan metode yang sesuai pedoman IPCC dan acuan teknis dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Hasil inventarisasi ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi perumusan strategi dan kebijakan mitigasi perubahan iklim yang efektif, sekaligus memperkuat kontribusi Kota Malang dalam pencapaian target penurunan emisi nasional serta pelaporan secara transparan melalui sistem nasional seperti SIGN SMART.

1.2. Maksud dan Tujuan

Kegiatan inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Malang Tahun 2025 dimaksudkan untuk menyediakan data emisi GRK yang akurat, terkini, dan dapat dipertanggungjawabkan sebagai dasar dalam perencanaan dan pelaksanaan kebijakan pembangunan rendah karbon di tingkat kota. Inventarisasi ini juga dimaksudkan untuk memperkuat kapasitas pemerintah daerah dalam pelaporan emisi dan mendukung keterlibatan Kota Malang dalam upaya nasional dan global pengendalian perubahan iklim.

Tujuan dari kegiatan ini adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data dan informasi kegiatan penyumbang emisi dan faktor emisinya di Kota Malang;
2. Mengetahui status, tingkat, dan kecenderungan emisi gas rumah kaca di Kota Malang;
3. Menyusun laporan data inventarisasi emisi GRK untuk menunjang perencanaan aksi mitigasi dan pengendalian dampak perubahan iklim.

1.3. Sasaran

Sasaran yang ingin dicapai dalam kegiatan inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Malang Tahun 2025 antara lain:

1. Terlaksananya pengumpulan data dan informasi terkait kegiatan penyumbang emisi GRK serta faktor emisinya dari sektor-sektor utama di wilayah Kota Malang, seperti energi, proses industri, pertanian, dan limbah;
2. Teridentifikasinya status, tingkat, dan kecenderungan emisi GRK berdasarkan sektor dan jenis gas, sehingga dapat diketahui kontribusi masing-masing sektor terhadap total emisi Kota Malang;
3. Tersedianya dokumen inventarisasi GRK Kota Malang Tahun 2025 yang komprehensif dan sesuai dengan pedoman nasional dan internasional, sehingga dapat digunakan untuk:
 - Pelaporan inventarisasi GRK ke tingkat provinsi dan nasional;
 - Bahan penyusunan strategi dan rencana aksi mitigasi perubahan iklim di tingkat kota;
 - Rujukan bagi perencana kebijakan, akademisi, serta mitra pembangunan dalam pengembangan program pembangunan rendah karbon.

1.4. Ruang Lingkup

Ruang lingkup kegiatan inventarisasi GRK Kota Malang Tahun 2025 mencakup:

1. Wilayah: Seluruh wilayah administratif Kota Malang.
2. Periode Waktu: Tahun penghitungan emisi yang dianalisis adalah tahun kalender 2025.
3. Jenis Gas Rumah Kaca: Gas yang dihitung meliputi Karbon Dioksida (CO_2), Metana (CH_4), dan Dinitrogen Oksida (N_2O), sesuai dengan standar IPCC.
4. Sektor yang Dianalisis:
 - a. Energi: termasuk konsumsi bahan bakar di sektor transportasi, rumah tangga, komersial, dan industri.
 - b. Proses Industri dan Penggunaan Produk (IPPU): termasuk emisi dari proses industri dan penggunaan bahan kimia atau material tertentu.
 - c. Pertanian: termasuk emisi dari kegiatan pertanian tanaman, peternakan, dan penggunaan lahan.
 - d. Limbah: termasuk emisi dari pengelolaan limbah padat domestik dan air limbah.

5. Metodologi: Penghitungan dilakukan dengan pendekatan Tier 1 mengacu pada pedoman 2006 IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* dan pembaruan 2019 *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines*.

1.5. Dasar Hukum

Kegiatan Inventarisasi Gas Rumah Kaca berpedoman pada:

1. Undang - Undang Nomor 6 Tahun 1994 tentang Pengesahan *United Nations Framework Convention on Climate Change* (Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Perubahan Iklim);
2. 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);
4. Undang - Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup;
5. Undang - Undang Nomor 31 Tahun 2009 tentang Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika;
6. Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca;
7. Peraturan Presiden Nomor 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional;
8. Peraturan Presiden Nomor 2 Tahun 2015 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) Tahun 2025-2030;

1.6. Keluaran Kegiatan

Keluaran kegiatan ini adalah laporan yang berisi tingkat, status, kecenderungan dan perkembangan emisi gas rumah kaca di Kota Malang dalam bentuk dokumen “INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MALANG TAHUN 2025”.

1.7. Tahapan Pelaksanaan

Pelaksanaan kegiatan inventarisasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Kota Malang dilaksanakan secara sistematis melalui beberapa tahapan utama yang saling terkait. Tahapan ini dirancang agar seluruh proses inventarisasi berjalan secara terstruktur, akurat, dan dapat dipertanggungjawabkan baik dari sisi metodologi maupun kualitas data. Adapun tahapan-tahapan pelaksanaan kegiatan ini adalah sebagai berikut:

a. Persiapan dan Koordinasi Awal

Tahap awal meliputi pembentukan tim pelaksana, penetapan jadwal kegiatan, dan koordinasi dengan pemangku kepentingan terkait seperti perangkat daerah, DLH, serta instansi sektor sumber emisi. Pada tahap ini juga dilakukan identifikasi kebutuhan data dan sumber informasi yang relevan.

b. Pengumpulan Data Aktivitas

Data dikumpulkan dari sektor-sektor penyumbang emisi utama, yaitu energi, transportasi, limbah, industri, dan pertanian. Pengumpulan data dilakukan melalui survei, wawancara, dan inventarisasi dokumen dari instansi teknis atau pihak swasta yang relevan.

c. Perhitungan Emisi GRK

Setelah data terkumpul, dilakukan perhitungan emisi GRK berdasarkan metodologi yang mengacu pada pedoman *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Perhitungan dilakukan secara sektoral sesuai dengan klasifikasi sumber emisi dan menggunakan *emission factors* yang sesuai.

d. Validasi dan Verifikasi Internal

Data hasil perhitungan emisi GRK akan divalidasi secara internal untuk memastikan konsistensi, kelengkapan, dan ketepatan perhitungan. Bila diperlukan, dilakukan klarifikasi dengan penyedia data untuk menghindari kesalahan pencatatan.

e. Penyusunan Laporan Inventarisasi

Setelah seluruh data divalidasi, disusun laporan yang mencakup profil emisi per sektor, total emisi Kota Malang, serta analisis kecenderungan sumber emisi dominan. Laporan juga dilengkapi dengan narasi metodologi dan pendekatan yang digunakan.

f. Sosialisasi dan Penyampaian Hasil

Hasil inventarisasi disampaikan kepada pemangku kepentingan melalui forum atau pertemuan teknis. Tahap ini bertujuan untuk mendapatkan masukan, memperkuat kolaborasi multipihak, dan menjadi dasar perumusan kebijakan mitigasi iklim daerah.

g. Rekomendasi Tindak Lanjut

Tahapan terakhir adalah penyusunan rekomendasi untuk penguatan kebijakan dan program penurunan emisi di Kota Malang, termasuk pengembangan dokumen Rencana Aksi Daerah dan mekanisme pemantauan berkelanjutan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konsep dan Dampak Perubahan Iklim

Perubahan iklim merupakan fenomena perubahan jangka panjang yang terjadi pada pola suhu, cuaca, dan iklim global maupun regional. Perubahan ini terutama disebabkan oleh aktivitas manusia yang meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer. Gas-gas seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan dinitrogen oksida (N_2O) dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, aktivitas pertanian, serta limbah industri. Akumulasi gas-gas ini memperkuat efek rumah kaca alami, yang seharusnya menjaga suhu Bumi tetap stabil, sehingga menyebabkan pemanasan global yang signifikan (IPCC, 2021).

Pemanasan global akibat peningkatan GRK menyebabkan suhu rata-rata permukaan bumi terus meningkat. Kenaikan suhu ini memicu berbagai perubahan drastis di sistem iklim dunia, termasuk mencairnya lapisan es di kutub dan pegunungan, yang pada gilirannya menyebabkan naiknya permukaan air laut. Fenomena ini berpotensi mengancam wilayah pesisir dengan risiko banjir dan erosi yang semakin parah. Selain itu, perubahan iklim juga mengubah pola curah hujan dan musim hujan, sehingga berdampak pada distribusi dan ketersediaan air tawar di berbagai wilayah (IPCC, 2021; World Bank, 2018).

Dampak perubahan iklim sangat luas dan merambah ke sektor sosial-ekonomi. Dalam bidang pertanian, perubahan pola curah hujan dan peningkatan suhu dapat menurunkan hasil panen, mengancam ketahanan pangan global, dan meningkatkan risiko gagal panen di daerah rawan (Suarja et al., 2024). Sumber daya air yang semakin tidak menentu juga mempengaruhi ketersediaan air bersih untuk konsumsi, irigasi, dan industri. Di samping itu, peningkatan frekuensi dan intensitas bencana hidrometeorologi seperti banjir, kekeringan, dan badai tropis semakin mengancam keselamatan jiwa, kesehatan masyarakat, dan infrastruktur penting (Batool et al., 2019).

Perubahan iklim juga membawa dampak yang serius terhadap kesehatan manusia. Peningkatan suhu dan perubahan pola iklim dapat memperluas penyebaran penyakit menular seperti malaria dan demam berdarah, serta memperburuk kondisi kesehatan akibat gelombang panas dan polusi udara (Dumic & Severnini, 2018; Huang

et al., 2021; Orru et al., 2017). Kerentanan kelompok masyarakat tertentu, seperti penduduk miskin dan komunitas di daerah pesisir, juga meningkat karena mereka memiliki kapasitas adaptasi yang lebih rendah terhadap perubahan lingkungan yang cepat ini (Khine & Langkulsen, 2023; Satyajit Singh et al., 2023).

Untuk menghadapi tantangan besar ini, diperlukan upaya mitigasi dan adaptasi yang terpadu dan berkelanjutan. Mitigasi dilakukan dengan mengurangi emisi GRK melalui penggunaan energi terbarukan, peningkatan efisiensi energi, dan perlindungan ekosistem seperti hutan dan lahan basah yang menyerap karbon. Adaptasi mencakup pengembangan sistem pertanian yang tahan iklim, perbaikan infrastruktur tahan bencana, serta peningkatan kesadaran dan kapasitas masyarakat dalam menghadapi perubahan iklim. Dengan kolaborasi global dan aksi lokal yang kuat, dampak perubahan iklim dapat diminimalkan demi menjaga keberlanjutan lingkungan dan kesejahteraan manusia di masa depan.

2.2. Gas Rumah Kaca (GRK) dan Sumber Emisinya

Gas Rumah Kaca (GRK) adalah komponen gas di atmosfer yang mampu menyerap dan memancarkan kembali radiasi inframerah, sehingga menyebabkan terjadinya efek rumah kaca. Efek ini merupakan proses alami yang menjaga suhu Bumi agar tetap hangat dan mendukung kehidupan (Bayer et al., 2015). Namun, aktivitas manusia yang berlebihan telah meningkatkan konsentrasi GRK secara signifikan, sehingga memperkuat efek rumah kaca alami dan menyebabkan pemanasan global serta perubahan iklim (Dai et al., 2024). Beberapa jenis GRK utama yang berkontribusi terhadap perubahan iklim meliputi karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dinitrogen oksida (N_2O), dan gas fluorinated seperti hidrofluorokarbon (HFCs) (Zhumadilova et al., 2023). Di antara semuanya, karbon dioksida merupakan GRK paling dominan secara volume, meskipun metana dan dinitrogen oksida memiliki potensi pemanasan global (*Global Warming Potential/GWP*) yang jauh lebih besar per molekulnya dibanding CO_2 (Feng et al., 2022).

Sumber utama emisi karbon dioksida (CO_2) berasal dari pembakaran bahan bakar fosil (batu bara, minyak bumi, dan gas alam) untuk keperluan energi, transportasi, dan industri. Selain itu, deforestasi dan perubahan tata guna lahan juga berkontribusi terhadap peningkatan emisi CO_2 karena mengurangi jumlah vegetasi yang berfungsi

sebagai penyerap karbon (*carbon sink*) (De Sy et al., 2015). Metana (CH_4) banyak dihasilkan dari kegiatan pertanian (terutama fermentasi enterik pada hewan ternak), pengelolaan limbah organik, serta kegiatan eksplorasi dan distribusi bahan bakar fosil. Sementara itu, dinitrogen oksida (N_2O) sebagian besar berasal dari penggunaan pupuk nitrogen di sektor pertanian dan proses industri tertentu. Gas fluorinated seperti HFCs, PFCs, dan SF_6 adalah GRK sintetis yang digunakan dalam pendingin, pelarut industri, dan peralatan elektronik. Meskipun konsentrasinya di atmosfer relatif kecil, gas-gas ini memiliki GWP yang sangat tinggi dan masa tinggal yang lama di atmosfer, sehingga dampaknya terhadap pemanasan global sangat signifikan.

Dengan memahami jenis-jenis GRK dan sumber emisinya, kita dapat merancang strategi mitigasi yang lebih efektif dan berbasis data. Upaya pengurangan emisi GRK memerlukan pendekatan multisektor yang mencakup pengembangan energi bersih, efisiensi penggunaan energi, pertanian berkelanjutan, pengelolaan limbah, serta perlindungan hutan dan ekosistem alami lainnya. Pengendalian emisi GRK menjadi kunci utama dalam upaya global mengatasi krisis iklim.

2.3. Kebijakan dan Komitmen Nasional Penurunan Emisi GRK

Indonesia sebagai negara kepulauan yang rentan terhadap dampak perubahan iklim telah menunjukkan komitmen yang kuat dalam menurunkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dan berkontribusi terhadap pengendalian perubahan iklim global. Komitmen ini pertama kali dinyatakan secara resmi pada Konferensi Perubahan Iklim di Copenhagen tahun 2009, ketika Indonesia secara sukarela menyatakan target penurunan emisi GRK sebesar 26% dengan usaha sendiri dan hingga 41% dengan bantuan internasional dibandingkan skenario business as usual (BAU) pada tahun 2020 (Sekaranom et al., 2022).

Sebagai tindak lanjut, Indonesia mengesahkan Undang-Undang No. 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan Paris Agreement, yang mengikat Indonesia untuk menyusun dan melaksanakan kontribusi nasional (*Nationally Determined Contribution/NDC*) dalam menurunkan emisi GRK dan beradaptasi terhadap perubahan iklim. Dalam dokumen Updated NDC tahun 2021, Indonesia memperbarui target penurunan emisi menjadi 29% secara mandiri dan 41% dengan dukungan internasional pada tahun 2030 (Goldenberg, 2015; Republic of Indonesia, 2022), yang difokuskan pada lima sektor

utama: energi, limbah, proses industri dan penggunaan produk (IPPU), pertanian, dan kehutanan.

Untuk mendukung pencapaian target NDC tersebut, pemerintah telah mengembangkan berbagai kebijakan dan instrumen nasional, seperti Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi GRK (RAN-GRK), dan Strategi Implementasi FOLU Net Sink 2030 yang menargetkan sektor kehutanan dan penggunaan lahan sebagai penyerap karbon bersih. Selain itu, integrasi kebijakan perubahan iklim dalam dokumen perencanaan pembangunan nasional dan daerah juga telah dilakukan melalui instrumen seperti RPJMN, KLHS, dan Rencana Aksi Daerah (RAD-GRK). Dalam konteks pendanaan dan pembiayaan, Indonesia juga membentuk Badan Pengelola Dana Lingkungan Hidup (BPDLH) sebagai mekanisme untuk menyalurkan dana iklim, serta menjalin kemitraan internasional melalui skema REDD+, *Green Climate Fund*, dan kerja sama bilateral. Pemerintah juga mulai mendorong penggunaan instrumen ekonomi seperti pajak karbon dan perdagangan karbon (carbon trading) untuk menciptakan insentif pasar dalam pengurangan emisi.

Dengan kerangka kebijakan yang semakin kuat dan komprehensif ini, pemerintah pusat mendorong pemerintah daerah, termasuk Kota Malang, untuk melakukan inventarisasi emisi GRK sebagai langkah awal dalam merancang kebijakan mitigasi berbasis data. Inventarisasi GRK di tingkat kota tidak hanya penting untuk pelaporan nasional, tetapi juga sebagai dasar dalam perencanaan pembangunan rendah karbon dan adaptif terhadap perubahan iklim.

2.4. Inventarisasi GRK sebagai Instrumen Mitigasi

Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) adalah proses pengumpulan, pencatatan, dan perhitungan jumlah emisi dan serapan GRK yang terjadi dalam batas wilayah atau sektor tertentu selama periode waktu tertentu. Inventarisasi ini menjadi dasar yang penting dalam perencanaan aksi mitigasi perubahan iklim karena menyediakan data dan informasi kuantitatif yang akurat mengenai sumber emisi dan potensi reduksi GRK di suatu wilayah. Tanpa data yang valid, upaya penurunan emisi akan bersifat spekulatif dan sulit untuk dievaluasi secara berkala (Cunningham & Leventhal, 2023).

Sebagai instrumen mitigasi, inventarisasi GRK memiliki beberapa fungsi strategis. Pertama, ia memungkinkan pemerintah daerah untuk mengidentifikasi sektor

penyumbang emisi terbesar dan merancang intervensi kebijakan yang berbasis bukti (*evidence-based policy*) (Arioli et al., 2020). Kedua, inventarisasi membantu dalam monitoring dan evaluasi (Monev) pencapaian target penurunan emisi sesuai dengan kontribusi nasional yang ditentukan (NDC). Ketiga, data inventarisasi berfungsi sebagai alat komunikasi dan transparansi kepada pemangku kepentingan, baik di tingkat nasional maupun internasional, termasuk dalam laporan ke UNFCCC dan kerja sama pendanaan iklim (Austin et al., 2018; Been et al., 2021).

Pemerintah Indonesia melalui Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) telah mengembangkan Sistem Registri Nasional (SRN) sebagai platform nasional untuk pelaporan inventarisasi GRK dan aksi mitigasi. Selain itu, Peraturan Presiden No. 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional mengatur pelaksanaan inventarisasi GRK di tingkat pusat dan daerah. Inventarisasi dilakukan berdasarkan kategori emisi dari lima sektor utama: energi, industri dan penggunaan produk (IPPU), pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan lainnya (AFOLU), serta limbah, dengan metode perhitungan yang mengacu pada IPCC Guidelines.

Di tingkat daerah, pelaksanaan inventarisasi GRK menjadi bagian penting dari Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi GRK (RAD-GRK) maupun dokumen pengarusutamaan perubahan iklim lainnya seperti KLHS dan RPJMD. Kota Malang sebagai salah satu kota besar di Jawa Timur memiliki peran strategis dalam mendukung pencapaian target nasional dengan mengembangkan basis data GRK yang valid, transparan, dan terintegrasi ke dalam sistem perencanaan pembangunan daerah. Inventarisasi GRK juga dapat menjadi landasan dalam pengembangan program pembangunan rendah karbon (*Low Carbon Development*) dan meningkatkan peluang kerja sama dalam pendanaan iklim. Dengan demikian, inventarisasi GRK tidak hanya berfungsi sebagai alat pelaporan, tetapi juga sebagai instrumen teknis dan kebijakan untuk memandu arah pembangunan daerah menuju keberlanjutan dan ketahanan iklim.

2.5. Metodologi Perhitungan Emisi GRK

Perhitungan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) merupakan proses penting dalam inventarisasi GRK yang bertujuan untuk mengestimasi jumlah emisi dan/atau serapan gas rumah kaca dari berbagai sumber dan sektor. Metodologi perhitungan ini mengacu

pada pedoman internasional yang dikeluarkan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) melalui dokumen *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (2006; 2019 Refinement). Dokumen ini memberikan pendekatan standar yang dapat diterapkan oleh negara-negara, termasuk Indonesia, untuk menjamin konsistensi dan transparansi dalam pelaporan emisi GRK.

Terdapat tiga *Tier* dalam metodologi IPCC yang merepresentasikan tingkat kompleksitas dan akurasi data:

- Tier 1 menggunakan faktor emisi dan data aktivitas default dari IPCC. Cocok untuk negara atau daerah dengan keterbatasan data.
- Tier 2 menggunakan data aktivitas lokal dan faktor emisi spesifik nasional atau subnasional.
- Tier 3 melibatkan metode yang lebih kompleks dan berbasis model atau inventarisasi berbasis sistem pengukuran berkelanjutan, biasanya digunakan pada sektor atau wilayah dengan sistem monitoring yang sudah maju.

Rumus umum yang digunakan dalam perhitungan emisi GRK adalah sebagai berikut:

$$\text{Emisi GRK} = \text{Aktivitas} \times \text{Faktor Emisi}$$

- **Aktivitas** merupakan jumlah atau volume kegiatan yang menghasilkan emisi, misalnya konsumsi bahan bakar, produksi limbah, luas lahan pertanian, atau jumlah ternak.
- **Faktor emisi** adalah besaran yang menunjukkan jumlah emisi GRK yang dihasilkan per satuan aktivitas tertentu, biasanya dinyatakan dalam satuan ton CO₂e per unit.

Dalam konteks Indonesia, perhitungan emisi GRK juga merujuk pada dokumen nasional seperti Pedoman Teknis Inventarisasi GRK yang diterbitkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Dokumen ini menyelaraskan pendekatan IPCC dengan kondisi dan ketersediaan data di tingkat daerah, serta mengklasifikasikan sektor emisi ke dalam lima kategori utama: energi, proses industri dan penggunaan produk (IPPU), pertanian, kehutanan dan lahan (AFOLU), serta limbah.

Untuk keperluan pelaporan dan konsistensi nasional, hasil perhitungan emisi GRK dari daerah dikompilasi. Data yang dilaporkan mencakup volume emisi dan

serapan, metode yang digunakan, sumber data, serta ketidakpastian (*uncertainty*) dalam perhitungan. Hal ini penting untuk menjamin akuntabilitas data dalam mendukung pencapaian target NDC Indonesia serta pengambilan keputusan berbasis bukti.

2.6. Peran Pemerintah Daerah dalam Mitigasi Iklim

Pemerintah daerah memiliki peran yang sangat penting dan strategis dalam upaya mitigasi perubahan iklim, mengingat banyaknya aktivitas ekonomi, tata ruang, dan penggunaan sumber daya yang berlangsung di tingkat lokal (Been et al., 2021). Sebagai pelaksana pemerintahan di daerah, pemerintah daerah bertanggung jawab untuk menerjemahkan kebijakan dan komitmen nasional ke dalam rencana aksi konkret yang sesuai dengan kondisi wilayahnya. Dalam konteks mitigasi perubahan iklim, peran ini mencakup penyusunan kebijakan, pengumpulan data emisi, perencanaan aksi mitigasi, serta pelaksanaan dan evaluasi program penurunan emisi GRK (Arioli et al., 2020).

Secara regulatif, peran ini didukung oleh berbagai kebijakan nasional, seperti Peraturan Presiden No. 98 Tahun 2021 tentang Nilai Ekonomi Karbon dan Peraturan Presiden No. 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional, yang memberikan mandat kepada pemerintah daerah untuk melakukan inventarisasi emisi GRK secara periodik. Selain itu, pemerintah daerah juga didorong untuk menyusun dokumen seperti Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi GRK (RAD-GRK), Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) yang terintegrasi dengan isu perubahan iklim, dan Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS).

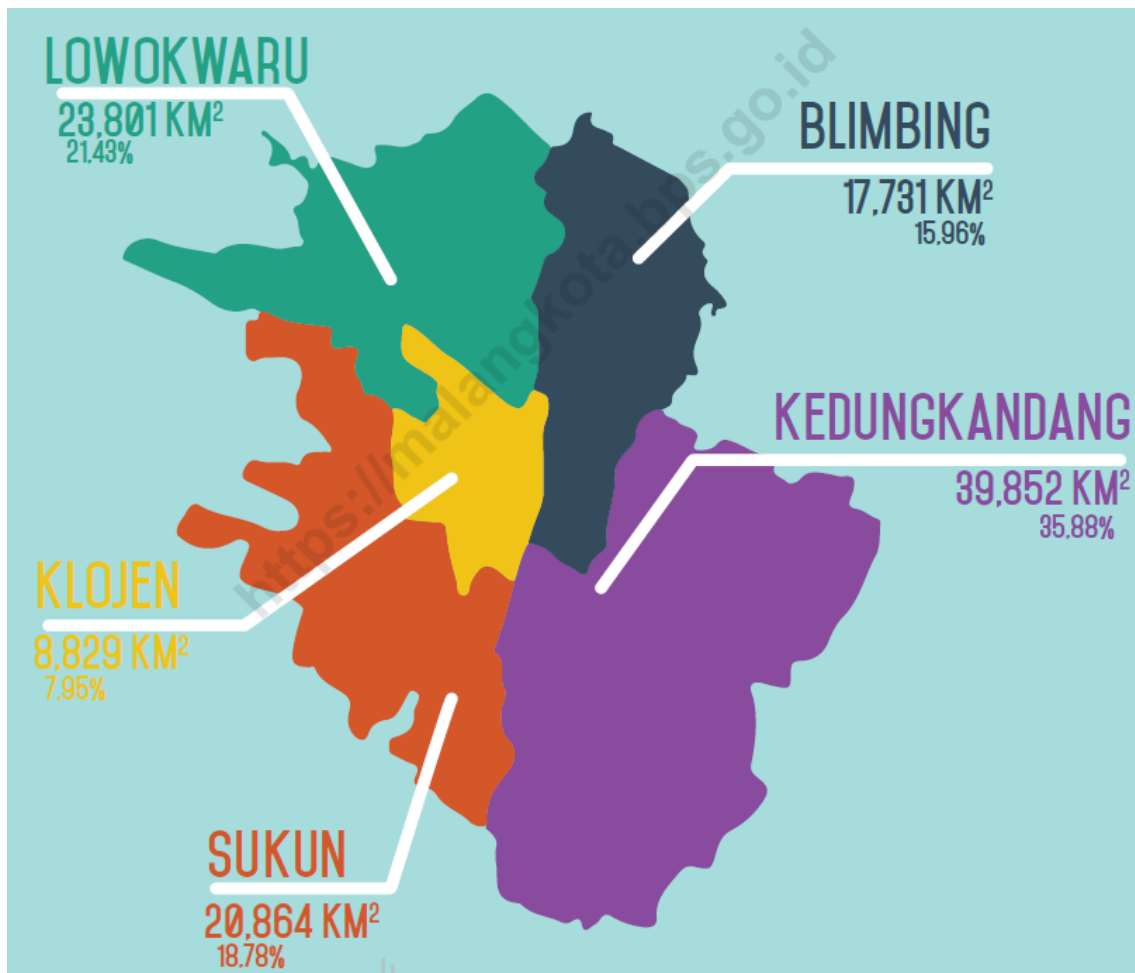
Dalam implementasinya, pemerintah daerah dapat mengambil berbagai langkah mitigasi, seperti mendorong penggunaan energi terbarukan, meningkatkan efisiensi energi di sektor publik dan industri lokal, pengelolaan limbah yang ramah lingkungan, serta penguatan perlindungan hutan dan ruang terbuka hijau. Upaya ini tidak hanya berdampak pada penurunan emisi GRK, tetapi juga mendukung kualitas lingkungan hidup, kesehatan masyarakat, dan ketahanan ekonomi daerah. Pemerintah daerah juga dapat mendorong kolaborasi multipihak dengan sektor swasta, lembaga riset, dan masyarakat dalam pengembangan inovasi hijau dan program-program pembangunan rendah karbon.

Selain sebagai pelaksana, pemerintah daerah juga berperan sebagai pengarah dan fasilitator dalam membangun kesadaran publik dan kapasitas kelembagaan terkait perubahan iklim. Edukasi kepada masyarakat, pelibatan komunitas lokal, serta pemberdayaan pelaku usaha dan sektor informal menjadi kunci dalam menciptakan aksi kolektif yang berkelanjutan (Fatkhullah et al., 2022). Dalam konteks pendanaan, pemerintah daerah juga dapat mengakses berbagai sumber pembiayaan perubahan iklim, baik dari pemerintah pusat maupun melalui skema kerja sama internasional dan pasar karbon.

BAB III METODOLOGI

3.1. Gambaran Umum Wilayah

Kota Malang merupakan salah satu kota besar di Provinsi Jawa Timur, Indonesia. Terletak di dataran tinggi dengan ketinggian antara 440 hingga 667 meter di atas permukaan laut, kota ini memiliki iklim yang sejuk dan nyaman, menjadikannya sebagai salah satu destinasi wisata unggulan di Jawa Timur. Secara geografis, Kota Malang berada di tengah-tengah wilayah Kabupaten Malang dan dikelilingi oleh pegunungan seperti Gunung Arjuno di utara, Gunung Semeru di timur, serta Gunung Kawi dan Gunung Panderman di barat.



(BPS, 2025)

Gambar 1. Luas Kecamatan diambil dari Data Geospasial Satudata Kota Malang

Luas wilayah Kota Malang adalah sekitar 111,08 km² dan terbagi menjadi 5 kecamatan, yaitu Kedungkandang, Sukun, Klojen, Blimbing, dan Lowokwaru, yang

selanjutnya terbagi menjadi 57 kelurahan. Berdasarkan data tahun 2023, jumlah penduduk Kota Malang mencapai 889.359 jiwa dengan kepadatan sekitar 8.007 jiwa per km². Mayoritas penduduk berada pada usia produktif, mencerminkan potensi ekonomi dan sosial yang signifikan bagi pembangunan daerah. Secara administratif, Kota Malang berbatasan langsung dengan beberapa kecamatan di Kabupaten Malang:

- Sebelah utara: Kecamatan Singosari dan Karangploso
- Sebelah timur: Kecamatan Pakis dan Tumpang
- Sebelah selatan: Kecamatan Tajinan dan Pakisaji
- Sebelah barat: Kecamatan Wagir dan Dau

Topografi Kota Malang yang berbukit dan berlembah memberikan karakteristik unik pada penggunaan lahan dan pola permukiman. Bagian utara kota dikenal dengan dataran tinggi yang subur, cocok untuk pertanian, sementara bagian selatan merupakan dataran tinggi yang luas. Bagian timur memiliki dataran tinggi dengan kesuburan yang lebih rendah, dan bagian barat merupakan dataran tinggi yang luas.

Kota Malang juga dikenal sebagai kota pendidikan, dengan keberadaan berbagai perguruan tinggi ternama seperti Universitas Brawijaya, Universitas Negeri Malang, dan Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Selain itu, kota ini memiliki potensi pariwisata yang besar, didukung oleh keindahan alam, warisan budaya, dan infrastruktur yang memadai. Keberagaman etnis dan budaya di Kota Malang menciptakan masyarakat yang dinamis dan toleran, menjadikannya sebagai salah satu kota yang menarik untuk dikunjungi dan ditinggali.

Kota Malang mengalami perubahan signifikan dalam tutupan lahannya akibat urbanisasi dan pertumbuhan penduduk. Antara tahun 2002 hingga 2008, terjadi peningkatan luas lahan terbangun sebesar 1.457 hektare, atau sekitar 13% dari total luas kota, yang sebagian besar berasal dari konversi lahan vegetasi dan tanah terbuka. Sebaliknya, lahan tergenang dan vegetasi mengalami penurunan luas masing-masing sebesar 255 hektare dan 336 hektare (Arie, 2012).

Luas lahan pertanian di Kota Malang terus mengalami penurunan. Pada tahun 2022, luas lahan sawah tercatat sebesar 994 hektare, dengan hanya 804 hektare yang masih produktif. Penurunan ini disebabkan oleh alih fungsi lahan dan tekanan urbanisasi. Namun, pemerintah kota berupaya mempertahankan keberadaan lahan pertanian melalui program-program seperti *urban farming* dan perlindungan lahan

pertanian pangan berkelanjutan. Di sektor peternakan, Kota Malang memiliki potensi yang cukup besar. Terdapat 3.834 usaha peternakan unggas yang tersebar di berbagai kecamatan, dengan konsentrasi tertinggi di wilayah Kedungkandang dan Sukun. Peternakan ini berkontribusi pada penyediaan kebutuhan protein hewani bagi masyarakat kota dan sekitarnya (Diskominfo Kota Malang, 2022).

Lapangan usaha dari sektor Perdagangan, Reparasi Mobil dan Sepeda Motor serta Industri pengolahan merupakan sektor-sektor utama penggerak perekonomian Kota Malang. Pada tahun 2024, sektor-sektor ini menyumbang sekitar 29,22 dan 27,08% terhadap Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) kota, dengan nilai mencapai Rp 29.250,43 dan Rp 27.118,53 miliar (BPS, 2025). Industri makanan dan minuman menjadi subsektor dominan, didukung oleh keberadaan agroindustri yang mengolah hasil pertanian lokal. Selain itu, Kota Malang juga memiliki kawasan industri kecil dan menengah yang tersebar di berbagai wilayah, seperti Blimbing dan Tlogomas. Industri-industri ini mencakup sektor tekstil, kerajinan, serta teknologi informasi, yang memberikan kontribusi signifikan terhadap penyerapan tenaga kerja dan pertumbuhan ekonomi lokal.

3.2. Rencana Kerja

Rencana kerja kegiatan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Malang Tahun 2025 disusun untuk memastikan seluruh tahapan kegiatan dapat dilaksanakan secara sistematis, tepat waktu, dan sesuai dengan pedoman yang berlaku. Rencana kerja ini melibatkan kegiatan pengumpulan data, validasi, perhitungan emisi, hingga penyusunan dokumen akhir (Tabel 1).

Tabel 1. Tahapan dan jadwal pelaksanaan tiap kegiatan

Tahapan	Kegiatan Rinci	Waktu Pelaksanaan	Keterangan
1. Persiapan Awal	- Pembentukan tim teknis- Penyusunan rencana kerja rinci - Koordinasi awal dengan OPD dan pihak terkait	4 – 10 Juni 2025	DLH Kota Malang dan Tim Ahli
2. Identifikasi dan Inventarisasi Sumber Data	- Penyusunan daftar kebutuhan data per sektor (energi, IPPU, pertanian, limbah) - Penyusunan format pengumpulan data	11 – 29 Juni 2025	Dokumen acuan: IPCC Guidelines
3. Pengumpulan Data Lapang	- Sektor Energi: Konsumsi listrik (PLN), BBM (SPBU/Pertamina), data transportasi - Sektor IPPU: Aktivitas industri, data bahan baku dan produk - Sektor Pertanian: Populasi ternak, pupuk, dan luasan sawah - Sektor Limbah: Data sampah domestik, TPA, limbah cair (DLH, PDAM)	30 Juni – 30 Juli 2025	Kunjungan lapangan, wawancara, dan pengisian formulir data aktivitas
4. Validasi dan Verifikasi Data	- Pengecekan konsistensi dan kelengkapan data - Klarifikasi kepada instansi penyedia data	31 Juli – 7 Agustus 2025	Dapat dilakukan paralel dengan pengolahan awal
5. Pengolahan dan Analisis Data	- Input data aktivitas ke lembar kerja (<i>worksheet</i>) - Aplikasi rumus perhitungan IPCC	8 – 13 Agustus 2025	Per sektor dan per gas
6. Penyusunan Dokumen Awal	- Penulisan hasil inventarisasi per sektor - Penyusunan grafik, tabel, dan narasi analisis	14 – 20 Agustus 2025	Dokumen berbasis Word dan Excel
7. Review Internal dan Finalisasi	- Review oleh DLH dan <i>stakeholder</i> terkait - Revisi akhir dan finalisasi dokumen	21 – 26 Agustus 2025	Perbaiki dokumen
8. Penyusunan dan Penyampaian Laporan Akhir	Penulisan laporan akhir resmi	27 Agustus – 1 September 2025	Laporan dan bahan presentasi

Setiap tahapan akan melibatkan koordinasi antar tim teknis, OPD terkait, dan pendamping teknis dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Malang untuk memastikan kualitas hasil yang diperoleh. Hasil akhir dari kegiatan ini akan digunakan sebagai bahan pelaporan dan perencanaan aksi mitigasi di tingkat daerah dan nasional.

3.3. Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca

Berdasarkan IPCC 2006 GL, ketelitian penghitungan emisi GRK dibagi menjadi tiga tingkat atau *Tier*. Tier 1 menggunakan estimasi berdasarkan data aktivitas dan faktor emisi default IPCC, Tier 2 memakai data aktivitas yang lebih akurat dengan faktor emisi default IPCC atau faktor emisi spesifik negara/pabrik, sedangkan Tier 3 menggunakan metode spesifik negara dengan data aktivitas hasil pengukuran langsung serta faktor emisi spesifik. Pemilihan Tier ditentukan oleh ketersediaan data dan tingkat kemajuan penelitian suatu negara atau pabrik, di mana Indonesia dan negara non-Annex 1 umumnya masih menggunakan Tier 1 dengan data aktivitas dan faktor emisi default IPCC.

Pendekatan Tier-1 dan Tier-2 dalam perhitungan emisi GRK merupakan metode yang paling sederhana karena hanya didasarkan pada data aktivitas dan faktor emisi. Estimasi emisi pada kedua Tier ini dihitung menggunakan suatu persamaan dasar, di mana data aktivitas menggambarkan jumlah kegiatan manusia yang berhubungan langsung dengan besarnya emisi yang dihasilkan, misalnya volume BBM atau berat batubara yang digunakan pada sektor energi, serta jumlah minyak yang diproduksi di lapangan migas yang terkait dengan *fugitive emission*. Sementara itu, faktor emisi (FE) merupakan koefisien yang menunjukkan besarnya emisi yang dilepaskan per satuan aktivitas tertentu. Estimasi emisi GRK Tier-1 dan Tier-2 menggunakan Persamaan 1 berikut.

$$\text{Tingkat Emisi} = \text{Data Aktivitas (AD)} \times \text{Faktor Emisi (EF)} \dots\dots(1)$$

Sektor Energi

Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari pembakaran bahan bakar pada sumber bergerak merupakan salah satu penyumbang utama peningkatan konsentrasi GRK di atmosfer, terutama yang berasal dari sektor transportasi. Kegiatan transportasi ini mencakup berbagai moda, seperti transportasi darat (jalan raya, off-road, dan kereta

api), transportasi air (melalui sungai atau laut), serta transportasi udara (pesawat terbang). Dari seluruh moda tersebut, transportasi jalan raya umumnya memberikan kontribusi terbesar terhadap total emisi, khususnya di wilayah perkotaan seperti Kota Malang yang memiliki tingkat mobilitas tinggi dan pertumbuhan jumlah kendaraan yang pesat.

Perhitungan emisi karbon dioksida (CO₂) dari transportasi jalan raya dilakukan menggunakan rumus:

$$Emisi = \sum_a Konsumsi BB_a \times Faktor emisi_a \dots \dots \dots (2)$$

dimana:

Emisi : Emisi CO₂

Konsumsi BB_a : Bahan bakar dikonsumsi = dijual

Faktor Emisi_a : Faktor emisi CO₂ menurut jenis bahan bakar (kg gas/TJ),

default IPCC 2006

a : Jenis bahan bakar (premium, solar)

Sektor IPPU (*Industrial Processes and Product Use*)

Sektor IPPU merupakan salah satu penyumbang emisi gas rumah kaca (GRK), terutama dari proses industri yang melibatkan reaksi kimia non-energi. Dalam industri semen, sumber utama emisi CO₂ berasal dari proses produksi klinker, yaitu tahap kalsinasi kalsium karbonat (CaCO₃) untuk menghasilkan kapur (CaO). Reaksi kimia ini secara langsung melepaskan CO₂ sebagai hasil samping yang tidak dapat dihindari secara kimiawi. Selanjutnya, CaO bereaksi dengan silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), dan besi oksida (Fe₂O₃) untuk membentuk senyawa mineral klinker yang menjadi bahan utama semen. Meskipun bahan baku lain juga mengandung karbonat, kontribusinya terhadap total emisi relatif kecil dibandingkan dengan kalsinasi CaCO₃.

Sektor Pertanian (AFOLU)

Fermentasi enterik merupakan sumber utama emisi metana (CH₄) dari sektor peternakan, khususnya pada hewan ruminansia seperti sapi, kerbau, dan domba. Proses ini terjadi ketika mikroorganisme di dalam rumen memecah karbohidrat menjadi senyawa sederhana, dengan metana sebagai produk samping yang dilepaskan ke

atmosfer. Dibandingkan ternak non-ruminansia, ruminansia menghasilkan emisi metana lebih tinggi karena sistem pencernaannya yang kompleks. Selain itu, pengelolaan kotoran ternak juga berkontribusi terhadap emisi CH₄ dan N₂O. Estimasi emisi di Indonesia mengacu pada pedoman *IPCC 2006*, menggunakan data populasi dan faktor emisi ternak dari BPS dan Kementerian Pertanian, meliputi sapi potong, sapi perah, kerbau, kambing, domba, babi, serta unggas ras dan lokal. perhitungan fermentasi enterik dilakukan dengan rumus.

$$Emisi = EF_{(T)} \times N_{(T)} \times 10^6 \dots\dots\dots(3)$$

dimana:

- Emisi = Emisi metana dari fermentasi enterik, Gg CH₄ yr-1
- EF(T) = Faktor emisi populasi jenis ternak tertentu, kg CH₄ head-1 yr-1
- N(T) = Jumlah populasi jenis/kategori ternak tertentu, Animal Unit
- T = Jenis/kategori ternak

Emisi metana (CH₄) dari pengelolaan padi sawah merupakan salah satu sumber utama gas rumah kaca (GRK) di sektor pertanian. Gas ini dihasilkan melalui proses dekomposisi bahan organik secara anaerobik di lahan sawah yang tergenang air, di mana kondisi tanpa oksigen memungkinkan aktivitas mikroorganisme metanogen. Besarnya emisi CH₄ dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain rejim air sebelum dan selama budidaya, umur tanaman, jenis tanah, suhu, varietas padi, serta penggunaan bahan organik dan pupuk anorganik. Dalam inventarisasi GRK, perhitungan emisi CH₄ dari padi sawah dilakukan dengan mengalikan faktor emisi harian dengan lama periode tanam dan luas panen, sesuai pedoman *IPCC 2006*. perhitungan emisi metana dilakukan dengan rumus.

$$CH_{4\text{rice}} = \sum_{ijk}(EF_{ijk} \times t_{ijk} \times A_{ijk} \times 10^{-6}) \dots\dots\dots(4)$$

dimana:

- CH₄Rice = Emisi metan dari budidaya padi sawah, Gg CH₄ per tahun
- EF_{i,j,k} = Faktor emisi untuk kondisi i, j, dan k; kg CH₄ per hari
- t_{i,j,k} = Lama budidaya padi sawah untuk kondisi i, j, dan k; hari
- A_{i,j,k} = Luas panen padi sawah untuk kondisi i, j, dan k; ha per tahun

i, j, dan k = Mewakili ekosistem berbeda: i: rezim air, j: jenis dan jumlah pengembalian bahan organik tanah, dan k: kondisi lain di mana emisi CH₄ dari padi sawah dapat bervariasi

Sektor Limbah

Degradable Organic Carbon (DOC) adalah parameter utama yang menentukan potensi emisi metana (CH₄) dari sampah padat kota, karena menunjukkan jumlah karbon organik yang dapat terurai secara biologis dalam kondisi anaerobik di tempat pembuangan akhir. Nilai DOC total dihitung berdasarkan rata-rata tertimbang dari komposisi (% berat) dan kandungan bahan kering berbagai komponen sampah, seperti sisa makanan, kertas, dan kayu. Di Indonesia, nilai spesifik DOC tiap komponen (DOC_i) belum tersedia sehingga umumnya mengacu pada nilai default *IPCC 2006 Guidelines*. Jika analisis unsur (*ultimate analysis*) belum dilakukan, DOC_i berbasis berat basah dapat dihitung dari DOC_i berbasis berat kering dikalikan kandungan bahan kering. perhitungan DOC dilakukan dengan rumus.

$$DOC = \sum_i (DOC_i \times W_i) \dots \dots \dots (5)$$

dimana:

DOC = Fraksi degradable organic carbon pada sampah bulk, Ggram C/Gram sampah
 DOC_i = Fraksi degradable organic carbon pada komponen sampah i (basis berat basah)
 W_i = Fraksi komponen sampah jenis i (basis berat basah)
 i = Komponen sampah (misal sampah makanan, kertas, kayu, plastik, dan lain-lain)

3.4. Penjelasan Sektor-Sektor dalam Inventarisasi GRK Kota Malang

Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Malang dilakukan berdasarkan pengelompokan sektor utama yang merujuk pada pedoman *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, yaitu: sektor Energi, Proses Industri dan Penggunaan Produk (IPPU), Pertanian (bagian dari sektor AFOLU), dan Limbah. Keempat sektor ini mencerminkan sumber-sumber utama emisi GRK yang relevan di tingkat kota dan

memerlukan pendekatan perhitungan tersendiri berdasarkan jenis data aktivitas dan faktor emisi yang tersedia.

Sektor Energi

Sektor energi merupakan penyumbang emisi terbesar dalam skala perkotaan, termasuk di Kota Malang yang merupakan kota metropolitan dengan aktivitas ekonomi, pendidikan, dan pariwisata yang sangat dinamis. Emisi GRK dari sektor ini terutama berasal dari pembakaran bahan bakar pada kendaraan bermotor, konsumsi bahan bakar untuk keperluan rumah tangga dan komersial, serta konsumsi listrik dari jaringan PLN. Selain itu, emisi juga dapat timbul dari penggunaan genset di sektor komersial dan industri kecil.

Dengan jumlah penduduk yang terus meningkat dan kepadatan lalu lintas yang tinggi, Kota Malang menghadapi tantangan besar dalam sektor transportasi darat, yang menjadi kontributor signifikan emisi CO₂. Selain itu, permintaan energi listrik untuk keperluan domestik, pusat perbelanjaan, perhotelan, dan institusi pendidikan yang tersebar luas di Kota Malang turut memperbesar jejak karbon kota ini. Oleh karena itu, pengumpulan data konsumsi BBM dan listrik dari sektor ini menjadi krusial dalam kegiatan inventarisasi.

Sektor IPPU (*Industrial Processes and Product Use*)

Sektor IPPU di Kota Malang memiliki karakteristik tersendiri. Meskipun bukan merupakan kota industri berat, Kota Malang memiliki banyak industri kecil dan menengah (IKM) yang bergerak di bidang makanan, minuman, serta industri kreatif. Proses produksi dalam industri-industri ini dapat menghasilkan emisi GRK, khususnya dari penggunaan bahan kimia, semen, dan refrigeran.

Selain proses kimia, penggunaan produk yang mengandung bahan-bahan kimia seperti HFCs pada pendingin ruangan, *freezer*, dan sistem HVAC di gedung-gedung perkantoran dan hotel juga menjadi sumber emisi yang dihitung dalam sektor ini. Oleh karena itu, pendataan terhadap aktivitas industri dan konsumsi produk kimia yang berpotensi menghasilkan GRK sangat penting untuk dilakukan secara kolaboratif dengan Dinas Perindustrian dan Perdagangan serta pelaku industri.

Sektor Pertanian (AFOLU)

Meskipun Kota Malang merupakan wilayah urban, namun masih terdapat kontribusi dari sektor pertanian, terutama di wilayah pinggiran kota yang masih aktif

digunakan untuk pertanian lahan basah, hortikultura, dan peternakan rakyat. Emisi dari sektor ini berasal dari fermentasi enterik ternak, pengelolaan limbah ternak, penggunaan pupuk kimia, serta emisi metana dari lahan sawah yang tergenang. Beberapa kelurahan/kecamatan di Kota Malang yang memiliki areal pertanian dan populasi ternak signifikan tetap perlu diperhatikan karena berpotensi menjadi sumber emisi GRK, khususnya CH_4 dan N_2O . Data dari Dinas Pertanian dan instansi terkait akan menjadi dasar dalam menghitung kontribusi sektor ini dalam total emisi Kota Malang.

Sektor Limbah

Sektor limbah merupakan salah satu sumber utama emisi GRK di Kota Malang yang perlu mendapatkan perhatian serius. Sebagai kota besar, Kota Malang menghasilkan volume sampah yang besar setiap harinya, dengan sebagian besar dikirim ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Supit Urang. Proses dekomposisi limbah organik di TPA menghasilkan gas metana (CH_4), yang merupakan gas rumah kaca dengan potensi pemanasan global tinggi.

Selain sampah padat, sistem pengelolaan air limbah domestik, terutama dari permukiman padat, juga menjadi sumber emisi N_2O dan CH_4 . Di banyak kawasan, pengolahan air limbah masih dilakukan secara desentralisasi dengan sistem septic tank dan belum tersambung ke Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) terpadu. Oleh karena itu, data dari Dinas Lingkungan Hidup dan PDAM sangat dibutuhkan untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai emisi sektor ini.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Malang Tahun 2025 dilaksanakan dengan mengacu pada pedoman *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* Tahun 2006 serta *2019 Refinement*. Berdasarkan hasil identifikasi dan ketersediaan data di lapangan, kegiatan inventarisasi difokuskan pada tiga sektor utama, yaitu Energi, Pertanian, Kehutanan, dan Lahan (AFOLU), serta Limbah. Pemilihan ketiga sektor ini didasarkan pada ketersediaan data aktivitas yang memadai, kemudahan akses sumber informasi, dan kontribusi signifikan sektor tersebut terhadap emisi GRK di wilayah perkotaan. Data aktivitas diperoleh melalui kerja sama dengan berbagai Organisasi Perangkat Daerah (OPD), lembaga teknis, instansi terkait, dan sumber daring resmi (*website* pemerintah maupun perusahaan penyedia data energi dan lingkungan).

Proses pengumpulan dan verifikasi data dilakukan dengan memperhatikan kesesuaian satuan, kelengkapan data tahunan di wilayah administrasi Kota Malang. Data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan metode *Tier 1* sesuai pedoman IPCC untuk menghasilkan estimasi emisi dan serapan GRK pada masing-masing sektor. Hasil inventarisasi disajikan dalam tiga bagian utama:

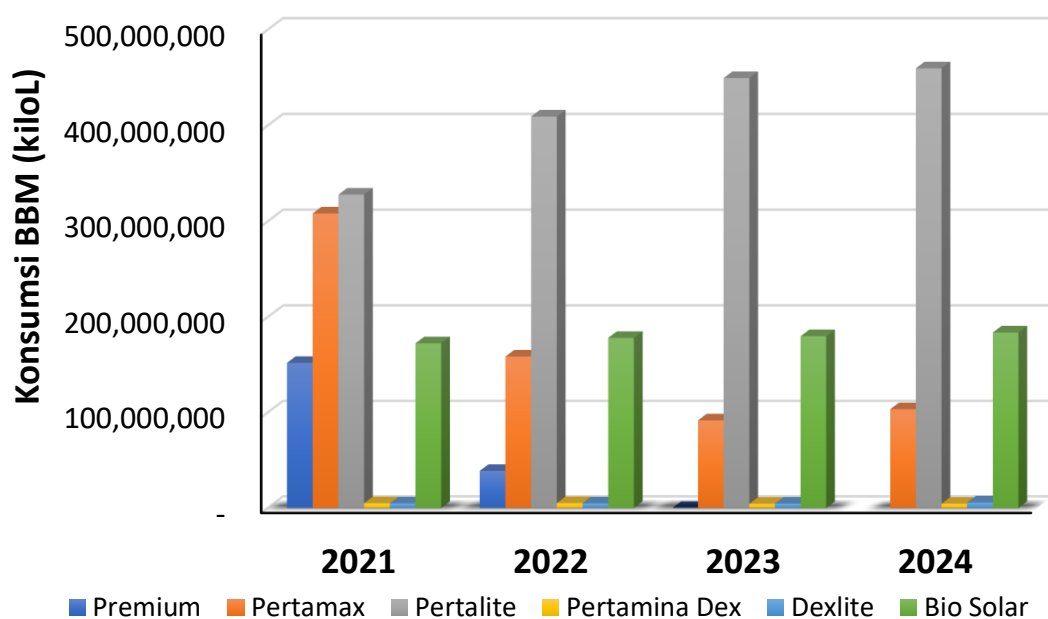
1. Sektor Energi, yang mencakup emisi dari penggunaan bahan bakar fosil, konsumsi listrik, serta kegiatan transportasi darat.
2. Sektor AFOLU, yang meliputi sumber emisi dari kegiatan pertanian dan peternakan.
3. Sektor Limbah, yang terdiri atas emisi dari pengelolaan sampah padat dan air limbah domestik.

Hasil perhitungan dari masing-masing sektor akan dibahas secara terperinci dalam subbab berikut, untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai tingkat, sumber, dan kontribusi emisi GRK di Kota Malang tahun 2025, serta potensi upaya mitigasi yang dapat dikembangkan sebagai langkah menuju pembangunan rendah karbon di tingkat daerah.

4.1. Profil Emisi GRK dari Sektor Energi

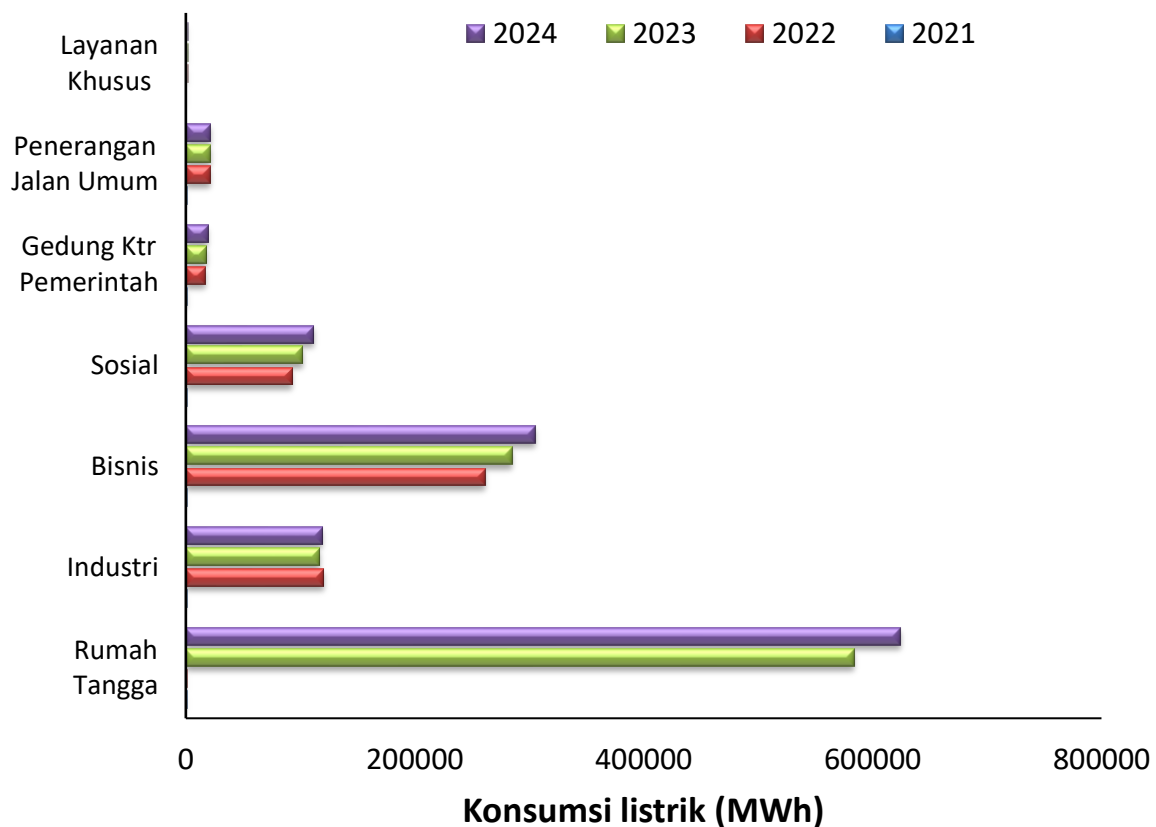
Sektor energi merupakan salah satu penyumbang utama emisi gas rumah kaca (GRK) di wilayah perkotaan, termasuk Kota Malang. Emisi dari sektor ini terutama berasal dari pembakaran bahan bakar fosil untuk transportasi, kegiatan industri, komersial, serta konsumsi energi listrik dan bahan bakar di rumah tangga. Data yang disajikan pada Gambar 2 hingga Gambar 4 memberikan gambaran umum mengenai tren konsumsi energi di Kota Malang dalam empat tahun terakhir (2021–2024) yang menjadi dasar dalam estimasi emisi GRK tahun dasar 2025.

Konsumsi bahan bakar minyak (BBM) di Kota Malang dalam empat tahun terakhir didominasi oleh jenis Biosolar dan Pertalite, dengan tren relatif meningkat dari tahun 2021 hingga 2024. Konsumsi Premium terus menurun seiring dengan penghapusan bertahap jenis bahan bakar ini di pasar nasional, sedangkan konsumsi Pertamax dan Dexlite relatif stabil dengan sedikit peningkatan pada tahun 2024 (Gambar 2). Pola ini menggambarkan tingginya ketergantungan masyarakat terhadap bahan bakar kendaraan bermotor, khususnya dari sektor transportasi pribadi dan jasa logistik. Peningkatan konsumsi BBM menunjukkan potensi peningkatan emisi CO₂ yang cukup signifikan pada subsektor transportasi, yang merupakan kontributor utama dalam sektor energi di Kota Malang.



Gambar 2. Profil konsumsi BBM di Kota Malang dalam 4 tahun terakhir

Gambar 3 menggambarkan profil konsumsi listrik di berbagai kategori pengguna dalam kurun waktu yang sama. Penggunaan listrik terbesar secara konsisten berasal dari sektor rumah tangga, diikuti oleh sektor bisnis dan industri. Konsumsi listrik di gedung perkantoran pemerintah, penerangan jalan umum (PJU), dan layanan sosial relatif stabil dengan porsi lebih kecil. Kenaikan konsumsi listrik rumah tangga dari tahun ke tahun menunjukkan adanya peningkatan aktivitas domestik dan penggunaan peralatan listrik yang semakin intensif, terutama pascapandemi COVID-19. Kondisi ini menunjukkan bahwa upaya efisiensi energi di sektor rumah tangga perlu menjadi salah satu fokus mitigasi emisi GRK di Kota Malang.

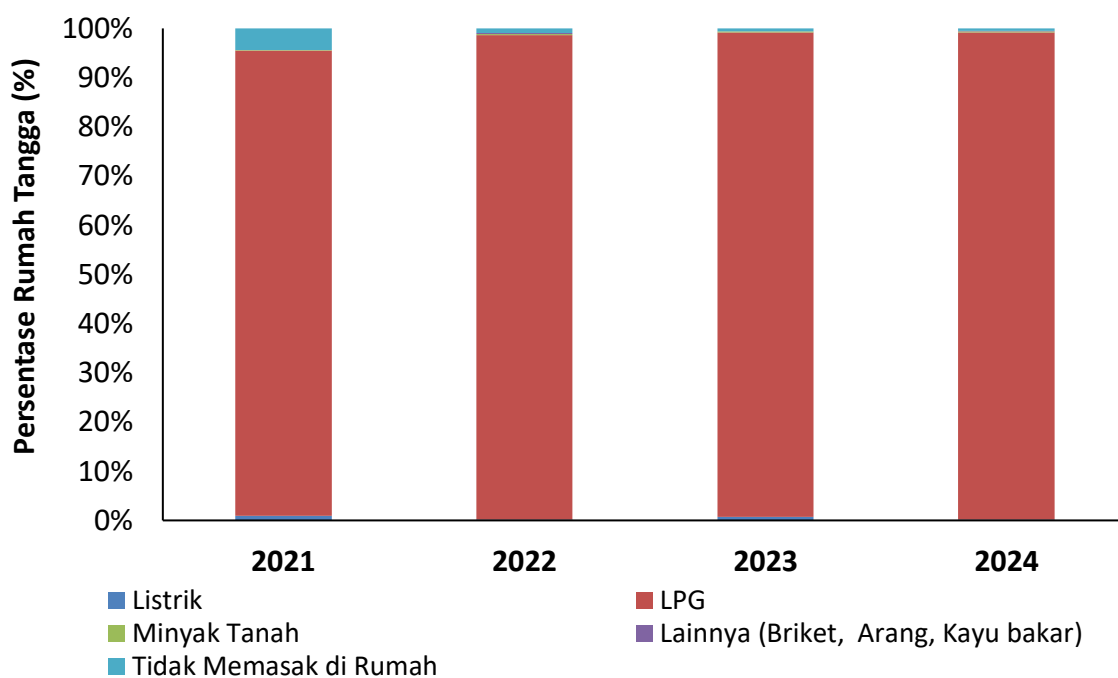


Gambar 3. Profil konsumsi listrik di Kota Malang dalam 4 tahun terakhir

Sementara itu, Gambar 4 menampilkan proporsi jenis sumber energi yang digunakan oleh rumah tangga di Kota Malang. Data menunjukkan bahwa lebih dari 90% rumah tangga menggunakan LPG sebagai sumber utama untuk kebutuhan memasak, dengan porsi penggunaan listrik dan minyak tanah yang relatif kecil. Proporsi

penggunaan bahan bakar padat seperti arang, briket, dan kayu bakar juga sangat rendah dan cenderung menurun dari tahun 2021 hingga 2024. Temuan ini menunjukkan pergeseran positif ke arah penggunaan energi yang lebih bersih dan efisien di tingkat rumah tangga, meskipun peningkatan konsumsi LPG dan listrik tetap memberikan kontribusi terhadap total emisi sektor energi.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa sumber emisi utama sektor energi di Kota Malang berasal dari pembakaran BBM pada sektor transportasi dan konsumsi listrik pada sektor rumah tangga dan bisnis. Tren peningkatan konsumsi energi dalam empat tahun terakhir menunjukkan perlunya strategi pengelolaan energi yang lebih berkelanjutan, melalui peningkatan efisiensi energi, penggunaan energi terbarukan, serta pengendalian pertumbuhan kendaraan bermotor berbasis fosil di wilayah perkotaan. Data konsumsi energi ini menjadi dasar penting dalam perhitungan total emisi GRK sektor energi tahun 2025 dan akan menjadi acuan dalam penyusunan kebijakan mitigasi emisi di Kota Malang.



Gambar 4. Profil konsumsi beberapa sumber energi penyumbang emisi yang digunakan oleh rumah tangga di Kota Malang dalam 4 tahun terakhir

Gambar 5 memperlihatkan tren total emisi gas rumah kaca (GRK) yang dinyatakan dalam satuan CO₂ ekuivalen (Gg CO₂e) dari berbagai subsektor penyumbang utama dalam sektor energi Kota Malang selama periode 2021–2024. Secara umum, sektor energi menunjukkan kontribusi emisi terbesar dibandingkan sektor lainnya, dengan kecenderungan penurunan emisi dari subsektor transportasi dan peningkatan emisi dari konsumsi listrik dalam empat tahun terakhir.

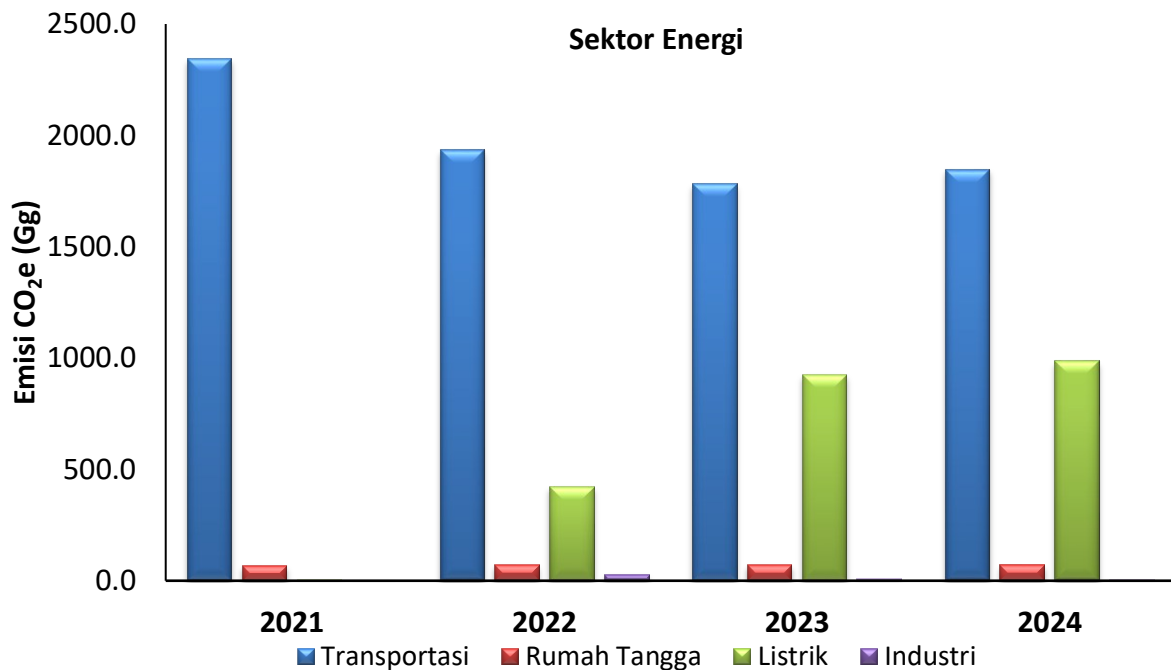
Subsektor transportasi menjadi sumber emisi dominan di Kota Malang dengan nilai emisi yang konsisten tinggi, berkisar antara 1.900 hingga 2.300 Gg CO₂e per tahun. Besarnya emisi dari subsektor ini dipengaruhi oleh tingginya jumlah kendaraan bermotor, pertumbuhan mobilitas penduduk, serta dominasi bahan bakar fosil (terutama Pertalite dan Biosolar) yang digunakan pada kendaraan pribadi dan angkutan umum. Meskipun demikian, terdapat sedikit penurunan emisi pada tahun 2022 yang berkorelasi dengan berkurangnya mobilitas pascapandemi dan penyesuaian pola aktivitas ekonomi.

Subsektor listrik menunjukkan tren peningkatan yang cukup signifikan dari tahun ke tahun, di mana emisi meningkat dari sekitar 150 Gg CO₂e pada 2021 menjadi lebih dari 1.000 Gg CO₂e pada 2024. Peningkatan ini terutama disebabkan oleh meningkatnya konsumsi listrik di sektor rumah tangga, bisnis, dan industri (lihat Gambar 3). Meskipun penggunaan listrik bersifat lebih bersih di titik konsumsi, sumber energi untuk pembangkitan listrik nasional masih didominasi oleh bahan bakar fosil (batubara dan gas alam), sehingga tetap memberikan kontribusi besar terhadap total emisi GRK.

Emisi dari subsektor rumah tangga relatif kecil namun cenderung stabil pada kisaran 80–100 Gg CO₂e per tahun. Emisi ini berasal dari pembakaran LPG untuk kebutuhan memasak dan penggunaan bahan bakar alternatif dalam skala terbatas. Proporsi penggunaan LPG yang tinggi di masyarakat (Gambar 4) menjadikan subsektor rumah tangga tetap relevan dalam konteks mitigasi emisi skala lokal, meskipun kontribusinya jauh lebih kecil dibandingkan transportasi dan listrik.

Sementara itu, subsektor industri dan komersial memberikan kontribusi yang relatif kecil dan stabil (kurang dari 50 Gg CO₂e per tahun). Hal ini disebabkan oleh karakteristik Kota Malang yang lebih dominan sebagai kota pendidikan dan jasa, dengan aktivitas industri berskala kecil dan menengah yang tidak terlalu intensif dalam penggunaan energi berbasis bahan bakar fosil. Secara keseluruhan, total emisi GRK

sektor energi Kota Malang memperlihatkan pola pergeseran sumber emisi, dari dominasi transportasi menuju peningkatan kontribusi emisi dari konsumsi listrik. Temuan ini menegaskan pentingnya penguatan kebijakan mitigasi di dua bidang utama: efisiensi energi pada penggunaan listrik dan transisi energi bersih pada sektor transportasi, termasuk dorongan penggunaan kendaraan listrik dan optimalisasi sistem transportasi publik ramah lingkungan.



Gambar 5. Jumlah Total Emisi GRK (CO₂E, Gg) Dari Sektor Energi Kota Malang Dalam 4 Tahun Terakhir

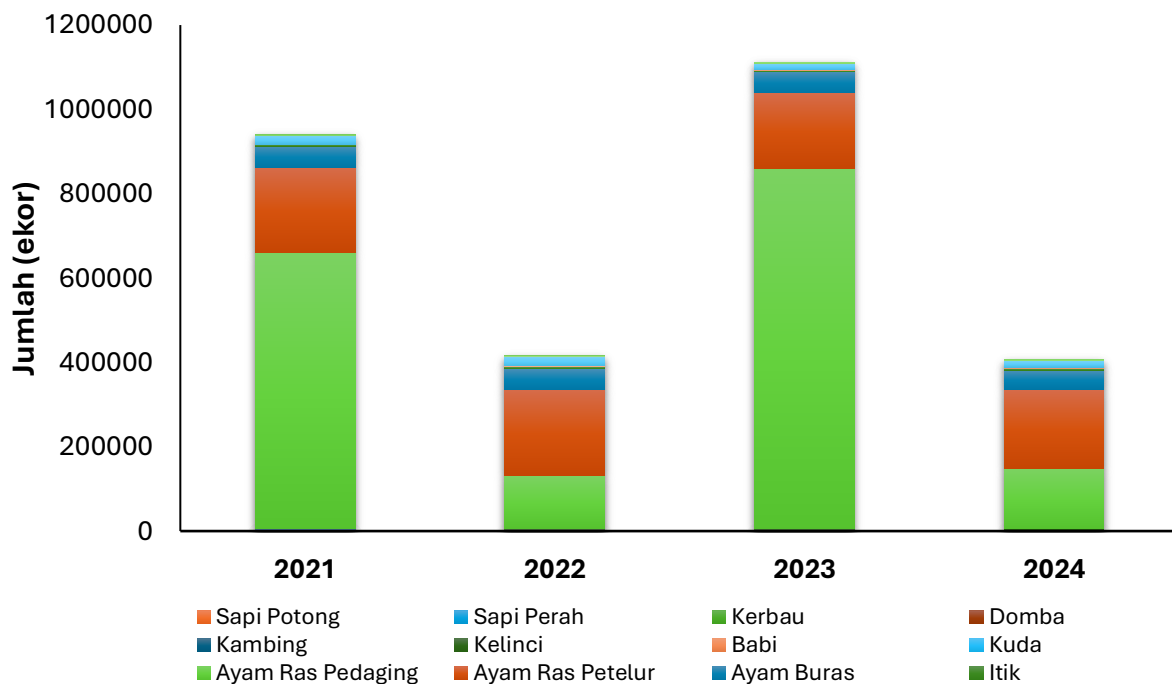
4.2. Profil Emisi GRK dari Sektor AFOLU

4.2.1. Subsektor Peternakan

Sektor *Agriculture, Forestry, and Other Land Use* (AFOLU) merupakan salah satu sektor penting dalam kegiatan inventarisasi gas rumah kaca (GRK) di tingkat daerah karena berperan ganda sebagai sumber emisi dan penyerap karbon. Pada tingkat kota seperti Malang, kontribusi utama emisi dari sektor AFOLU umumnya berasal dari aktivitas peternakan melalui proses fermentasi enterik dan pengelolaan kotoran ternak, sedangkan potensi serapan karbon berasal dari ruang terbuka hijau dan vegetasi perkotaan. Emisi gas rumah kaca dari subsektor peternakan di Kota Malang terutama berasal dari dua sumber utama, yaitu fermentasi enterik (proses pencernaan pada

hewan ruminansia yang menghasilkan gas metana/CH₄) dan pengelolaan kotoran ternak yang dapat menghasilkan emisi gas metana (CH₄) maupun dinitrogen oksida (N₂O). Kedua sumber ini menjadi kontributor dominan dalam total emisi sektor AFOLU di wilayah perkotaan.

Gambar 6 menampilkan jumlah populasi ternak berdasarkan kategori hewan di Kota Malang selama periode 2021–2024. Data menunjukkan bahwa komposisi populasi ternak di Kota Malang didominasi oleh kerbau, kambing, dan ayam ras pedaging, yang secara konsisten menjadi kelompok ternak terbesar dan berkontribusi signifikan terhadap potensi emisi GRK dari subsektor peternakan. Tahun 2023 tercatat sebagai periode dengan jumlah populasi ternak tertinggi, mencapai lebih dari 1 juta ekor, terutama disumbang oleh peningkatan populasi ayam ras pedaging dan kambing.



Gambar 6. Jumlah ternak berdasarkan kategori hewan di Kota Malang dalam kurun 4 tahun terakhir

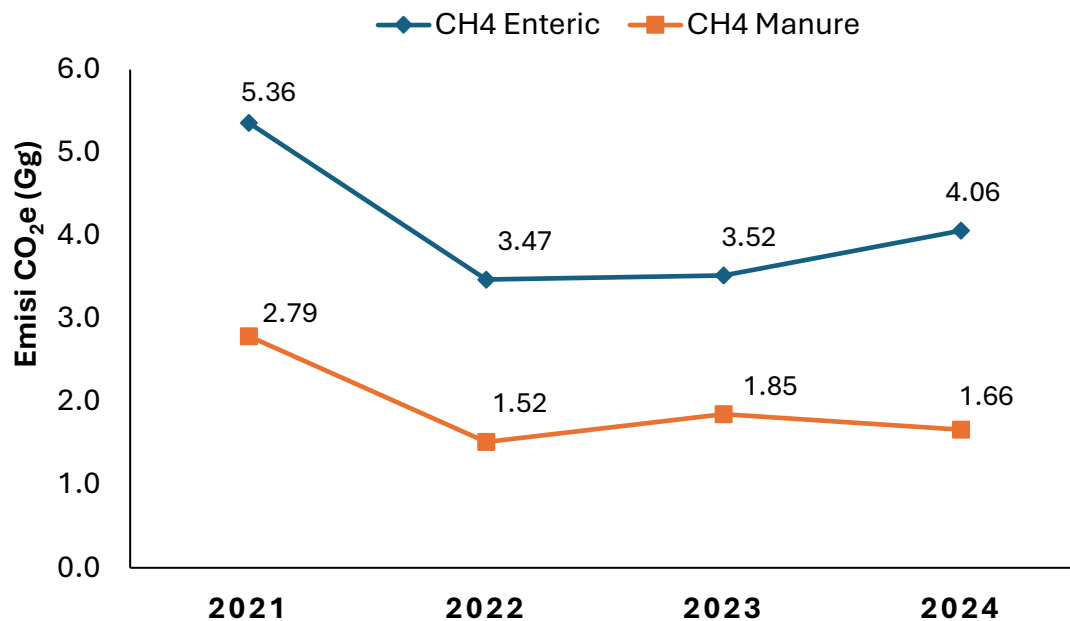
Fluktuasi populasi ternak dari tahun ke tahun berkaitan erat dengan *demand* pasar dan siklus produksi peternakan di wilayah Kota Malang dan sekitarnya. Penurunan jumlah ternak pada tahun 2022 dan 2024 dapat disebabkan oleh penyesuaian pasokan akibat pandemi COVID-19, serta kebijakan distribusi ternak antarwilayah di tingkat provinsi. Meskipun demikian, tren umum menunjukkan bahwa aktivitas peternakan di

Kota Malang tetap cukup intensif, khususnya pada subsektor unggas dan ruminansia kecil (kambing dan domba).

Dari sisi kontribusi emisi, sapi potong dan sapi perah merupakan dua jenis ternak yang memberikan kontribusi terbesar terhadap emisi metana (CH_4) akibat fermentasi enterik. Sementara itu, kambing, domba, dan kerbau juga menyumbang emisi dalam jumlah yang tidak kecil, meskipun skalanya lebih rendah dibandingkan sapi. Di sisi lain, pengelolaan kotoran ternak—khususnya dari sapi, babi, dan unggas—menjadi sumber tambahan emisi nitrous oxide (N_2O) yang turut berkontribusi terhadap total emisi GRK sektor AFOLU.

Kondisi ini menunjukkan bahwa subsektor peternakan di Kota Malang masih menjadi sumber emisi yang perlu mendapat perhatian dalam kebijakan mitigasi daerah, terutama melalui peningkatan efisiensi sistem manajemen pakan dan limbah ternak, serta pemanfaatan biogas sebagai alternatif energi terbarukan. Selain itu, integrasi antara sektor peternakan dan kehutanan kota (*urban forestry*) dapat menjadi strategi efektif untuk menyeimbangkan emisi dan serapan karbon di wilayah perkotaan.

Gambar 7 menunjukkan jumlah emisi metana (CH_4) yang dihasilkan dari proses fermentasi enterik (CH_4 *Enteric*) dan pengelolaan kotoran ternak (CH_4 *Manure*) selama empat tahun terakhir (2021–2024). Secara umum, pola emisi CH_4 menunjukkan fluktuasi yang cukup signifikan, mengikuti dinamika jumlah populasi ternak di Kota Malang (lihat Gambar 6). Pada tahun 2021, emisi CH_4 *Enteric* mencapai nilai tertinggi sebesar 5,36 Gg CO_2e , diikuti oleh CH_4 *Manure* sebesar 2,79 Gg CO_2e . Nilai ini menurun tajam pada tahun 2022 seiring dengan penurunan populasi sapi dan kambing akibat pembatasan aktivitas ekonomi pascapandemi. Namun, sejak 2023, emisi CH_4 kembali meningkat sejalan dengan peningkatan jumlah ternak dan aktivitas peternakan rakyat. Pada tahun 2024, nilai emisi CH_4 *Enteric* tercatat 4,06 Gg CO_2e , sementara CH_4 *Manure* mencapai 1,66 Gg CO_2e . Tren ini menunjukkan bahwa fermentasi enterik tetap menjadi sumber utama emisi metana di subsektor peternakan, terutama dari sapi potong dan sapi perah sebagai ruminansia besar.

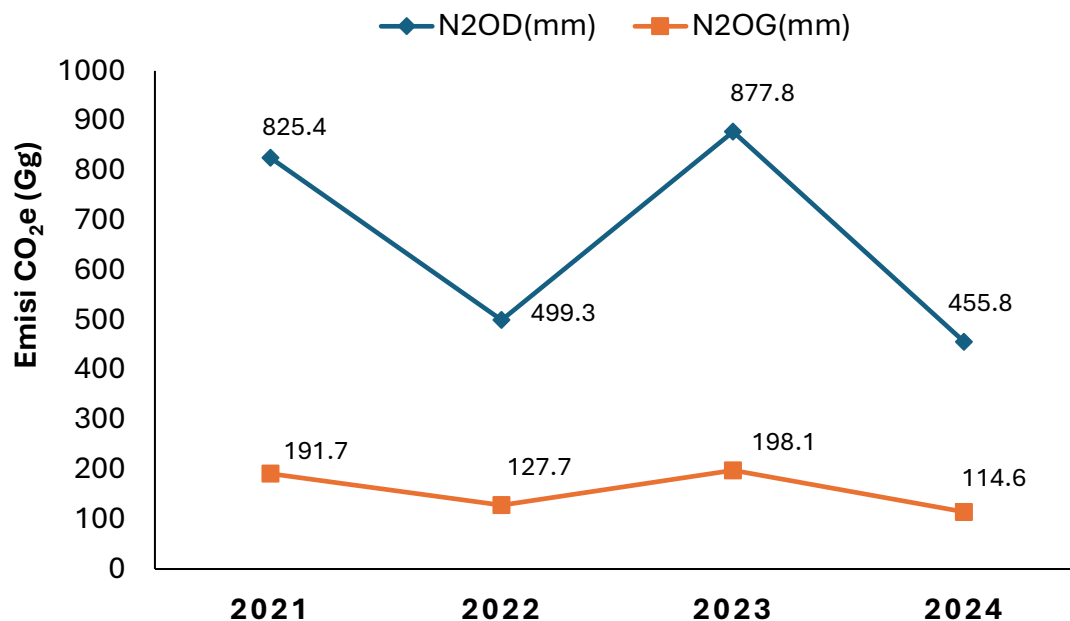


Gambar 7. Jumlah emisi GRK subsektor peternakan senyawa metana (CH_4) selama kurun waktu 4 tahun di Kota Malang

Sementara itu, Gambar 8 memperlihatkan emisi GRK dalam bentuk dinitrogen oksida (N_2O) yang berasal dari pengelolaan kotoran ternak, baik secara langsung (N_2OD) maupun tidak langsung (N_2OG). Emisi N_2O langsung dihasilkan dari proses nitrifikasi dan denitrifikasi nitrogen yang terkandung dalam kotoran ternak saat disimpan atau diolah, sedangkan emisi tidak langsung berasal dari pelepasan nitrogen ke atmosfer dalam bentuk gas setelah terjadi volatilisasi atau pencucian ke lingkungan. Nilai emisi N_2OD menunjukkan fluktuasi yang cukup tajam, dengan puncak tertinggi pada tahun 2023 sebesar 877,8 Gg CO_2e , dan terendah pada tahun 2022 sebesar 499,3 Gg CO_2e . Sementara itu, emisi N_2OG cenderung lebih kecil namun stabil, berkisar antara 114–198 Gg CO_2e selama periode 2021–2024. Peningkatan signifikan pada tahun 2023 sejalan dengan meningkatnya jumlah ternak ruminansia dan sistem pengelolaan kotoran yang masih konvensional di beberapa wilayah peternakan.

Secara keseluruhan, pola emisi CH_4 dan N_2O di subsektor peternakan Kota Malang memperlihatkan adanya keterkaitan erat antara peningkatan populasi ternak dan besarnya emisi GRK. Meskipun kontribusinya terhadap total emisi kota relatif lebih kecil dibandingkan sektor energi, subsektor ini tetap penting untuk diperhatikan mengingat potensi reduksi yang dapat dicapai melalui penerapan manajemen kotoran ternak yang

lebih baik, seperti penggunaan biogas digester, komposting terkontrol, serta pola pakan rendah emisi metana.



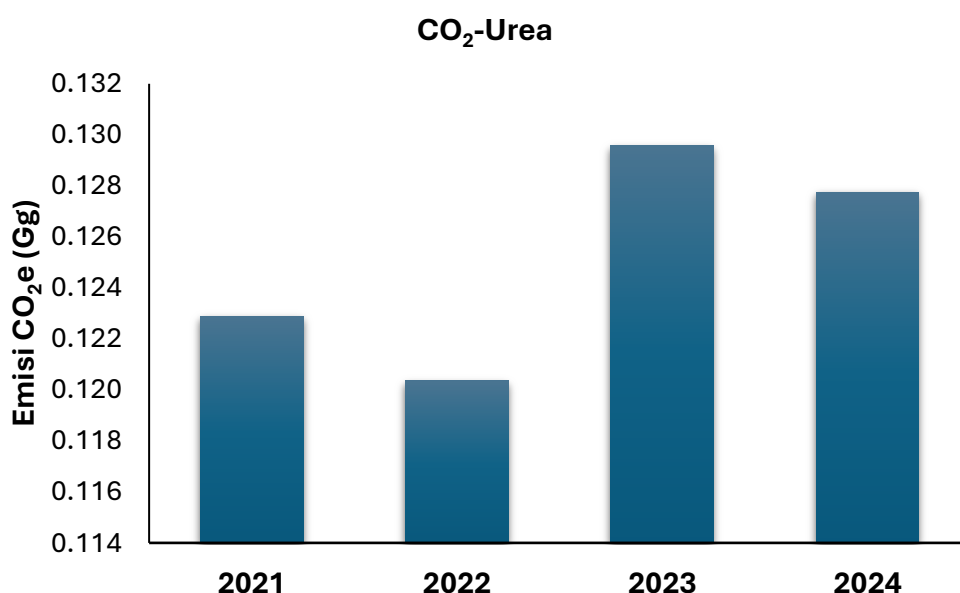
Gambar 8. Jumlah emisi GRK subsektor peternakan senyawa dinitrogen oksida (N_2O) selama kurun waktu 4 tahun di Kota Malang. N_2O_D : Direct N_2O Emissions from Manure Management Systems, N_2O_G : Indirect N_2O Emissions from Manure Management

4.2.2. Subsektor Pertanian

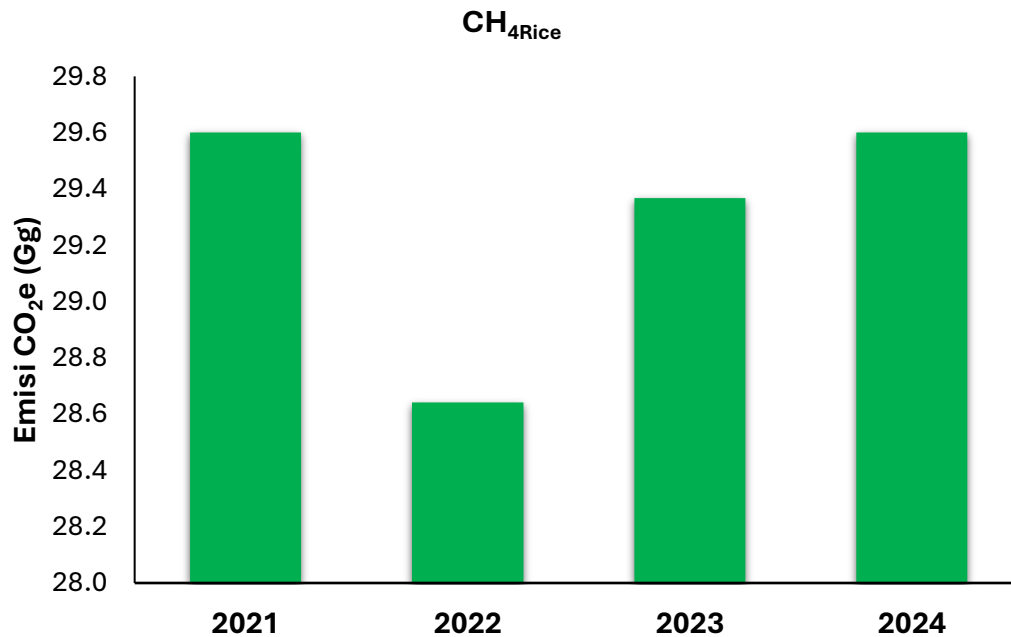
Subsektor pertanian merupakan salah satu sumber emisi gas rumah kaca (GRK) yang penting dalam sektor AFOLU (Agriculture, Forestry, and Other Land Use). Emisi dari subsektor ini umumnya berasal dari aktivitas budidaya tanaman pangan, penggunaan pupuk kimia dan organik, pengelolaan lahan pertanian, serta pembakaran sisa biomassa hasil panen. Meskipun kontribusinya di Kota Malang tidak sebesar di wilayah agraris utama, subsektor pertanian tetap memberikan andil dalam total emisi GRK daerah, terutama dari lahan sawah, penggunaan pupuk urea, dan pengelolaan residu pertanian. Profil emisi Gas Rumah Kaca (GRK) pada subsektor pertanian di Kota Malang selama periode 2021–2024 menunjukkan variasi yang dipengaruhi oleh faktor penggunaan pupuk, luas dan intensitas pengolahan lahan sawah, serta praktik pengelolaan residu dan pupuk organik di lahan pertanian.

Berdasarkan Gambar 9, emisi CO₂ dari aktivitas penggunaan pupuk urea mengalami fluktuasi dalam periode pengamatan. Pada tahun 2021, emisi tercatat sebesar ±0,123 Gg CO₂e, kemudian menurun pada 2022 menjadi sekitar 0,119 Gg CO₂e. Namun demikian, terjadi peningkatan signifikan pada 2023 hingga mencapai puncak emisi sebesar ±0,131 Gg CO₂e, sebelum kembali menurun sedikit pada 2024 menjadi sekitar 0,128 Gg CO₂e. Pola ini menggambarkan bahwa intensitas pemakaian pupuk urea sangat berpengaruh terhadap besaran emisi, terutama pada tahun 2023 yang ditandai dengan meningkatnya dosis atau luasan lahan yang dipupuk.

Emisi GRK dari aktivitas pengolahan sawah padi yang menghasilkan gas metana (CH₄) ditampilkan pada Gambar 10. Tren emisi menunjukkan adanya variasi antar tahun, dengan nilai tertinggi pada tahun 2021 (±29,6 Gg CO₂e) dan kembali meningkat pada 2024 dengan nilai yang mendekati kondisi awal. Tahun 2022 menunjukkan penurunan tajam hingga sekitar 28,6 Gg CO₂e, yang mengindikasikan berkurangnya luas area tanam atau perbedaan periode kultivasi padi. Namun, pada 2023 dan 2024, emisi kembali meningkat sejalan dengan intensitas pengolahan sawah yang lebih tinggi. Hal ini memperlihatkan bahwa luas tanam dan lama periode genangan air di sawah merupakan faktor kunci yang menentukan tingkat emisi CH₄.



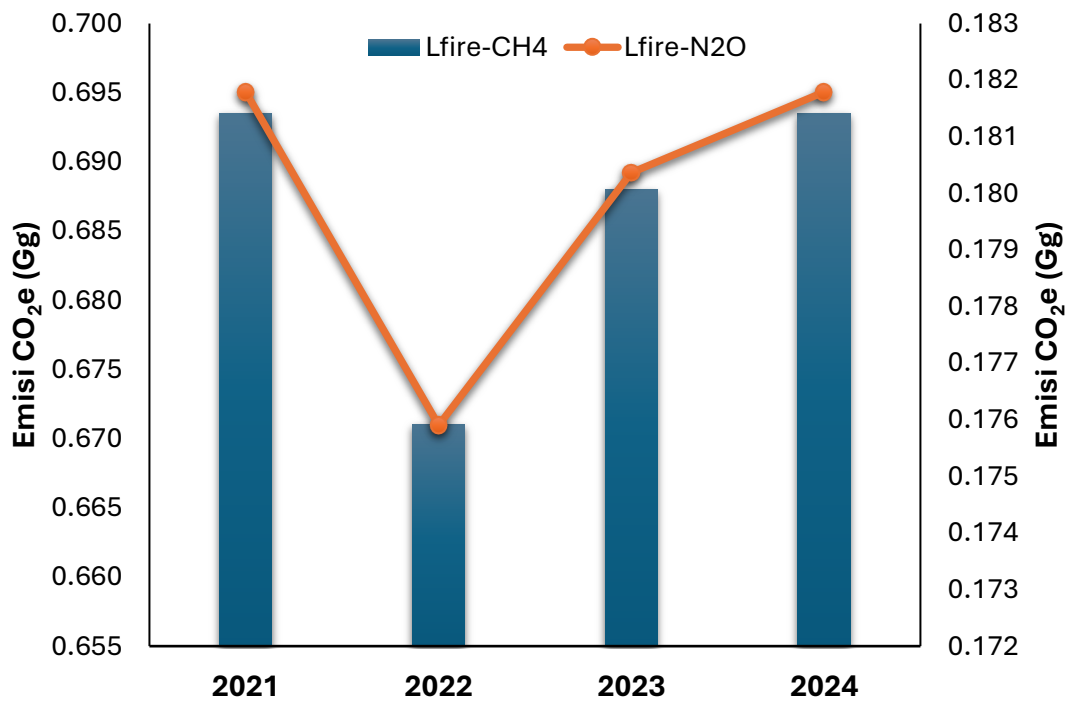
Gambar 9. Jumlah Emisi GRK Subsektor Pertanian dari aktivitas penggunaan pupuk urea



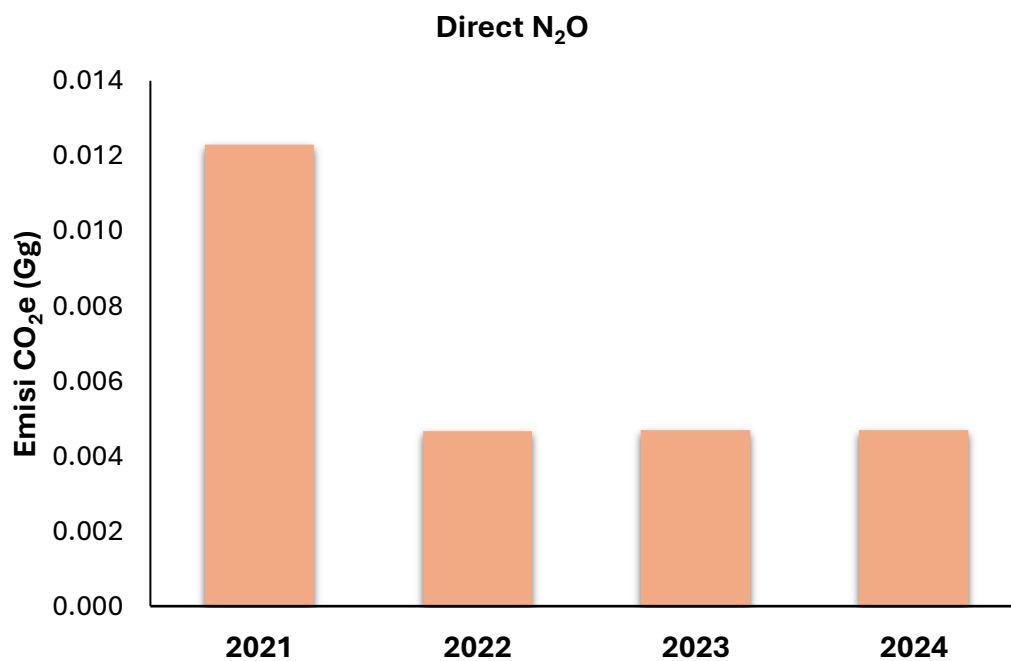
Gambar 10. Jumlah Emisi GRK Subsektor Pertanian dari aktivitas pengolahan sawah padi

Gambar 11 memperlihatkan emisi dari aktivitas pembakaran biomassa sisa tanaman panen yang menghasilkan gas CH_4 dan N_2O . Untuk CH_4 , nilai emisi relatif stabil dengan kisaran 0,655–0,695 Gg CO_2e . Peningkatan terjadi pada tahun 2023 dan 2024 setelah sempat turun pada tahun 2022. Sedangkan untuk N_2O , emisi juga menunjukkan pola yang serupa dengan nilai berkisar antara 0,172–0,182 Gg CO_2e . Puncak emisi tercatat pada tahun 2021 dan 2024, sementara penurunan terjadi pada 2022. Pola ini menandakan bahwa intensitas pembakaran residu pascapanen masih menjadi praktik umum di beberapa lahan pertanian, yang berkontribusi terhadap pelepasan emisi GRK.

Gambar 12 menunjukkan emisi N_2O langsung (*Direct N_2O*) dari aktivitas pengolahan lahan pertanian. Pada tahun 2021, emisi tercatat relatif tinggi yaitu sekitar 0,012 Gg CO_2e . Namun, terjadi penurunan drastis pada 2022 hingga 2024 dengan nilai yang lebih rendah (sekitar 0,004–0,005 Gg CO_2e). Penurunan ini dapat dikaitkan dengan berkurangnya penggunaan pupuk kandang atau pupuk organik yang menghasilkan N_2O langsung di lahan, atau adanya penerapan praktik pengelolaan lahan yang lebih ramah lingkungan.



Gambar 11. Jumlah Emisi GRK Subsektor Pertanian dari aktivitas pembakaran biomassa sisa panen. $L_{\text{fire-CH}_4}$: CH_4 emissions from fire, $L_{\text{fire-N}_2\text{O}}$: N_2O emissions from fire



Gambar 12. Jumlah Emisi GRK Subsektor Pertanian dari aktivitas pengolahan lahan yang menghasilkan N_2O Langsung. *Direct N₂O: Direct N₂O Emissions from Managed Soils*

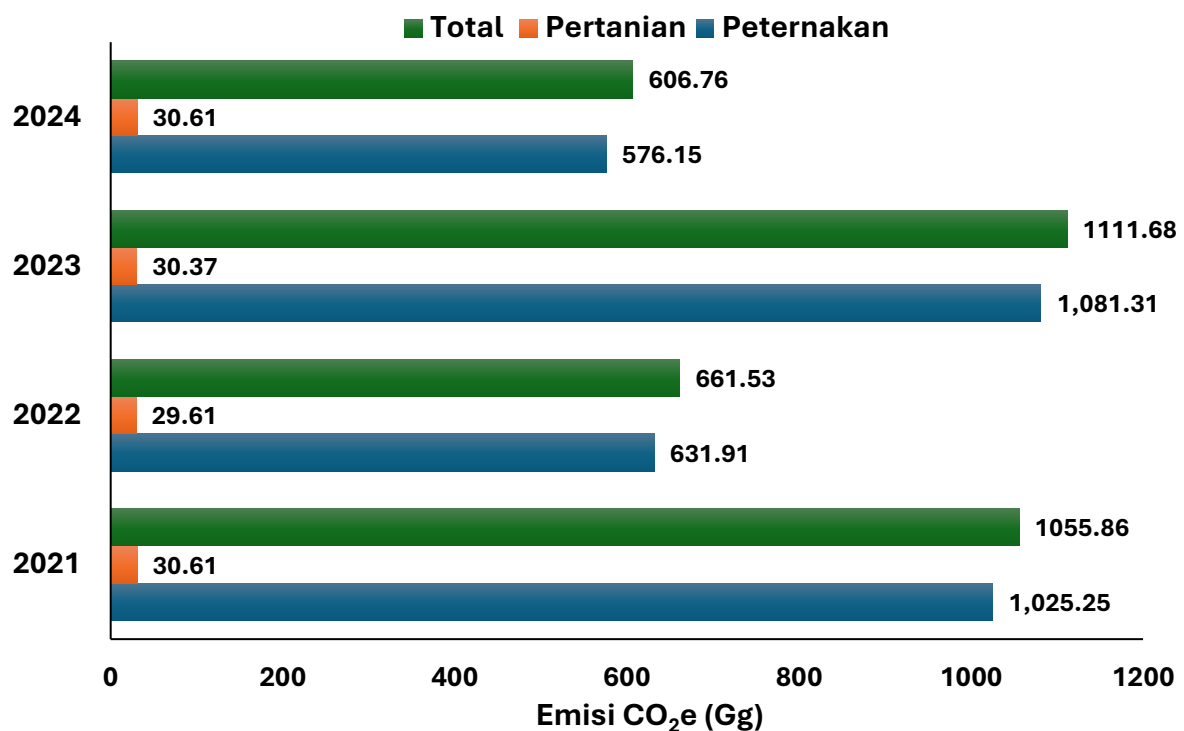
Hasil inventarisasi menunjukkan bahwa total emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari sektor *Agriculture, Forestry and Other Land Use* (AFOLU) di Kota Malang dalam periode 2021–2024 cenderung berfluktuasi. Pada tahun 2021, total emisi tercatat sebesar 1.055,86 Gg CO₂e, yang sebagian besar berasal dari subsektor peternakan sebesar 1.025,25 Gg CO₂e, sedangkan subsektor pertanian hanya menyumbang 30,61 Gg CO₂e. Pada tahun 2022, total emisi mengalami penurunan cukup signifikan menjadi 661,53 Gg CO₂e, dengan kontribusi peternakan sebesar 631,91 Gg CO₂e dan pertanian 29,61 Gg CO₂e (Gambar 13). Penurunan ini dapat mengindikasikan berkurangnya populasi ternak tertentu atau adanya perubahan pada aktivitas produksi di sektor peternakan.

Namun, pada tahun 2023, total emisi meningkat kembali secara tajam hingga mencapai 1.111,68 Gg CO₂e, melampaui tingkat emisi pada 2021. Peningkatan ini didorong oleh melonjaknya emisi dari subsektor peternakan yang mencapai 1.081,31 Gg CO₂e, sedangkan kontribusi pertanian relatif stabil pada angka 30,37 Gg CO₂e. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa fluktuasi total emisi GRK di sektor AFOLU sangat erat kaitannya dengan dinamika subsektor peternakan. Pada tahun 2024, total emisi kembali menurun signifikan menjadi 606,76 Gg CO₂e, terdiri atas 576,15 Gg CO₂e dari subsektor peternakan dan 30,61 Gg CO₂e dari subsektor pertanian.

Jika dibandingkan antar subsektor, terlihat jelas bahwa subsektor peternakan merupakan penyumbang terbesar emisi GRK AFOLU di Kota Malang dengan kontribusi lebih dari 90% terhadap total emisi setiap tahunnya. Sementara itu, kontribusi subsektor pertanian relatif kecil, yaitu rata-rata sekitar 30 Gg CO₂e per tahun, namun tetap penting untuk diperhatikan. Hasil pembahasan sebelumnya menunjukkan bahwa emisi pertanian bersumber dari penggunaan pupuk urea, budidaya padi sawah yang menghasilkan CH₄, pembakaran residu tanaman, serta emisi langsung N₂O dari pengolahan lahan. Meskipun kontribusinya lebih kecil dibanding subsektor peternakan, subsektor pertanian memiliki peluang mitigasi yang relatif lebih mudah dilakukan melalui pengelolaan budidaya yang berkelanjutan, efisiensi pemupukan, serta pemanfaatan residu pertanian.

Dengan demikian, data ini menggarisbawahi bahwa strategi mitigasi penurunan emisi GRK di sektor AFOLU Kota Malang perlu difokuskan pada subsektor peternakan sebagai kontributor utama, misalnya melalui perbaikan manajemen pakan, pengelolaan kotoran ternak, serta pemanfaatan biogas. Di sisi lain, subsektor pertanian juga tetap

perlu dikelola dengan penerapan praktik ramah lingkungan seperti alternate wetting and drying pada sawah, pengurangan pembakaran jerami, dan optimalisasi pupuk organik. Pendekatan terpadu pada kedua subsektor ini menjadi kunci penting untuk menekan laju pertumbuhan emisi sekaligus mendukung pencapaian target penurunan emisi di Kota Malang.



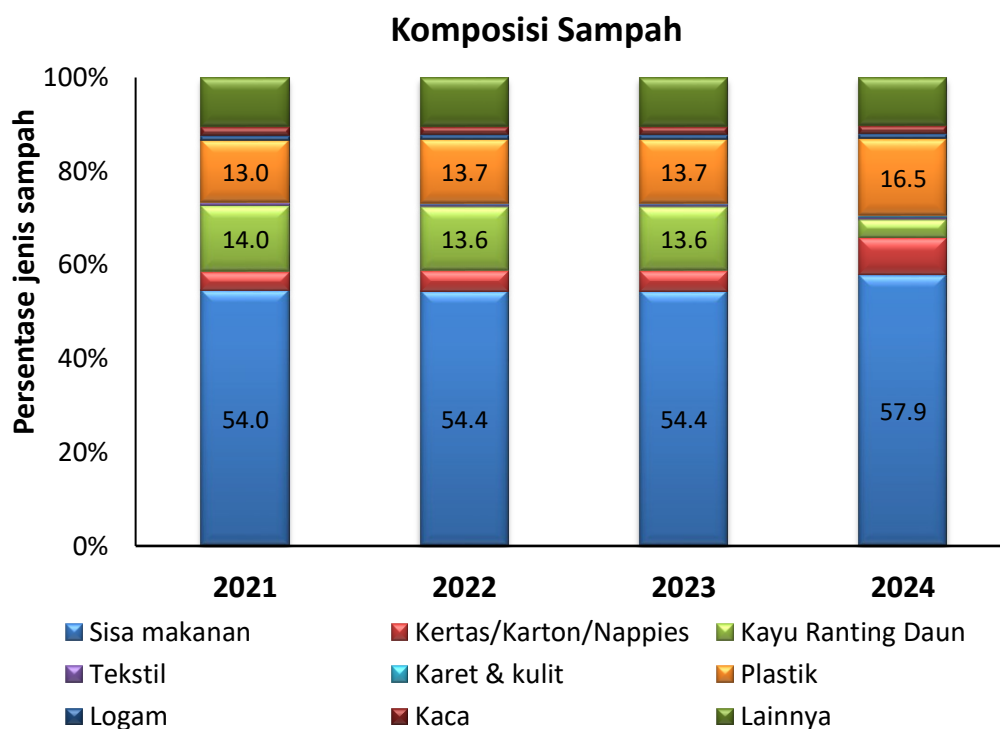
Gambar 13. Jumlah Emisi GRK (CO_2 Ekuivalen, Gg) dari Sektor AFOLU Kota Malang dalam kurun 4 tahun terakhir

4.3. Emisi GRK dari Sektor Sektor Limbah

Komposisi sampah Kota Malang dalam kurun waktu 2021–2024 menunjukkan bahwa sisa makanan secara konsisten merupakan fraksi terbesar dari total timbunan sampah, dengan proporsi hampir mencapai 50–55% setiap tahunnya (Gambar 14) . Hal ini menggambarkan bahwa sampah organik dari aktivitas rumah tangga, restoran, pasar, dan sektor jasa kuliner menjadi kontributor utama dalam timbunan sampah kota. Dominasi sampah organik tersebut sangat relevan dalam konteks emisi Gas Rumah Kaca (GRK), karena berpotensi menghasilkan gas metana (CH_4) dalam jumlah signifikan apabila terdegradasi secara anaerobik di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA).

Selain sisa makanan, komposisi sampah lainnya yang relatif besar adalah plastik dengan proporsi sekitar 13–16%, serta fraksi kayu, ranting, dan daun yang mencapai sekitar 13–14%. Plastik menjadi perhatian penting meskipun tidak langsung menghasilkan emisi GRK yang besar saat ditimbun, namun menimbulkan masalah lingkungan jangka panjang karena sifatnya yang sulit terurai. Sementara itu, limbah kayu dan daun merupakan fraksi organik lain yang juga dapat menyumbang emisi metana apabila tidak dikelola dengan baik.

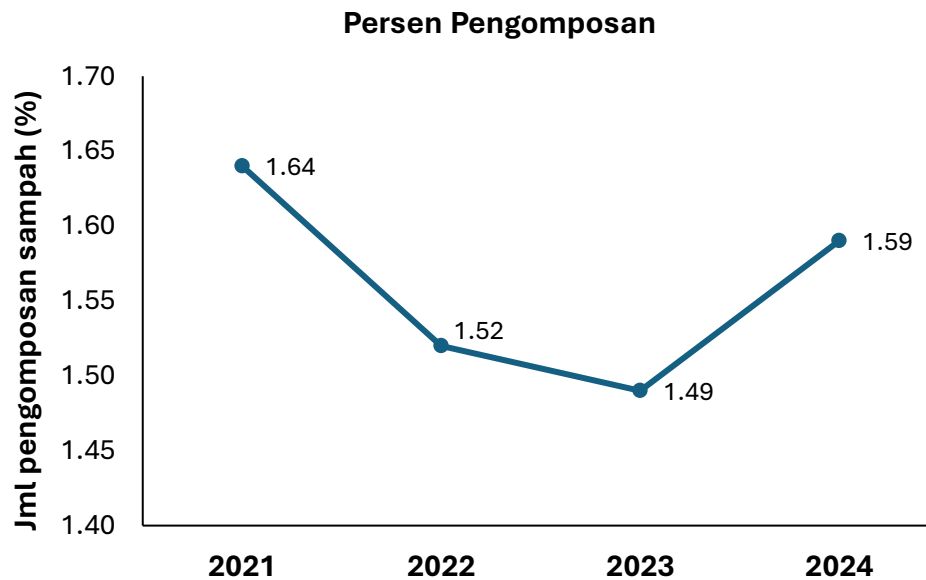
Komponen lain seperti kertas/karton/nappies, karet dan kulit, serta tekstil memberikan kontribusi yang lebih kecil secara persentase (di bawah 10% per tahun), namun tetap relevan untuk dianalisis karena masing-masing memiliki karakteristik degradasi dan potensi emisi yang berbeda. Variasi proporsi tiap fraksi antar tahun terlihat tidak begitu besar, yang menandakan bahwa pola konsumsi dan aktivitas masyarakat Kota Malang relatif stabil selama empat tahun terakhir.



Gambar 14. Profil komposisi sampah di Kota Malang dalam kurun waktu 4 tahun

Berdasarkan Gambar 15, persentase sampah yang dimanfaatkan melalui pengomposan di Kota Malang dalam kurun waktu 2021–2024 relatif masih sangat rendah, yakni hanya berkisar antara 1,49–1,64% dari total timbunan sampah. Pada tahun 2021, tingkat pengomposan tercatat sebesar 1,64%, kemudian menurun menjadi 1,52%

pada 2022 dan mencapai titik terendah pada 2023 sebesar 1,49%. Meskipun demikian, terdapat sedikit peningkatan pada 2024 hingga mencapai 1,59%, namun nilainya belum kembali ke level awal tahun 2021.



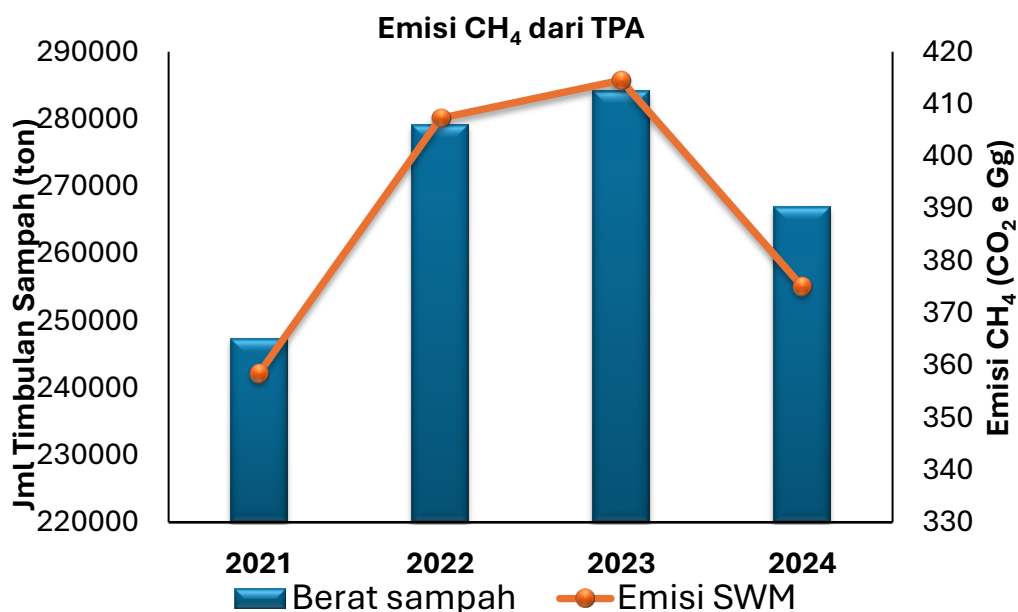
Gambar 15. Profil persentase sampah yang dijadikan kompos (*Composting*) di Kota Malang dalam kurun waktu 4 tahun

Kondisi ini menunjukkan bahwa upaya pengelolaan sampah organik melalui pengomposan di Kota Malang masih menghadapi berbagai tantangan. Rendahnya proporsi pengomposan tidak sebanding dengan tingginya persentase sampah organik (sisa makanan dan dedaunan) yang secara konsisten mendominasi komposisi sampah kota sekitar 50–55% setiap tahunnya (Gambar 14). Dengan demikian, sebagian besar sampah organik masih berakhir di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA), yang berpotensi menghasilkan emisi metana (CH_4) cukup besar akibat proses degradasi anaerobik.

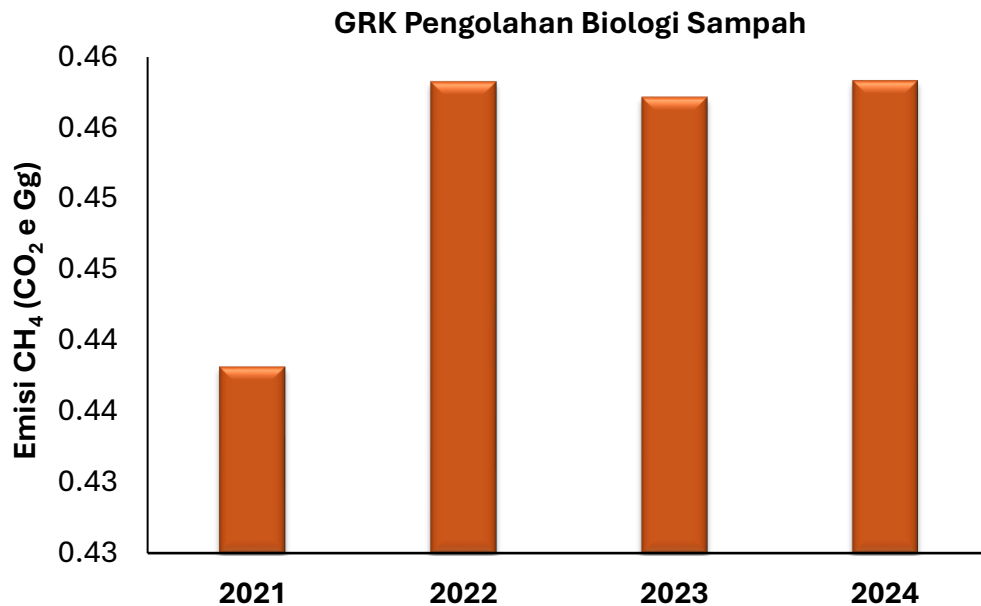
Gambar 16 menunjukkan hubungan antara jumlah timbulan sampah padat yang masuk ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) dengan emisi metana (CH_4) yang dihasilkan. Pada tahun 2021, jumlah timbulan sampah relatif rendah dan menghasilkan emisi CH_4 sekitar 360 Gg CO_2e . Peningkatan signifikan terjadi pada 2022 dan mencapai puncaknya pada 2023, dengan emisi CH_4 lebih dari 410 Gg CO_2e seiring dengan bertambahnya jumlah timbulan sampah. Pada tahun 2024, meskipun jumlah timbulan sampah masih tinggi, emisi CH_4 mengalami penurunan hingga sekitar 380 Gg CO_2e . Hal ini dapat menunjukkan adanya perbedaan kandungan sampah organik atau efisiensi pengelolaan

sampah di TPA pada tahun tersebut. Pola ini konsisten dengan temuan sebelumnya (Gambar 14), di mana sampah organik mendominasi komposisi sampah Kota Malang, sehingga fluktuasi timbulan langsung berpengaruh pada jumlah emisi CH_4 yang dilepaskan dari TPA.

Gambar 17 memperlihatkan jumlah emisi metana (CH_4) yang dihasilkan dari proses pengomposan sampah organik di TPA. Nilai emisi relatif kecil dibandingkan dengan emisi dari timbulan sampah di TPA (Gambar 16), dengan kisaran 0,44–0,46 Gg CO_2e selama periode 2021–2024. Emisi tertinggi tercatat pada 2022 dan 2024, sementara pada 2021 lebih rendah. Meskipun pengomposan menghasilkan emisi CH_4 , kontribusinya sangat kecil karena persentase sampah yang dikomposkan masih rendah (hanya sekitar 1,5% dari total sampah, Gambar 15). Temuan ini mengindikasikan bahwa skala pengomposan di Kota Malang belum signifikan dalam menekan timbulan sampah organik, sehingga sebagian besar potensi emisi CH_4 tetap berasal dari TPA.



Gambar 16. Hubungan jumlah timbulan sampah padat di TPA dengan emisi CH_4 yang dihasilkan di Kota Malang dalam kurun waktu 4 tahun

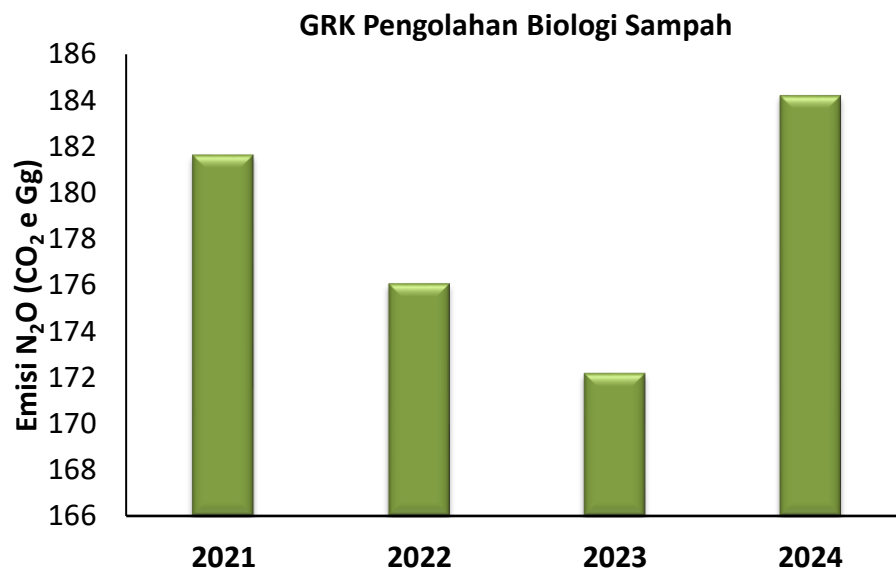


Gambar 17. Jumlah Emisi GRK (CH₄) yang dihasilkan dari aktivitas pengomposan sampah organik di TPA

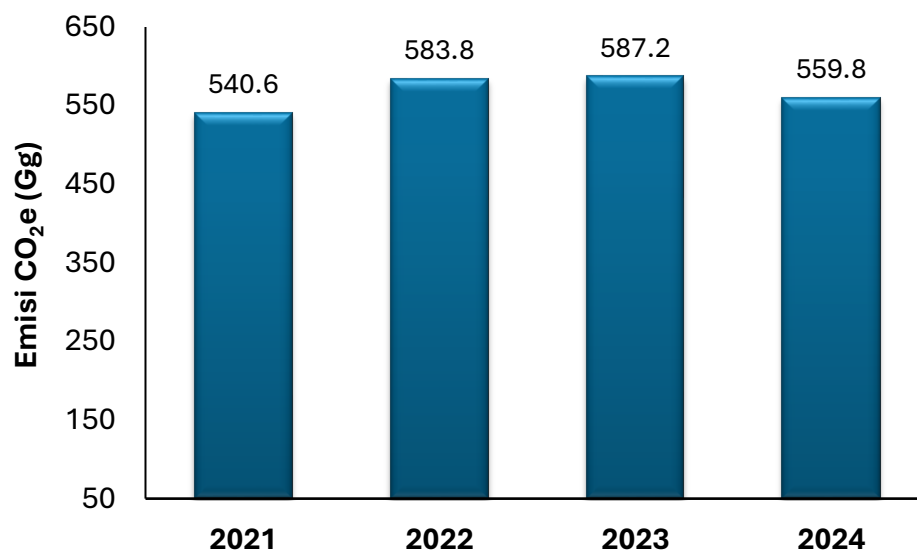
Gambar 18 menampilkan jumlah emisi dinitrogen oksida (N₂O) yang dihasilkan dari aktivitas pengomposan sampah organik di TPA. Nilai emisi berkisar antara 170–185 Gg CO₂e, dengan fluktuasi sepanjang periode 2021–2024. Emisi tertinggi terjadi pada tahun 2024 (sekitar 185 Gg CO₂e), sementara emisi terendah tercatat pada tahun 2023 (sekitar 170 Gg CO₂e). Angka ini relatif tinggi jika dibandingkan dengan emisi CH₄ dari pengomposan (Gambar 17), menunjukkan bahwa meskipun skala pengomposan kecil, proses biologisnya berkontribusi terhadap pelepasan N₂O. Kondisi ini memperlihatkan bahwa pengomposan memang berpotensi menghasilkan N₂O, namun manfaat mitigasi tetap lebih besar karena volume sampah organik yang dialihkan dari TPA mampu menekan produksi CH₄ yang lebih dominan sebagai GRK dengan potensi pemanasan global tinggi.

Gambar 19 memperlihatkan jumlah total emisi GRK dari sektor limbah Kota Malang dalam kurun 2021–2024. Pada tahun 2021, total emisi tercatat sebesar 540,6 Gg CO₂e, kemudian meningkat pada 2022 dan 2023 dengan nilai masing-masing 583,8 Gg CO₂e dan 587,2 Gg CO₂e. Pada tahun 2024, total emisi menurun sedikit menjadi 559,8 Gg CO₂e, meskipun nilainya masih lebih tinggi dibandingkan 2021. Tren ini menunjukkan bahwa emisi GRK sektor limbah cenderung meningkat, dipengaruhi oleh pertumbuhan

timbulan sampah (Gambar 16) yang masih didominasi oleh fraksi organik (Gambar 14), sementara tingkat pengomposan tetap rendah (Gambar 15). Dengan demikian, TPA tetap menjadi sumber utama emisi GRK dari sektor limbah di Kota Malang.



Gambar 18. Jumlah Emisi GRK (N_2O) yang dihasilkan dari aktivitas pengomposan sampah organik di TPA



Gambar 19. Jumlah total emisi GRK (CO_2e , Gg) dari Sektor Limbah Kota Malang dalam kurun 4 tahun terakhir

Jika dikaitkan dengan keseluruhan data, terlihat bahwa tingginya dominasi sampah organik di Kota Malang (sekitar 50–55% dari total timbunan) menjadi faktor kunci yang menjelaskan mengapa emisi CH_4 dari TPA (Gambar 16) sangat dominan dalam sektor limbah. Sementara itu, rendahnya tingkat pengomposan (Gambar 15) memperkuat kondisi ini, karena sebagian besar sampah organik berakhir di TPA. Pengomposan memang menghasilkan emisi N_2O dan sedikit CH_4 (Gambar 17–18), tetapi kontribusinya jauh lebih kecil dibanding emisi dari timbunan sampah di TPA.

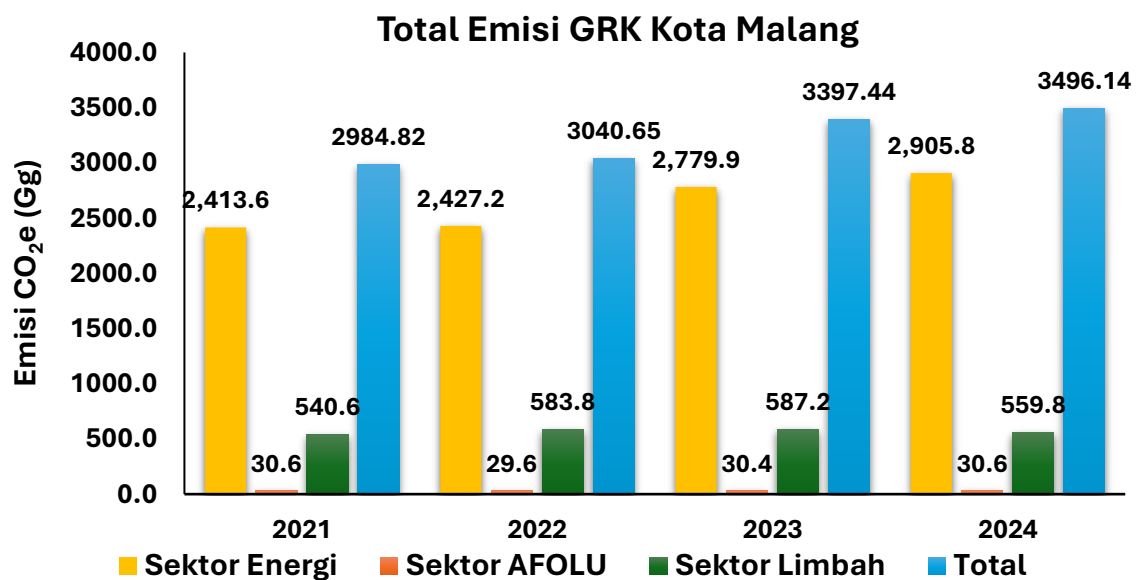
Oleh karena itu, strategi mitigasi di sektor limbah Kota Malang perlu difokuskan pada pengurangan timbunan sampah organik ke TPA melalui peningkatan pengomposan skala rumah tangga, komunitas, dan kota. Selain itu, teknologi *landfill gas capture* di TPA dapat menjadi solusi jangka menengah untuk mengurangi emisi CH_4 secara signifikan. Dengan langkah-langkah tersebut, tren kenaikan emisi GRK sektor limbah yang terlihat pada Gambar 19 dapat ditekan, sekaligus mendukung target penurunan emisi Kota Malang.

4.4. Total Emisi GRK Kota Malang 2021-2024

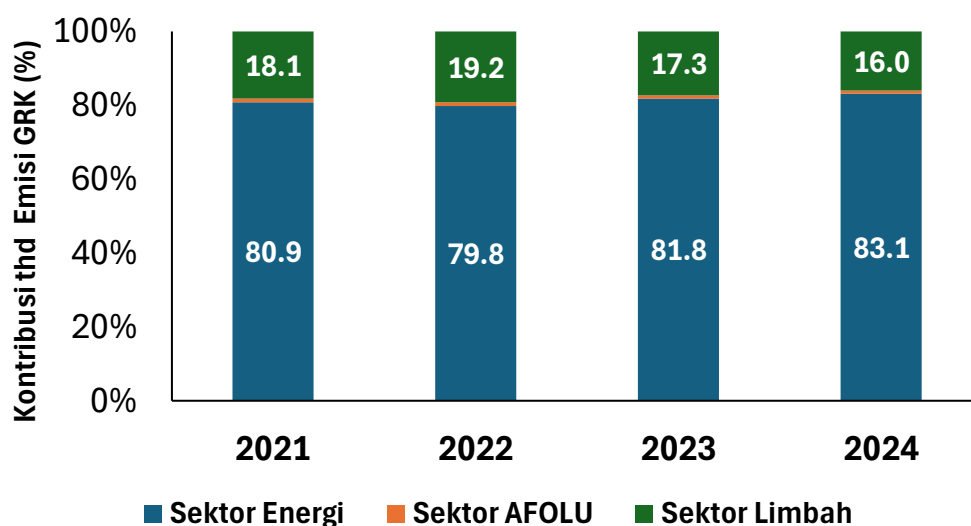
Total emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Kota Malang dalam kurun waktu 2021–2024 mengalami tren peningkatan (Gambar 20). Pada tahun 2021, total emisi tercatat sebesar 2.984,82 Gg CO_2e . Angka ini meningkat menjadi 3.040,65 Gg CO_2e pada 2022, kemudian naik lagi pada 2023 hingga mencapai 3.397,44 Gg CO_2e , dan kembali bertambah pada 2024 menjadi 3.496,14 Gg CO_2e . Kenaikan ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat variasi di masing-masing sektor, secara keseluruhan Kota Malang menghadapi peningkatan emisi yang konsisten dari tahun ke tahun.

Jika ditinjau dari kontribusi per sektor, sektor energi menjadi penyumbang terbesar dengan kisaran 2.400–2.900 Gg CO_2e per tahun, atau lebih dari 80% dari total emisi Kota Malang. Sektor energi mencakup penggunaan bahan bakar di transportasi, industri, dan aktivitas rumah tangga, yang secara dominan memengaruhi tren total emisi. Sektor limbah merupakan kontributor kedua terbesar dengan besaran emisi sekitar 540–587 Gg CO_2e per tahun, setara dengan 16–19% dari total emisi. Sementara itu, sektor AFOLU (*Agriculture, Forestry and Other Land Use*) memberikan kontribusi yang relatif kecil, yaitu sekitar 29–31 Gg CO_2e per tahun atau kurang dari 1% dari total emisi (Gambar 21). Terlihat bahwa kontribusi sektor energi cenderung meningkat dari 80,9% pada 2021

menjadi 83,1% pada 2024, sementara kontribusi sektor limbah menurun dari 18,1% menjadi 16,0% pada periode yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan emisi Kota Malang semakin didominasi oleh sektor energi, seiring meningkatnya aktivitas transportasi, konsumsi listrik, dan kebutuhan energi lainnya. Sektor AFOLU tetap menunjukkan kontribusi yang sangat kecil (<1%) meskipun fluktuasi internal terjadi, misalnya pada subsektor peternakan yang sebelumnya menjadi sumber utama dalam sektor ini.



Gambar 20. Besaran Emisi GRK (CO₂E, Gg) per sektor



Gambar 21. Kontribusi tiap sektor terhadap besaran total emisi GRK (CO₂E, Gg) di Kota Malang

Hasil ini memperlihatkan gambaran komprehensif bahwa upaya pengendalian emisi GRK di Kota Malang perlu difokuskan pada dua sektor utama, yaitu energi dan limbah. Pada sektor energi, peningkatan konsumsi bahan bakar fosil masih menjadi penyebab utama naiknya emisi, sehingga strategi mitigasi dapat diarahkan pada pengembangan transportasi rendah karbon, efisiensi energi, dan penggunaan energi terbarukan. Pada sektor limbah, tingginya proporsi sampah organik dalam timbunan sampah (Gambar 14) dan rendahnya tingkat pengomposan (Gambar 15) menjelaskan mengapa emisi dari sektor ini tetap signifikan, terutama dalam bentuk metana dari TPA (Gambar 16). Sementara itu, meskipun sektor AFOLU hanya menyumbang <1% dari total emisi, pembahasan sebelumnya menunjukkan bahwa subsektor peternakan mendominasi emisi dalam sektor ini. Oleh karena itu, meskipun kontribusinya relatif kecil terhadap total, strategi mitigasi tetap penting dilakukan, seperti peningkatan pengelolaan limbah peternakan dan efisiensi pemupukan di sektor pertanian.

4.5. Estimasi Serapan Karbon oleh Pohon Pelindung Kota Malang

4.5.1. Metodologi Perhitungan

Perhitungan serapan karbon oleh vegetasi kota dilakukan menggunakan data inventarisasi pohon pelindung yang dikelola oleh Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Malang. Data tersebut mencakup informasi jenis, jumlah individu, diameter batang (DBH), tinggi pohon, dan lokasi administrasi (kecamatan/kelurahan). Seluruh data mewakili pohon pelindung di ruang publik, meliputi taman kota, jalur hijau jalan, median, dan kawasan hutan kota yang menjadi aset pemerintah daerah. Dalam kegiatan ini, perhitungan biomassa atas permukaan tanah (*Above-Ground Biomass*, AGB) telah dilakukan oleh DLH Kota Malang berdasarkan persamaan alometrik umum untuk pohon tropis (Chave et al, 2014). Hasil perhitungan AGB (dalam satuan kilogram) kemudian digunakan untuk mengestimasi jumlah karbon tersimpan (C) dan serapan karbon ekuivalen CO₂ (CO₂e) dengan mengacu pada Panduan IPCC 2006 dan 2019 Refinement. Langkah-langkah konversi perhitungan adalah sebagai berikut:

- Menghitung stok karbon (C):

$$C = AGB \times f_c$$

dengan $f_c = 0,47$ (fraksi karbon dalam biomassa, sesuai pedoman IPCC).

- Mengonversi karbon menjadi karbon dioksida ekuivalen (CO₂e):

$$CO_2 = C \times \frac{44}{12}$$

Faktor 44/12 merupakan rasio massa molekul karbon dioksida terhadap karbon (C).

- Konversi satuan:

Hasil CO₂ (dalam kilogram) kemudian dikonversi menjadi gigagram (GgCO₂) untuk penyajian tingkat kota.

Dalam perhitungan ini, biomassa bawah tanah (*Below-Ground Biomass*, BGB) tidak dimasukkan, sehingga nilai serapan karbon yang diperoleh hanya merepresentasikan karbon yang tersimpan pada biomassa atas permukaan tanah (AGB). Nilai ini menggambarkan *lower-bound estimate* atau estimasi konservatif dari total potensi serapan karbon pohon kota.

4.5.2. Hasil Perhitungan dan Distribusi Serapan Karbon

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa total serapan karbon oleh pohon pelindung yang dikelola DLH Kota Malang mencapai sekitar 1,316 Gg CO₂ (setara dengan 1.316 ton CO₂). Jumlah ini merupakan hasil agregasi dari seluruh kecamatan, dengan distribusi yang bervariasi tergantung pada jumlah dan ukuran pohon di tiap wilayah. Secara umum, Kecamatan Klojen memiliki kontribusi terbesar terhadap total serapan karbon kota, mencapai sekitar 0,62 Gg CO₂, diikuti oleh Kecamatan Sukun (0,29 Gg) dan Lowokwaru (0,23 Gg). Adapun Blimbing dan Kedungkandang memiliki kontribusi relatif lebih kecil, masing-masing sekitar 0,08 Gg CO₂.

Tabel 2. Perhitungan potensi serapan karbon (CO₂) oleh vegetasi pohon di Kota Malang

No	Variabel	Blimbing	Kedungkandang	Klojen	Lowokwaru	Sukun	Total Kota Malang
1	Luas wilayah (km ²)	17,7	39,9	8,8	23,8	20,9	111,1
2	Jumlah pohon DLH (individu)	2903,0	2843,0	2995,0	1574,0	1802,0	12117,0
3	Biomassa ABG (kg)	50714,9	46526,7	359545,7	136195,1	170829,0	763811,3
4	Serapan karbon (kg CO ₂)	87406,6	80188,3	619673,4	234730,9	294422,1	1316421,2
5	Serapan karbon (Gg CO ₂)	0.087	0.080	0.620	0.235	0.294	1.316
6	Serapan karbon per wilayah (kg CO ₂ /km ²)	4929,9	2012,3	70178,2	9862,6	14114,2	11852,2
7	Serapan karbon per wilayah (Gg CO ₂ /km ²)	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
8	Rerata laju serapan karbon (kg CO ₂ /pohon/tahun)	11,3	8,3	10,8	5,3	5,9	8,3

Perbedaan antar wilayah ini mencerminkan variasi kepadatan dan ukuran pohon di ruang publik. Kecamatan Klojen, sebagai pusat kota dengan banyak pohon besar di jalan protokol dan taman kota, memiliki stok biomassa tertinggi, sementara kecamatan dengan area perumahan padat seperti Kedungkandang dan Blimbing memiliki proporsi vegetasi publik yang lebih kecil.

4.5.3. Interpretasi dan Keterbatasan

Nilai total serapan karbon sebesar 1,316 Gg CO₂ tergolong sangat kecil jika dibandingkan dengan total emisi GRK Kota Malang, yang mencapai ribuan Gg CO₂e per tahun (khususnya dari sektor energi dan transportasi). Artinya, kontribusi vegetasi publik terhadap pengimbangan emisi karbon kota masih terbatas secara kuantitatif.

Namun demikian, hasil ini memiliki nilai ekologis dan kebijakan yang penting, karena:

- Pohon kota berperan menjaga kualitas udara dan suhu iklim mikro perkotaan,
- Menyediakan fungsi ekosistem tambahan seperti habitat urban dan pengendali limpasan air,
- Menjadi dasar pengembangan kebijakan perluasan ruang terbuka hijau (RTH) berbasis data ilmiah.

Perhitungan ini juga memiliki beberapa keterbatasan metodologis, yaitu:

1. Nilai serapan karbon hanya mencakup biomassa atas permukaan tanah (AGB), tanpa memperhitungkan akar maupun karbon tersimpan di tanah *Below-Ground Biomass* (BGB).
2. Data yang digunakan hanya mencakup pohon yang dikelola DLH (ruang publik), tidak termasuk vegetasi di pekarangan rumah, institusi pendidikan, atau lahan privat lainnya.

Dengan demikian, nilai serapan karbon yang dilaporkan dalam kegiatan ini bersifat konservatif, namun tetap representatif untuk menggambarkan kontribusi vegetasi publik dalam konteks mitigasi perubahan iklim perkotaan.

4.5.4. Dinamika Tutupan Lahan Kota Malang Tahun 2021-2025 dan Kaitannya dengan Serapan Karbon

Sebagai bagian dari upaya memahami perubahan kapasitas serapan karbon perkotaan, Dinas PU melakukan analisis tutupan lahan Kota Malang untuk periode 2021

hingga 2025. Data bersumber dari Google Dynamic World (GDW) berbasis citra Sentinel-2 dengan resolusi spasial 10 meter. Metode ini menggunakan klasifikasi berbasis machine learning terhadap sembilan kategori tutupan lahan utama, yaitu: *trees*, *grass*, *crops*, *shrub & scrub*, *built-up*, *bare ground*, *flooded vegetation*, *water*, dan *snow & ice* (kategori terakhir tidak relevan di konteks tropis). Hasil klasifikasi yang diperoleh dari Dinas PU menunjukkan akurasi tinggi dengan nilai Kappa 0,92, yang berarti tingkat kesesuaian hasil deteksi dengan kondisi lapangan tergolong *almost perfect agreement*. Analisis ini memberikan gambaran kuantitatif tentang perubahan struktur tutupan vegetasi dan area terbangun di seluruh wilayah Kota Malang dalam kurun waktu empat tahun terakhir.

Berdasarkan hasil interpretasi citra, luas area *trees* (pepohonan) di Kota Malang mengalami penurunan cukup signifikan dari tahun 2021 hingga 2025. Sebaliknya, area terbangun (*built-up area*) menunjukkan tren peningkatan yang konsisten. Rangkuman perubahan utama dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 22.

Tabel 3. Profil perubahan tutupan lahan Kota Malang

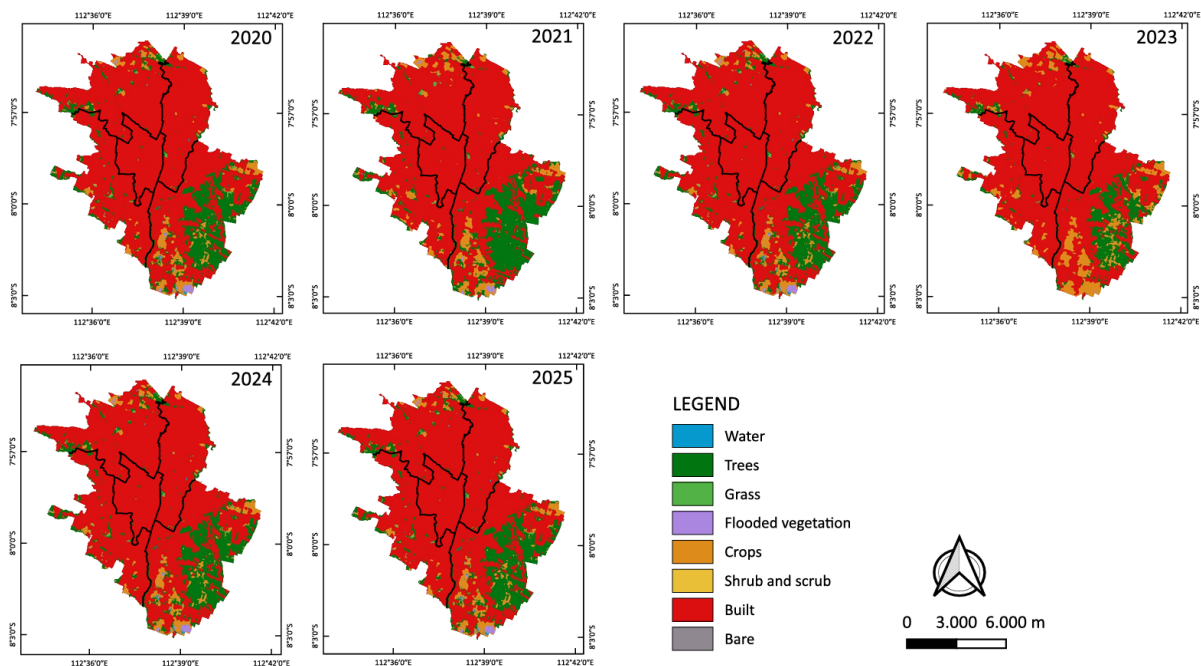
Year	Area (ha)								
	Water	Trees	Grass	Flooded Vegetation	Crops	Shrub and Scrub	Built	Bare	Snow & Ice
2020	21,53	1621,03	28,92	39,98	599,58	2,32	8792,61	1,7	0
2021	4,54	1855,33	32,39	26,28	711	2,88	8474,47	0,78	0
2022	21,53	1621,03	28,92	39,98	599,58	2,32	8792,61	1,7	0
2023	1,52	1156,66	10,44	1,81	970,16	8,85	8948,43	0,39	0
2024	21,53	1617,11	28,92	39,84	598,84	2,32	8788	1,7	0
2025	21,68	1613,2	28,55	39,39	600,8	2,35	8790,57	1,72	0

Sumber: Dinas PU, Google Dynamic World

Berdasarkan Tabel 3 tersebut dapat disimpulkan bahwa:

- Luas area pepohonan (*trees*) menurun sekitar 242 hektare (–13%) antara tahun 2021 dan 2025.
- Luas area terbangun meningkat sekitar 316 hektare pada periode yang sama, menunjukkan tekanan tinggi terhadap ruang hijau kota.
- Luas area pertanian (*crops*) berfluktuasi, menandakan konversi sebagian lahan produktif menjadi area permukiman dan infrastruktur.

- Luas area rumput (*grass*) dan tanah terbuka (*bare ground*) relatif kecil, sehingga tidak memberikan kontribusi signifikan terhadap perubahan karbon secara keseluruhan.



Gambar 22. Tutupan lahan tahun 2020-2025 di Kota Malang

Perubahan ini menunjukkan adanya kecenderungan berkurangnya tutupan vegetasi perkotaan, terutama di wilayah padat penduduk seperti Kecamatan Lowokwaru dan Kedungkandang. Sementara Kecamatan Klojen dan Sukun mempertahankan sebagian besar area vegetasinya melalui keberadaan taman kota dan hutan kota yang masih dikelola.

Penurunan tutupan pepohonan selama periode 2021–2025 berbanding lurus dengan rendahnya nilai total serapan karbon yang diperoleh dari perhitungan biomassa pohon pelindung oleh DLH Kota Malang. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa total serapan karbon hanya mencapai sekitar 1,316 Gg CO₂, atau setara dengan 1.316 ton CO₂ dari seluruh pohon pelindung di ruang publik kota.

Korelasi antara berkurangnya luas area vegetasi dan rendahnya stok karbon memperlihatkan bahwa degradasi ruang hijau secara langsung menurunkan kapasitas Kota Malang sebagai penyerap karbon alami. Meskipun nilai serapan tersebut relatif kecil dibandingkan emisi GRK tahunan yang mencapai ribuan Gg CO₂e (khususnya dari

sektor energi dan transportasi), informasi ini memberikan dasar kuat untuk memahami hubungan antara tata ruang dan mitigasi iklim di tingkat kota.

Kecamatan Klojen, yang memiliki tutupan vegetasi publik tertinggi dan kepadatan pohon besar di taman serta sepanjang jalan utama, tercatat memberikan kontribusi serapan karbon terbesar, mencapai 0,62 Gg CO₂. Sebaliknya, kecamatan dengan dominasi area permukiman padat seperti Kedungkandang dan Blimbing menunjukkan kontribusi yang lebih kecil (<0,1 Gg CO₂). Hasil ini menguatkan bahwa tutupan vegetasi merupakan faktor kunci dalam menentukan kapasitas serapan karbon perkotaan, dan bahwa peningkatan area terbangun tanpa kompensasi penanaman pohon baru dapat menurunkan kemampuan mitigasi karbon secara keseluruhan.

4.5.5. Implikasi terhadap Kebijakan dan Mitigasi Iklim

Integrasi antara analisis tutupan lahan dan hasil perhitungan serapan karbon menunjukkan bahwa Kota Malang menghadapi tantangan serius dalam menjaga keseimbangan antara pembangunan fisik dan kapasitas ekologisnya. Berkurangnya area pepohonan sebesar ±13% selama empat tahun terakhir menjadi sinyal perlunya:

1. Peningkatan proporsi ruang terbuka hijau (RTH) melalui program rehabilitasi dan penanaman pohon di wilayah dengan penurunan vegetasi signifikan.
2. Reintegrasi vegetasi privat dan pekarangan rumah sebagai bagian dari sistem karbon perkotaan, karena kontribusinya berpotensi mencapai dua hingga tiga kali lipat dari vegetasi publik.
3. Pengendalian alih fungsi lahan dengan memperkuat kebijakan zonasi hijau pada wilayah berisiko tinggi kehilangan vegetasi.
4. Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh secara berkelanjutan (misalnya NDVI monitoring berbasis Google Earth Engine) untuk pemantauan perubahan tutupan lahan tahunan dan evaluasi program urban greening.

Kombinasi antara pengendalian emisi dari sektor energi dan peningkatan stok karbon melalui perluasan vegetasi kota akan menjadi strategi paling efektif menuju profil emisi bersih (*net emission balance*) yang lebih seimbang dan mendukung cita-cita Kota Malang sebagai kota hijau dan rendah karbon.

4.6. Strategi Penurunan Emisi GRK Kota Malang

Upaya penurunan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Kota Malang perlu dirancang secara terarah dan sistematis melalui Rencana Aksi Daerah (RAD) yang selaras dengan target nasional maupun komitmen internasional. Pemerintah Indonesia melalui *Enhanced Nationally Determined Contribution* (ENDC) 2022 telah menetapkan target penurunan emisi sebesar 31,89% dengan usaha sendiri dan 43,20% dengan dukungan internasional pada tahun 2030 dibandingkan skenario business as usual. Sebagai salah satu kota besar di Jawa Timur dengan aktivitas energi, transportasi, limbah, serta pertanian yang cukup signifikan, Kota Malang memiliki kontribusi penting dalam pencapaian target tersebut.

Hasil inventarisasi emisi GRK Kota Malang periode 2021–2024 menunjukkan bahwa sektor energi merupakan penyumbang emisi terbesar dengan kontribusi lebih dari 80% dari total emisi kota. Sektor limbah menyusul sebagai penyumbang terbesar kedua dengan kontribusi sekitar 16–19%, sementara sektor AFOLU relatif kecil (<1%) namun tetap penting karena terkait dengan emisi metana dari peternakan serta emisi N₂O dari penggunaan pupuk kimia. Dengan profil seperti ini, strategi penurunan emisi Kota Malang harus difokuskan pada sektor energi dan limbah sebagai prioritas utama, namun juga tetap melibatkan sektor AFOLU melalui optimalisasi praktik pertanian ramah lingkungan dan peningkatan ruang terbuka hijau (RTH).

Sejalan dengan hal tersebut, Pemerintah Kota Malang telah menginisiasi berbagai program yang mendukung aksi mitigasi perubahan iklim, seperti Program Kampung Iklim (ProKlim), gerakan *Zero Waste* dan bank sampah, pengembangan ruang terbuka hijau dan jalur pedestrian ramah lingkungan, serta inisiatif penggunaan energi terbarukan di beberapa fasilitas publik. Program-program ini perlu diintegrasikan dalam kerangka RAD penurunan emisi GRK yang lebih komprehensif, dengan melibatkan peran aktif seluruh Organisasi Perangkat Daerah (OPD) terkait, akademisi, sektor swasta, dan masyarakat.

Rancangan RAD berikut ini disusun untuk memberikan arah strategis dalam penurunan emisi GRK Kota Malang hingga 2030 (Tabel 4). Matriks ini memuat identifikasi sumber emisi utama, strategi penurunan emisi, indikator keberhasilan, serta pembagian peran OPD yang relevan. Selain itu, target-target yang ditetapkan juga mengacu pada kontribusi Kota Malang terhadap pencapaian NDC nasional, sehingga diharapkan dapat mendukung transisi menuju pembangunan rendah karbon yang berkelanjutan.

Strategi penurunan emisi GRK Kota Malang sebagaimana dirangkum dalam matriks RAD di atas menekankan pentingnya pendekatan lintas sektor dan kolaboratif. Setiap sektor memiliki karakteristik emisi yang berbeda, sehingga diperlukan strategi yang spesifik namun tetap terintegrasi dalam satu kerangka kebijakan. Sektor energi sebagai penyumbang emisi terbesar menjadi fokus utama melalui pengembangan transportasi rendah karbon, efisiensi energi, dan pemanfaatan energi terbarukan. Sektor limbah memerlukan penguatan sistem pengelolaan berbasis 3R, peningkatan pengomposan, dan penerapan landfill gas capture di TPA. Sementara itu, sektor AFOLU dapat berkontribusi melalui pertanian ramah lingkungan, urban farming, serta optimalisasi ruang terbuka hijau dan kawasan penyangga karbon di perkotaan.

Pelaksanaan strategi ini memerlukan koordinasi erat antar-OPD seperti DLH, Dinas Perhubungan, Dinas PUPR, Dinas Perkim, Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan, serta dukungan Bappeda sebagai koordinator perencanaan pembangunan daerah. Selain itu, keterlibatan masyarakat juga menjadi faktor kunci melalui program Kampung Iklim (ProKlim), bank sampah, dan gerakan lingkungan berbasis komunitas. Dukungan akademisi dan sektor swasta turut berperan dalam penyediaan teknologi, inovasi, serta investasi hijau.

Keberhasilan RAD ini tidak hanya ditentukan oleh implementasi kebijakan, tetapi juga oleh mekanisme monitoring, evaluasi, dan pelaporan yang konsisten. Dengan sistem pemantauan yang baik, capaian penurunan emisi dapat diukur secara transparan sekaligus menjadi dasar perbaikan strategi ke depan. Dengan integrasi strategi lintas sektor, pelibatan multipihak, serta komitmen yang kuat, Kota Malang berpeluang besar untuk mewujudkan pembangunan rendah karbon yang selaras dengan target NDC nasional 2030. Lebih jauh, upaya ini juga akan meningkatkan kualitas lingkungan hidup, mendukung ketahanan kota terhadap dampak perubahan iklim, serta memperkuat citra Kota Malang sebagai kota yang hijau, berkelanjutan, dan ramah bagi generasi mendatang.

Tabel 4. Matriks Rencana Aksi Daerah (RAD) Penurunan Emisi GRK Kota Malang

Sektor	Sumber Utama Emisi	Strategi Penurunan Emisi	Indikator Keberhasilan	OPD Terkait
Energi	- Transportasi berbasis BBM fosil- Konsumsi listrik rumah tangga & komersial - Industri kecil berbasis energi fosil	- Pengembangan transportasi publik rendah karbon (bus listrik, BRT ramah lingkungan) - Fasilitasi kendaraan listrik (charging station)- Program efisiensi energi rumah tangga & bangunan publik- Pembangunan PLTS atap di gedung pemerintah, sekolah, dan kampus - Optimalisasi jalur pedestrian & jalur sepeda	- Persentase peningkatan penggunaan transportasi publik & kendaraan listrik - Jumlah unit charging station terpasang - Penurunan konsumsi energi per kapita - Kapasitas PLTS terpasang (MW) - Panjang jalur pedestrian/sepeda ramah lingkungan	Dinas Perhubungan, DLH, Dinas PUPR, Diskopindag, Bappeda, PLN, Pertamina
AFOLU	- Emisi N ₂ O dari pupuk kimia- Rendahnya tutupan vegetasi penyerap karbon- Emisi CH ₄ dari subsektor peternakan	- Pertanian ramah lingkungan (organic farming, smart agriculture) - Urban farming & pemanfaatan lahan pekarangan - Penguatan Program Kampung Iklim (ProKlim) - Perlindungan & rehabilitasi RTH, green belt, sempadan Sungai - Peningkatan pengelolaan limbah ternak (biogas skala rumah tangga)	- Luas lahan pertanian organik (ha) - Jumlah kawasan urban farming & ProKlim aktif - Persentase RTH sesuai RTRW - Jumlah unit biodigester peternakan	Dinas Pertanian & Ketahanan Pangan, DLH, Bappeda
Limbah	- Sampah organik di TPA (CH ₄)- Rendahnya tingkat daur ulang- Pengelolaan limbah domestik terbatas	- Pengelolaan sampah berbasis sumber (3R, bank sampah) - Komposting & biodigester skala komunitas	- Persentase sampah terpilah & daur ulang- Jumlah unit biodigester/komposter aktif - Persentase pengurangan sampah ke TPA (%)	DLH, PDAM, Diskopindag, Bappeda

Sektor	Sumber Utama Emisi	Strategi Penurunan Emisi	Indikator Keberhasilan	OPD Terkait
Lintas Sektor	- Konsumsi energi dan limbah perkotaan	● Implementasi program Zero Waste & ekonomi sirkular ● <i>Landfill gas capture</i> ● Peningkatan IPAL komunal/terpusat	● Volume CH₄ yang ditangkap dari TPA ● Jumlah IPAL komunal aktif	DLH, Bappeda, Kecamatan & Kelurahan, LSM/komunitas
		● Program edukasi & literasi rendah karbon ● Pemberdayaan komunitas lingkungan (kampung hijau, ProKlim) ● Integrasi kebijakan tata ruang rendah karbon	● Jumlah kampung iklim aktif ● Peningkatan partisipasi masyarakat dalam bank sampah ● Dokumen RTRW/RPJMD memasukkan mitigasi iklim	

4.7. Penetapan Target dan Jalur Penurunan Emisi GRK Kota Malang hingga Tahun 2030

Berdasarkan hasil inventarisasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Malang tahun 2021–2024, diketahui bahwa total emisi GRK pada tahun 2024 mencapai 3.496,14 Gg CO₂e, dengan kontribusi terbesar berasal dari sektor energi (83,1%), diikuti oleh sektor limbah (16,0%), dan sektor AFOLU (0,9%). Dengan mempertimbangkan posisi tahun 2024 sebagai tahun data terbaru dan paling representatif, maka tahun 2024 ditetapkan sebagai baseline dalam perencanaan penurunan emisi GRK Kota Malang. Penetapan target penurunan emisi GRK Kota Malang mengacu pada komitmen nasional Indonesia melalui *Nationally Determined Contribution* (NDC), yaitu penurunan emisi sebesar 31,89% (*unconditional*) dan 43,20% (*conditional*) pada tahun 2030. Berdasarkan baseline tahun 2024, target emisi GRK Kota Malang pada tahun 2030 ditetapkan sebesar 2.381,3 Gg CO₂e untuk skema *unconditional* dan 1.986,5 Gg CO₂e untuk skema *conditional*. Dengan demikian, total penurunan emisi yang harus dicapai selama periode 2025–2030 masing-masing sebesar 1.114,8 Gg CO₂e (*unconditional*) dan 1.509,6 Gg CO₂e (*conditional*).

Untuk memastikan keterukuran dan kemudahan pemantauan capaian, jalur penurunan emisi dirancang menggunakan pendekatan linier, dengan asumsi penurunan emisi yang relatif merata setiap tahun. Pada skema NDC *unconditional*, target penurunan emisi GRK direncanakan sebesar sekitar 185,82 Gg CO₂e per tahun, sehingga pada tahun 2030 total penurunan kumulatif mencapai 1.114,8 Gg CO₂e. Sementara itu, pada skema NDC *conditional*, target penurunan emisi lebih besar yaitu sekitar 251,61 Gg CO₂e per tahun, dengan total penurunan kumulatif sebesar 1.509,66 Gg CO₂e pada tahun 2030 (Tabel 5).

Tabel 5. Jalur Penurunan Emisi GRK Kota Malang Tahun 2025–2030. Baseline: Emisi GRK Tahun 2024 = 3.496,14 Gg CO₂e

Skema NDC <i>Unconditional</i>			
Tahun	Target Emisi (Gg CO₂e)	Penurunan Tahunan (Gg CO₂e)	Penurunan Kumulatif (Gg CO₂e)
2024 (<i>Baseline</i>)	3.496,14	–	–
2025	3.310,32	185,82	185,82
2026	3.124,50	185,82	371,64
2027	2.938,68	185,82	557,46
2028	2.752,86	185,82	743,28
2029	2.567,04	185,82	929,10
2030	2.381,32	185,82	1.114,82
Skema NDC <i>Conditional</i>			
Tahun	Target Emisi (Gg CO₂e)	Penurunan Tahunan (Gg CO₂e)	Penurunan Kumulatif (Gg CO₂e)
2024 (<i>Baseline</i>)	3.496,14	–	–
2025	3.244,53	251,61	251,61
2026	2.992,92	251,61	503,22
2027	2.741,31	251,61	754,83
2028	2.489,70	251,61	1.006,44
2029	2.238,09	251,61	1.258,05
2030	1.986,48	251,61	1.509,66

Selanjutnya, target penurunan emisi dialokasikan ke masing-masing sektor berdasarkan kontribusi emisi dan potensi mitigasi. Sektor energi ditetapkan sebagai sektor prioritas utama dengan alokasi sekitar 80% dari total target penurunan, mengingat perannya sebagai penyumbang emisi terbesar serta tingginya potensi mitigasi melalui efisiensi energi, transisi energi terbarukan, dan pengendalian emisi sektor transportasi. Sektor limbah dialokasikan sekitar 18%, terutama melalui pengelolaan sampah organik, pengurangan emisi metana dari TPA, dan penguatan sistem 3R. Sektor AFOLU dialokasikan sekitar 2%, dengan fokus pada stabilisasi emisi dan peningkatan fungsi serapan karbon melalui penghijauan dan pengelolaan ruang terbuka hijau.

Penetapan target penurunan emisi GRK Kota Malang juga diselaraskan dengan Indikator Kinerja Utama (IKU) RPJMD Kota Malang, khususnya indikator penurunan emisi

GRK kumulatif yang menargetkan penurunan sekitar 547.435 ton CO₂e (547,4 Gg CO₂e) hingga tahun 2030. Target RPJMD tersebut diposisikan sebagai tahapan awal (early milestone) dalam pencapaian target NDC, sekaligus menjadi bentuk komitmen minimum daerah dalam pengendalian emisi GRK. Dengan demikian, capaian IKU RPJMD berkontribusi langsung terhadap jalur penurunan emisi skema unconditional, sementara skema conditional merepresentasikan upaya mitigasi lanjutan yang memerlukan dukungan tambahan, baik dari aspek pendanaan, teknologi, maupun kebijakan lintas sektor. Secara keseluruhan, perencanaan target dan jalur penurunan emisi GRK Kota Malang hingga tahun 2030 disusun secara bertahap, terukur, dan selaras dengan kebijakan nasional serta perencanaan pembangunan daerah. Pendekatan ini diharapkan dapat menjadi dasar operasional bagi perumusan program mitigasi GRK lintas sektor serta mendukung pencapaian pembangunan rendah karbon yang berkelanjutan di Kota Malang.

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Hasil inventarisasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Malang tahun 2021–2024 menunjukkan adanya tren peningkatan total emisi, dari 2.984,82 Gg CO₂e pada tahun 2021 menjadi 3.496,14 Gg CO₂e pada tahun 2024. Peningkatan ini terutama didorong oleh sektor energi yang konsisten menjadi kontributor utama dengan porsi lebih dari 80% dari total emisi setiap tahunnya. Sumber emisi terbesar berasal dari transportasi berbasis bahan bakar fosil, konsumsi listrik rumah tangga dan komersial, serta industri kecil berbasis energi fosil. Hal ini menegaskan bahwa pengendalian emisi di sektor energi merupakan prioritas utama bagi Kota Malang dalam rangka menekan laju pertumbuhan emisi.

Sektor limbah menjadi penyumbang terbesar kedua dengan kontribusi sekitar 16–19% dari total emisi, atau berkisar 540–587 Gg CO₂e per tahun. Emisi dari sektor ini didominasi oleh gas metana (CH₄) yang dilepaskan dari dekomposisi sampah organik di TPA Supit Urang, sejalan dengan tingginya proporsi sampah organik yang mencapai 50–55% dari total timbulan sampah. Sementara itu, tingkat pengomposan masih sangat rendah, hanya sekitar 1,5% dari total sampah, sehingga sebagian besar sampah organik masih berakhir di TPA dan menjadi sumber emisi utama. Meskipun pengomposan menghasilkan sedikit emisi N₂O dan CH₄, kontribusinya jauh lebih kecil dibandingkan dengan emisi dari timbulan sampah yang tertimbun.

Sektor AFOLU hanya menyumbang sekitar 30 Gg CO₂e per tahun atau kurang dari 1% dari total emisi Kota Malang, namun secara internal sektor ini menunjukkan dinamika penting. Emisi terutama berasal dari subsektor peternakan melalui metana hasil fermentasi enterik dan pengelolaan kotoran ternak, serta dari subsektor pertanian melalui penggunaan pupuk urea, budidaya padi sawah, pembakaran residu tanaman, dan emisi langsung N₂O dari pengolahan lahan. Meskipun kontribusinya relatif kecil, sektor AFOLU tetap penting untuk diperhatikan karena memiliki potensi mitigasi melalui praktik pertanian ramah lingkungan, urban farming, serta optimalisasi ruang terbuka hijau yang juga berfungsi sebagai penyerap karbon.

Secara keseluruhan, profil emisi GRK Kota Malang menunjukkan bahwa strategi penurunan emisi harus difokuskan pada sektor energi dan limbah sebagai prioritas utama, tanpa mengabaikan kontribusi strategis sektor AFOLU. Upaya mitigasi dapat dilakukan melalui transisi energi bersih, efisiensi energi, pengembangan transportasi rendah karbon, penguatan sistem pengelolaan sampah berbasis 3R, peningkatan pengomposan dan biodigester komunitas, serta penguatan ruang terbuka hijau dan pertanian berkelanjutan. Dengan total emisi tahun 2024 yang mencapai 3.496,14 Gg CO₂e, Kota Malang perlu menurunkan emisi sekitar 700–1.000 Gg CO₂e pada tahun 2030 agar sejalan dengan target *Enhanced* NDC Indonesia, yakni penurunan 31,89% dengan usaha sendiri dan hingga 43,20% dengan dukungan internasional.

5.2. Rekomendasi

Berdasarkan hasil kegiatan Inventarisasi GRK Kota Malang Tahun 2025, beberapa rekomendasi strategis dapat disampaikan sebagai berikut:

A. Penguatan Mitigasi Sektor Energi dan Transportasi

1. Transisi energi bersih melalui peningkatan penggunaan energi terbarukan (PLTS atap, biogas, biodiesel, dan kendaraan listrik).
2. Efisiensi energi di sektor rumah tangga, komersial, dan industri kecil.
3. Pengembangan sistem transportasi rendah emisi seperti transportasi publik berbasis listrik dan jalur ramah lingkungan (pedestrian & sepeda).

B. Pengelolaan Limbah yang Berorientasi 3R dan Energi

1. Peningkatan kapasitas daur ulang dan pengomposan organik pada skala rumah tangga dan komunitas.
2. Pemanfaatan gas metana TPA Supit Urang untuk energi listrik atau bahan bakar alternatif.
3. Pengembangan teknologi biodigester komunal di wilayah padat penduduk.

C. Mitigasi dan Adaptasi di Sektor AFOLU

1. Penerapan pertanian ramah lingkungan dan efisien nitrogen untuk menekan emisi N₂O.
2. Optimalisasi *urban farming* dan agroforestri perkotaan untuk mendukung ketahanan pangan dan penyerapan karbon.

3. Pengelolaan limbah ternak menjadi biogas di peternakan rakyat skala kecil-menengah.

D. Penguatan Ruang Terbuka Hijau (RTH) dan Serapan Karbon Kota

1. Perluasan area vegetasi kota dengan target minimal 30% dari total luas wilayah, sejalan dengan amanat UU No. 26 Tahun 2007.
2. Rehabilitasi area terbuka dan semak menjadi area pepohonan dan taman lingkungan.
3. Inventarisasi vegetasi privat dan pekarangan rumah untuk menghitung total serapan karbon aktual kota.
4. Pemanfaatan data penginderaan jauh (NDVI, UAV, LiDAR) untuk pemantauan tutupan lahan dan stok karbon setiap tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Arie, F. C. (2012). *Studi Sebaran Temperatur Permukaan Lahan dan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi di Kota Malang* [Universitas Brawijaya]. [https://repository.ub.ac.id/id/eprint/155555/1/Fanita Cahyaning Arie.pdf?](https://repository.ub.ac.id/id/eprint/155555/1/Fanita%20Cahyaning%20Arie.pdf)
- Arioli, M. S., D'Agosto, M. de A., Amaral, F. G., & Cybis, H. B. B. (2020). The evolution of city-scale GHG emissions inventory methods: A systematic review. *Environmental Impact Assessment Review*, 80, 106316. <https://doi.org/10.1016/J.EIAR.2019.106316>
- Austin, K. G., Harris, N. L., Wijaya, A., Murdiyarso, D., Harvey, T., Stolle, F., & Kasibhatla, P. S. (2018). A review of land-based greenhouse gas flux estimates in Indonesia. *Environmental Research Letters*, 13(5), 055003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/AAB531>
- Batool, N., Shah, S. A., Dar, S. N., & Skinder, S. (2019). Rainfall variability and dynamics of cropping pattern in Kashmir Himalayas: a case study of climate change and agriculture. *SN Applied Sciences*, 1(6), 1–9. <https://doi.org/10.1007/S42452-019-0599-9/TABLES/4>
- Bayer, A. D., Pugh, T. A. M., Krause, A., & Arneeth, A. (2015). Historical and future quantification of terrestrial carbon sequestration from a Greenhouse-Gas-Value perspective. *Global Environmental Change*, 32, 153–164. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2015.03.004>
- Been, E. M., Park, Y. K., & Kim, K. T. (2021). Effective reduction plan for greenhouse gas inventories of local governments. *Energy & Environment*, 32(1), 62–74. <https://doi.org/10.1177/0958305X20907082>
- BPS. (2025). *Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) Atas Dasar Harga Berlaku Menurut Lapangan Usaha - Tabel Statistik - Badan Pusat Statistik Kota Malang*. Badan Pusat Statistik Kota Malang. <https://malangkota.bps.go.id/id/statistics-table/2/NzUjMg==/pdrb-kota-malang-atas-dasar-harga-berlaku-menurut-lapangan-usaha.html>
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E. N., Colgan, M., Delitti, W. B. C., ... & Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10), 3177–3190.

<https://doi.org/10.1111/gcb.12629>

- Cunningham, M. A., & Leventhal, K. G. (2023). From Emissions Inventories to Cost Accounting: Making Business as Usual Visible for Climate Action Planning. *Sustainability* 2023, Vol. 15, Page 11657, 15(15), 11657. <https://doi.org/10.3390/SU151511657>
- Dai, R., Huang, J., Chen, Z., Zhou, J., & Havea, P. H. (2024). Impacts of anthropogenic climate change on meteorological drought in China. *Frontiers in Earth Science*, 12, 1369523. <https://doi.org/10.3389/FEART.2024.1369523/BIBTEX>
- De Sy, V., Herold, M., Achard, F., Beuchle, R., Clevers, J. G. P. W., Lindquist, E., & Verchot, L. (2015). Land use patterns and related carbon losses following deforestation in South America. *Environmental Research Letters*, 10(12), 124004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/12/124004>
- Diskominfo Kota Malang. (2022). *Statistik Sektoral Kota Malang Tahun 2022*. Diskominfo Kota Malang. [https://satudata.malangkota.go.id/file_publikasi/Buku Profil Statistik Sektoral 2022_2024-02-27 07-28-52.pdf](https://satudata.malangkota.go.id/file_publikasi/Buku_Profil_Statistik_Sektoral_2022_2024-02-27_07-28-52.pdf)
- Dumic, I., & Severnini, E. (2018). “Ticking Bomb”: The impact of climate change on the incidence of lyme disease. *Canadian Journal of Infectious Diseases and Medical Microbiology*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/5719081>,
- Fatkhillah, M., Mulyani, I., Dewi, A. S., Habib, M. A. F., & Reihan, A. (2022). Communication Strategy to Address Climate Change through Community Engagement. *Jurnal Komunikasi Pembangunan*, 21(01), 17–33. <https://doi.org/10.46937/21202341909>
- Feng, Z., Wang, L., Wan, X., Yang, J., Peng, Q., Liang, T., Wang, Y., Zhong, B., & Rinklebe, J. (2022). Responses of soil greenhouse gas emissions to land use conversion and reversion—A global meta-analysis. *Global Change Biology*, 28(22), 6665–6678. <https://doi.org/10.1111/GCB.16370>
- Goldenberg, S. (2015). *Indonesia to cut carbon emissions by 29% by 2030 | Greenhouse gas emissions | The Guardian*. The Guardian. <https://www.theguardian.com/environment/2015/sep/21/indonesia-promises-to-cut-carbon-emissions-by-29-by-2030>
- Huang, J., Tian, H., Wang, J., Yang, T., Peng, Y., Wu, S., Fu, T. M., & Li, G. (2021). A Modelling Study on PM2.5-Related Health Impacts from Climate Change and Air

- Pollution Emission Control — China, 2010s and 2040s. *China CDC Weekly*, 3(23), 500–506. <https://doi.org/10.46234/CCDCW2021.128>,
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis | Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Khine, M. M., & Langkulsen, U. (2023). The Implications of Climate Change on Health among Vulnerable Populations in South Africa: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4). <https://doi.org/10.3390/IJERPH20043425>,
- Orru, H., Ebi, K. L., & Forsberg, B. (2017). The Interplay of Climate Change and Air Pollution on Health. *Current Environmental Health Reports*, 4(4), 504–513. <https://doi.org/10.1007/S40572-017-0168-6/TABLES/1>
- Republic of Indonesia. (2022). *ENHANCED NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTION REPUBLIC OF INDONESIA*. Republic of Indonesia. [https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-09/23.09.2022_Enhanced NDC Indonesia.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-09/23.09.2022_Enhanced_NDC_Indonesia.pdf)
- Satyajit Singh, Y., Brahmacharimayum, B., Rahul Singh, A., Rita Devi, S., & Author, C. (2023). Assessment Of Vulnerability To Climate Variability In Manipur, India. *Journal for ReAttach Therapy and Developmental Diversities*, 6(1), 1503–1510. <https://doi.org/10.53555/JRTDD.V6I1.2669>
- Sekaranom, A. B., Kusumandari, A., & Suratman. (2022). The study of greenhouse gas emissions in village level to support the “PROKLIM” program: case Study of Poncosari Village, Yogyakarta - Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1039(1), 012016. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1039/1/012016>
- Suarja, Z. E., Triwandoyo, D., Zebua, V., & Tafonao, S. A. L. (2024). Analisis Kritis Studi Literatur Tentang Dampak Perubahan Iklim Terhadap Ketahanan Pangan. *PENARIK: Jurnal Ilmu Pertanian Dan Perikanan*, 01(01), 28–32. <https://sihojournal.com/index.php/penarik/article/view/16/15>
- World Bank. (2018). *Groundswell: Preparing for Internal Climate Migration*. <https://www.worldbank.org/en/news/infographic/2018/03/19/groundswell---preparing-for-internal-climate-migration>
- Zhumadilova, A., Zhigitova, S., & Turalina, M. (2023). The impact of greenhouse gases on

climate change. *Scientific Horizons*, 26(6), 97–109.
<https://doi.org/10.48077/SCIHOR6.2023.97>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan emisi Sektor Energi

SEKTOR TRANSPORTASI

2024																															
Sector		Energy																													
Category		Fuel combustion activities																													
Category Code		1A ⁽⁴⁾																													
Sheet		1 of 4 (CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O from fuel combustion by source categories – Tier 1)																													
		Energy consumption			CO ₂		CH ₄		N ₂ O		CH ₄ to CO ₂ eq.		N ₂ O to CO ₂ eq.		Total CO ₂ e (Gg)																
		A	B	C	D	E	F	G	H	I																					
		Consumption (Mass, Volume or Energy unit)	Conversion Factor ⁽⁵⁾ (TJ/unit)	Consumption (TJ)	CO ₂ Emission Factor (kg CO ₂ /TJ)	CO ₂ Emissions (Gg CO ₂)	CH ₄ Emission Factor (kg CH ₄ /TJ)	CH ₄ Emissions (kg CH ₄)	N ₂ O Emission Factor (kg N ₂ O/TJ)	N ₂ O Emissions (Gg N ₂ O)																					
		C=A*B			E=C*D*10 ⁶		G=C*F*10 ⁶		I=C*H*10 ⁶		CO ₂ e = CH ₄ * 27		CO ₂ e (Gg)=N ₂ O (Gg)*273																		
Liquid fuels																															
Pertamax	103,339,690.00	0.000033	3410.20977	69040	235.4408825	33	0.112536922	3.2	0.010912671		3.038496905	2.979159255																			
Pertamina Dex	4,365,319.00	0.000036	157.151484	74520	11.71092859	4.9	0.000770042	4.9	0.000770042		0.020791141	0.21022154																			
Pertalite	459,690,832.00	0.000033	15169.79746	69290	1051.115266	33	0.500603316	3.2	0.048543352		13.51628953	13.25233306																			
Dexlite	5,676,908.00	0.000036	204.368688	74520	15.22955463	3.9	0.000797038	3.9	0.000797038		0.021520023	0.217591342																			
Biosolar B30	183,741,862.00	0.000036	6614.707032	74520	492.927968	3.9	0.025797357	3.9	0.025797357		0.69652865	7.042678577																			
						1806.424599					17.29362625	23.70198577				1847.42021															

⁽⁴⁾When the consumption is expressed in mass or volume units, the conversion factor is the net calorific value of the fuel.

^b When the consumption is expressed in mass or volume units, the conversion factor is the net calorific value of the fuel.

[illegible]

^b When the consumption is expressed in mass or volume units, the conversion factor is the net calorific value of the fuel.

[illegible]

^bWhen the consumption is expressed in mass or volume units, the conversion factor is the net calorific value of the fuel.

2021													
Sector: Energy													
Category: Fuel combustion activities													
Category Code: 1A ^(a)													
Sheet: 1 of 4 (CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O from fuel combustion by source categories – Tier 1)													
Energy consumption			CO ₂		CH ₄		N ₂ O		CH ₄ to CO ₂ eq.	N ₂ O to CO ₂ eq.	Total CO ₂ e (Gg)		
A	B	C	D	E	F	G	H	I					
Consumption	Conversion Factor ^(b)	Consumption	CO ₂ Emission Factor	CO ₂ Emissions	CH ₄ Emission Factor	CH ₄ Emissions	N ₂ O Emission Factor	N ₂ O Emissions					
(Mass, Volume or Energy unit)	(TJ/unit)	(TJ)	(kg CO ₂ /TJ)	(Gg CO ₂)	(kg CH ₄ /TJ)	(Gg CH ₄)	(kg N ₂ O /TJ)	(Gg N ₂ O)					
		C=A*B		E=C*D/10 ⁶		G=C*F/10 ⁶		I=C*H/10 ⁶					
Liquid fuels									CO ₂ e = CH ₄ * 27	CO ₂ e (Gg)=N ₂ O (Gg)* 27/3			
Premium	151915060	0.000033	5013.19698	69670	349.2694336	33	0.1654355	3.2	0.01604223	4.466758509	4.379528882		
Pertamax	308186388	0.000033	10170.1508	69040	702.1472115	33	0.335614977	3.2	0.032544483	9.061604366	8.884643742		
Pertamina Dex	4883464	0.000036	176.164704	74520	13.12779374	4.9	0.000863207	4.9	0.000863207	0.02330659	0.235655525		
Pertalite	327906395	0.000033	10820.91104	69290	749.7809256	33	0.357000064	3.2	0.034626915	9.641341732	9.45314788		
Dexlite	4752900	0.000036	175.1114	74520	12.75059989	3.9	0.000667307	3.9	0.000667307	0.018017293	0.182174855		
Biosolar B30	172390564	0.000036	6206.060304	74520	462.4756139	3.9	0.024203635	3.9	0.024203635	0.65349815	6.607592406		
									2289.551678				
									23.86461664	29.74274329	2343.15904		

^(a)When the consumption is expressed in mass or volume units, the conversion factor is the net calorific value of the fuel

^bWhen the consumption is expressed in mass or volume units, the conversion factor is the net calorific value of the fuel.

2024

^b When the consumption is expressed in mass or volume units, the conversion factor is the net calorific value of the fuel.

^b When the consumption is expressed in mass or volume units, the conversion factor is the net calorific value of the fuel.

^bWhen the consumption is expressed in mass or volume units, the conversion factor is the net calorific value of the fuel.

^b When the consumption is expressed in mass or volume units, the conversion factor is the net calorific value of the fuel.

Sector	Energy															Total Emisi CO ₂ per tahun	
Category	Fuel Combustion Activities - Perumahan (rumah tangga)																
Category Code	1A ^(a)																
Sheet	2 of 4 (CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O from fuel combustion by source categories – Tier 1)																
	Jumlah Rumah Tangga	Persentase Rumah Tangga	Konsumsi Rata- rata per tahun (kg/rumah)	Energy consumption			CO ₂		CH ₄		N ₂ O						
				A	B	C	D	E	F	G	H	I					
				Consumption	Conversion Factor	Consumption	CO ₂	CO ₂	CH ₄	CH ₄	N ₂ O Emission Factor	N ₂ O					
				(Mass, Volume or Energy unit)	(TJ/unit)	(TJ)	Emission Factor (kg CO ₂ /TJ)	Emissions (Gg CO ₂)	Emission Factor (kg CH ₄ /TJ)	Emissions (Gg CH ₄)	CO ₂ eq. (kg N ₂ O /TJ)	Emissions (Gg N ₂ O)		CO ₂ eq. (Gg CO ₂)			
								C=A*B		E=C*D/10 ⁶		G=C*F/10 ⁶		I=H*I/10 ⁶			
												CO ₂ eq. = G*27					
2021																	
LPG	227,064	94.5	103	22,101,274.44	0.0000473	1045.390281	65410	68.37897828	5	0.005226951	0.141127688	0.1	0.000104539	0.028539155	68.54864512		
Minyak Tanah		0.12	103	-	0.0000473	0	65410	0	5	0	0	0.1	0	0	0		
Kayu bakar																	
2022																	
LPG	227,385	98.46	103	23,059,976.91	0.0000473	1090.736908	65410	71.34510115	5	0.005453685	0.147249483	0.1	0.000109074	0.029777118	71.52212775		
2023																	
LPG	227,688	98.46	103	23,088,677.02	0.0000473	1092.094423	65410	71.43389621	5	0.005460472	0.147432747	0.1	0.000109209	0.029814178	71.61114313		
2024																	
LPG	227,700	99.04	103	23,227,950.24	0.0000473	1,098.68	65410	71.86479265	5	0.01	0.15	0.1	0.00	0.032740725	72.04585545		

Sector													Energy												
Category													Fuel combustion activities - Industri												
Category Code													1A ^(a)												
Sheet													3 of 4 (CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O from fuel combustion by source categories – Tier 1)												
Energy consumption													CO ₂		CH ₄		N ₂ O								
Consumption		Conversion Factor	Consumption	CO ₂ Emission Factor	CO ₂ Emissions	CH ₄ Emission Factor	CH ₄ Emissions	CO ₂ eq.	N ₂ O Emission Factor	N ₂ O	CO ₂ eq.	Total Emisi													
(Mass, Volume or Energy unit)		(TJ/unit)	(TJ)	(kg CO ₂ /TJ)	(Gg CO ₂)	(kg CH ₄ /TJ)	(Gg CH ₄)	(Gg CO ₂)	(kg N ₂ O /TJ)	Emissions	(Gg CO ₂)	CO ₂ per tahun													

Lampiran 2. Perhitungan emisi Sektor AFOLU (Pternakan, Pertanian)

2024					
Sector	Agriculture, Forestry and Other Land Use				
Category	Methane Emissions from Enteric Fermentation and Manure Management				
Category code	3A1 and 3A2				
Sheet	1 of 1				
Equation	Equation 10.19		Eq. 10.19 and 10.20	Equation 10.22	
Species/Livestock category	Number of animals	Emission factor for Enteric Fermentation	CH ₄ emissions from Enteric Fermentation	Emission factor for Manure Management	CH ₄ emissions from Manure Management
	(head)	(kg head ⁻¹ yr ⁻¹)	(Gg CH ₄ yr ⁻¹)	(kg head ⁻¹ yr ⁻¹)	(Gg CH ₄ yr ⁻¹)
		Tables 10.10 and 10.11	$CH_4^{Enteric} = N_{T1} \cdot EF_{(T1)} \cdot 10^{-6}$	Tables 10.14 - 10.16	$CH_4^{Manure} = N_{T1} \cdot EF_{(T1)} \cdot 10^{-6}$
T	N _(T)	EF _(T)	CH ₄ ^{Enteric}	EF _(T)	CH ₄ ^{Manure}
Sapi Potong	1687	61	0.102907	31	0.052297
Sapi Perah	201	47	0.009447	1	0.000201
Kerbau	92	55	0.00506	2	0.000184
Domba	779	18	0.014022	0.2	0.0001558
Kambing	2131	5	0.010655	0.22	0.00046882
Kelinci	1662	5	0.00831	0.08	0.00013296
Babi	0	1	0	7	0
Kuda	41	0	0	2.19	0.0008979
Ayam Ras Pedaging	143000	0	0	0.02	0.00286
Ayam Ras Petelur	187050	0	0	0.02	0.003741
Ayam Buras	44557	0	0	0.02	0.00089114
Itik	5280	0	0	0.02	0.0001056
Entok / Itik Manila	2543	0	0	0.02	0.0005086
Puyuh	15500	0	0	0.02	0.00031
Merpati	2108	0	0	0.02	0.00004216
Other ¹					
Total	406631		0.150401		0.06153013

¹ Specify livestock categories as needed using additional lines (e.g. llamas, alpacas, reindeer, rabbits, fur-bearing animals etc.)

2023					
Sector	Agriculture, Forestry and Other Land Use				
Category	Methane Emissions from Enteric Fermentation and Manure Management				
Category code	3A1 and 3A2				
Sheet	1 of 1				
Equation	Equation 10.19		Eq. 10.19 and 10.20	Equation 10.22	
Species/Livestock category	Number of animals	Emission factor for Enteric Fermentation	CH ₄ emissions from Enteric Fermentation	Emission factor for Manure Management	CH ₄ emissions from Manure Management
	(head)	(kg head ⁻¹ yr ⁻¹)	(Gg CH ₄ yr ⁻¹)	(kg head ⁻¹ yr ⁻¹)	(Gg CH ₄ yr ⁻¹)
		Tables 10.10 and 10.11	$CH_4^{Enteric} = N_{T1} \cdot EF_{(T1)} \cdot 10^{-6}$	Tables 10.14 - 10.16	$CH_4^{Manure} = N_{T1} \cdot EF_{(T1)} \cdot 10^{-6}$
T	N _(T)	EF _(T)	CH ₄ ^{Enteric}	EF _(T)	CH ₄ ^{Manure}
Sapi Potong	1463	61	0.089243	31	0.045353
Sapi Perah	309	47	0.014523	1	0.000309
Kerbau	97	55	0.005335	2	0.000194
Domba	332	18	0.005976	0.2	0.0000664
Kambing	1559	5	0.007795	0.22	0.00034298
Kelinci	1494	5	0.00747	0.08	0.00011952
Babi	0	1	0	7	0
Kuda	38	0	0	2.19	0.0008322
Ayam Ras Pedaging	855000	0	0	0.02	0.0171
Ayam Ras Petelur	179300	0	0	0.02	0.003586
Ayam Buras	49698	0	0	0.02	0.00099396
Itik	3730	0	0	0.02	0.0000746
Entok / Itik Manila	1884	0	0	0.02	0.00003768
Puyuh	14200	0	0	0.02	0.000284
Merpati	2319	0	0	0.02	0.00004638
Other ¹					
Total	1111423		0.130342		0.06859074

¹ Specify livestock categories as needed using additional lines (e.g. llamas, alpacas, reindeer, rabbits, fur-bearing animals etc.)

2022					
Sector	Agriculture, Forestry and Other Land Use				
Category	Methane Emissions from Enteric Fermentation and Manure Management				
Category code	3A1 and 3A2				
Sheet	1 of 1				
Equation	Equation 10.19		Eq. 10.19 and 10.20	Equation 10.22	
Species/Livestock category	Number of animals	Emission factor for Enteric Fermentation	CH ₄ emissions from Enteric Fermentation	Emission factor for Manure Management	CH ₄ emissions from Manure Management
	(head)	(kg head ⁻¹ yr ⁻¹)	(Gg CH ₄ yr ⁻¹)	(kg head ⁻¹ yr ⁻¹)	(Gg CH ₄ yr ⁻¹)
		Tables 10.10 and 10.11	$CH_4^{Enteric} = N_{T1} \cdot EF_{(T1)} \cdot 10^{-6}$	Tables 10.14 - 10.16	$CH_4^{Manure} = N_{T1} \cdot EF_{(T1)} \cdot 10^{-6}$
T	N _(T)	EF _(T)	CH ₄ ^{Enteric}	EF _(T)	CH ₄ ^{Manure}
Sapi Potong	1512	61	0.092232	31	0.046872
Sapi Perah	192	47	0.009024	1	0.000192
Kerbau	103	55	0.005665	2	0.000206
Domba	423	18	0.007614	0.2	0.0000846
Kambing	1445	5	0.007225	0.22	0.0003179
Kelinci	1367	5	0.006835	0.08	0.00010936
Babi	0	1	0	7	0
Kuda	63	0	0	2.19	0.00013797
Ayam Ras Pedaging	127000	0	0	0.02	0.00254
Ayam Ras Petelur	203440	0	0	0.02	0.0040688
Ayam Buras	49918	0	0	0.02	0.00099836
Itik	4670	0	0	0.02	0.0000934
Entok / Itik Manila	1871	0	0	0.02	0.00003742
Puyuh	21200	0	0	0.02	0.000424
Merpati	2259	0	0	0.02	0.00004518
Other ¹					
Total	415463		0.128595		0.05612699

¹ Specify livestock categories as needed using additional lines (e.g. llamas, alpacas, reindeer, rabbits, fur-bearing animals etc.)

2021					
Sector	Agriculture, Forestry and Other Land Use				
Category	Methane Emissions from Enteric Fermentation and Manure Management				
Category code	3A1 and 3A2				
Sheet	1 of 1				
Equation	Equation 10.19		Eq. 10.19 and 10.20	Equation 10.22	
Species/Livestock category	Number of animals	Emission factor for Enteric Fermentation	CH ₄ emissions from Enteric Fermentation	Emission factor for Manure Management	CH ₄ emissions from Manure Management
	(head)	(kg head ⁻¹ yr ⁻¹)	(Gg CH ₄ yr ⁻¹)	(kg head ⁻¹ yr ⁻¹)	(Gg CH ₄ yr ⁻¹)
		Tables 10.10 and 10.11	$CH_4^{Enteric} = N_{T1} \cdot EF_{(T1)} \cdot 10^{-6}$	Tables 10.14 - 10.16	$CH_4^{Manure} = N_{T1} \cdot EF_{(T1)} \cdot 10^{-6}$
T	N _(T)	EF _(T)	CH ₄ ^{Enteric}	EF _(T)	CH ₄ ^{Manure}
Sapi Potong	2697	61	0.164517	31	0.083607
Sapi Perah	221	47	0.010387	1	0.000221
Kerbau	83	55	0.004565	2	0.000166
Domba	368	18	0.006624	0.2	0.0000736
Kambing	1576	5	0.00788	0.22	0.00034672
Kelinci	905	5	0.004525	0.08	0.0000724
Babi	0	1	0	7	0
Kuda	66	0	0	2.19	0.00014454
Ayam Ras Pedaging	654000	0	0	0.02	0.01308
Ayam Ras Petelur	203240	0	0	0.02	0.0040648
Ayam Buras	49770	0	0	0.02	0.0009954
Itik	4113	0	0	0.02	0.00008226
Entok / Itik Manila	646	0	0	0.02	0.00001292
Puyuh	21200	0	0	0.02	0.000424
Merpati	1443	0	0	0.02	0.00002886
Other ¹					
Total	940328		0.198498		0.1033195

¹ Specify livestock categories as needed using additional lines (e.g. llamas, alpacas, reindeer, rabbits, fur-bearing animals etc.)

2024									
Sector		Agriculture, Forestry and Other Land Use							
Category		Manure Management: Direct N ₂ O Emissions from Manure Management Systems							
Category code		3A2							
Sheet		1 of 1							
Equation		Eq. 10.25		Equation 10.30		Equation 10.25			
Manure Management System (MMS) ¹	Species/Livestock category	Number of animals	Default N excretion rate	Typical animal mass for livestock category	Annual N excretion per head of species/livestock category ³	Fraction of total annual nitrogen excretion managed in MMS for each species/livestock category	Total nitrogen excretion for the MMS ⁴	Emission factor for direct N ₂ O-N emissions from MMS	Annual direct N ₂ O emissions from Manure Management
		(head)	[kg N (1000 kg animal) ⁻¹ day ⁻¹]	(kg)	(kg N animal ⁻¹ year ⁻¹)	(-)	(kg N yr ⁻¹)	[kg N ₂ O-N (kg N in MMS) ⁻¹]	kg N ₂ O yr ⁻¹
					$N_{ex(T)} = N_{rate(T)} * TAM * 10^{-3} * 365$	Tables A4-A8	$NE_{MMS} = N_{(T)} * N_{ex(T)} * MS_{(T,S)}$	Table 10.21	$N_2O_{(MMS)} = NE_{MMS} * EF_{3(S)} * 44/28$
S	T	N _(T)	N _{rate(T)}	TAM	N _{ex(T)}	MS _(T,S)	NE _{MMS}	EF _{3(S)}	N ₂ O _(MMS)
	Sapi Potong	1687	0.34	319	39.5879	0.02	1335.695746	0.02	41.97900916
	Sapi Perah	201	0.47	350	60.0425	0.02	241.37085	0.02	7.585941
	Kerbau	92	0.34	380	47.158	0.02	86.77072	0.02	2.727079771
	Domba	779	1.17	28	11.9574	0.02	186.296292	0.02	5.85502632
	Kambing	2131	1.37	30	15.0015	0.02	639.36393	0.02	20.09429494
	Kelinci	1662		1.6	0	0.01	0	0.02	0
	Babi	0	0.5	28	5.11	0.2	0	0.02	0
	Kuda	41	0.46	238	39.9602	0.2	327.67364	0.02	10.2983144
	Ayam Ras Pedaging	143000	1.1	0.9	0.36135	0.2	10334.61	0.02	324.8020286
	Ayam Ras Petelur	187050	0.82	1.8	0.53874	0.2	20154.2634	0.02	633.4197069
	Ayam Buras	44557	0.82	1.8	0.53874	0.2	4800.927636	0.02	150.8862971
	Itik	5280	0.83	2.7	0.817965	0.02	86.377104	0.02	2.714708983
	Entok / Itik Manila	2543	0.83	2.7	0.817965	1.02	2121.686695	0.02	66.68158184
	Puyuh	15500	0.82	2.7	0.80811	1.02	12776.2191	0.02	401.5383146
	Merpati	2108	0.82	2.7	0.80811	0.02	34.0699176	0.02	1.070768839
	Other ²								
Total									1669.653072

¹ The calculations must be done by Manure Management System, and for each management system, the relevant species/livestock category (ies) must be selected. For the Manure Management Systems, see Table 10.18.

² Specify livestock categories as needed using additional lines (e.g. llamas, alpacas, reindeers, rabbits, fur-bearing animals etc.)

³ Country-specific values are preferred to directly enter into this column. If these are not available, use default values of N_{rate(T)} and TAM to calculate this variable.

⁴ This value will be input to worksheet in Indirect N₂O emissions from Manure Management (see category 3C6).

2023									
Sector		Agriculture, Forestry and Other Land Use							
Category		Manure Management: Direct N ₂ O Emissions from Manure Management Systems							
Category code		3A2							
Sheet		1 of 1							
Equation		Eq. 10.25		Equation 10.30		Equation 10.25			
Manure Management System (MMS) ¹	Species/Livestock category	Number of animals	Default N excretion rate	Typical animal mass for livestock category	Annual N excretion per head of species/livestock category ³	Fraction of total annual nitrogen excretion managed in MMS for each species/livestock category	Total nitrogen excretion for the MMS ⁴	Emission factor for direct N ₂ O-N emissions from MMS	Annual direct N ₂ O emissions from Manure Management
		(head)	[kg N (1000 kg animal) ⁻¹ day ⁻¹]	(kg)	(kg N animal ⁻¹ year ⁻¹)	(-)	(kg N yr ⁻¹)	[kg N ₂ O-N (kg N in MMS) ⁻¹]	kg N ₂ O yr ⁻¹
					$N_{ex(T)} = N_{rate(T)} * TAM * 10^{-3} * 365$	Tables A4-A8	$NE_{MMS} = N_{(T)} * N_{ex(T)} * MS_{(T,S)}$	Table 10.21	$N_2O_{(MMS)} = NE_{MMS} * EF_{3(S)} * 44/28$
S	T	N _(T)	N _{rate(T)}	TAM	N _{ex(T)}	MS _(T,S)	NE _{MMS}	EF _{3(S)}	N ₂ O _(MMS)
	Sapi Potong	1463	0.34	319	39.5879	0.02	1158.341954	0.02	36.40503284
	Sapi Perah	309	0.47	350	60.0425	0.02	371.06265	0.02	11.661969
	Kerbau	97	0.34	380	47.158	0.02	91.48652	0.02	2.875290629
	Domba	332	1.17	28	11.9574	0.02	79.397136	0.02	2.49533856
	Kambing	1559	1.37	30	15.0015	0.02	467.74677	0.02	14.70061277
	Kelinci	1494		1.6	0	0.01	0	0.02	0
	Babi	0	0.5	28	5.11	0.2	0	0.02	0
	Kuda	38	0.46	238	39.9602	0.2	303.69752	0.02	9.5447792
	Ayam Ras Pedaging	855000	1.1	0.9	0.36135	0.2	61790.85	0.02	1941.998143
	Ayam Ras Petelur	179300	0.82	1.8	0.53874	0.2	19319.2164	0.02	607.1753726
	Ayam Buras	49698	0.82	1.8	0.53874	0.2	5354.860104	0.02	168.2956033
	Itik	3730	0.83	2.7	0.817965	0.02	61.020189	0.02	1.917777369
	Entok / Itik Manila	1884	0.83	2.7	0.817965	1.02	1571.866981	0.02	49.40153369
	Puyuh	14200	0.82	2.7	0.80811	1.02	11704.66524	0.02	367.8609075
	Merpati	2319	0.82	2.7	0.80811	0.02	37.4801418	0.02	1.177947314
	Other ²								
Total									3215.510308

2022									
Sector		Agriculture, Forestry and Other Land Use							
Category		Manure Management: Direct N ₂ O Emissions from Manure Management Systems							
Category code		3A2							
Sheet		1 of 1							
Equation		Equation 10.25							
Manure Management System (MMS) ¹	Species/Livestock category	Number of animals	Default N excretion rate	Typical animal mass for livestock category	Annual N excretion per head of species/livestock category ³	Fraction of total annual nitrogen excretion managed in MMS for each species/livestock category	Total nitrogen excretion for the MMS ⁴	Emission factor for direct N ₂ O-N emissions from MMS	Annual direct N ₂ O emissions from Manure Management
		(head)	[kg N (1000 kg animal) ⁻¹ day ⁻¹]	(kg)	(kg N animal ⁻¹ year ⁻¹)	(-)	(kg N yr ⁻¹)	[kg N ₂ O-N (kg N in MMS) ⁻¹]	kg N ₂ O yr ⁻¹
			Table 10.19	Tables 10A-4 to 10A-9	$N_{ex(T)} = N_{rate(T)} * TAM * 10^{-3} * 365$	Tables A4-A8	$NE_{MMS} = N_{(T)} * N_{ex(T)} * MS_{(T,S)}$	Table 10.21	$N_{2}O_{(mm)} = NE_{MMS} * EF_{3(S)} * 44/28$
S	T	N _(T)	N _{rate(T)}	TAM	N _{ex(T)}	MS _(T,S)	NE _{MMS}	EF _{3(S)}	N ₂ O _(mm)
	Sapi Potong	1512	0.34	319	39.5879	0.02	1197.138096	0.02	37.62434016
	Sapi Perah	192	0.47	350	60.0425	0.02	230.5632	0.02	7.246272
	Kerbau	103	0.34	380	47.158	0.02	97.14548	0.02	3.053143657
	Domba	423	1.17	28	11.9574	0.02	101.159604	0.02	3.17930184
	Kambing	1445	1.37	30	15.0015	0.02	433.54335	0.02	13.62564814
	Kelinci	1367		1.6	0	0.01	0	0.02	0
	Babi	0	0.5	28	5.11	0.2	0	0.02	0
	Kuda	63	0.46	238	39.9602	0.2	503.49852	0.02	15.8242392
	Ayam Ras Pedaging	127000	1.1	0.9	0.36135	0.2	9178.29	0.02	288.4605429
	Ayam Ras Petelur	203440	0.82	1.8	0.53874	0.2	21920.25312	0.02	688.9222409
	Ayam Buras	49918	0.82	1.8	0.53874	0.2	5378.564664	0.02	169.0406037
	Itik	4670	0.83	2.7	0.817965	0.02	76.397931	0.02	2.401077831
	Entok / Itik Manila	1871	0.83	2.7	0.817965	1.02	1561.020765	0.02	49.06065262
	Puyuh	21200	0.82	2.7	0.80811	1.02	17474.57064	0.02	549.2007915
	Merpati	2259	0.82	2.7	0.80811	0.02	36.5104098	0.02	1.147470022
	Other ²								
Total									1828.786325

¹ The calculations must be done by Manure Management System, and for each management system, the relevant species/livestock category (ies) must be selected. For the Manure Management Systems, see Table 10.18.

² Specify livestock categories as needed using additional lines (e.g. llamas, alpacas, reindeers, rabbits, fur-bearing animals etc.)

³ Country-specific values are preferred to directly enter into this column. If these are not available, use default values of N_{rate(T)} and TAM to calculate this variable.

⁴ This value will be input to worksheet in Indirect N₂O emissions from Manure Management (see category 3C6).

2021									
Sector		Agriculture, Forestry and Other Land Use							
Category		Manure Management: Direct N ₂ O Emissions from Manure Management Systems							
Category code		3A2							
Sheet		1 of 1							
Equation		Equation 10.25							
Manure Management System (MMS) ¹	Species/Livestock category	Number of animals	Default N excretion rate	Typical animal mass for livestock category	Annual N excretion per head of species/livestock category ³	Fraction of total annual nitrogen excretion managed in MMS for each species/livestock category	Total nitrogen excretion for the MMS ⁴	Emission factor for direct N ₂ O-N emissions from MMS	Annual direct N ₂ O emissions from Manure Management
		(head)	[kg N (1000 kg animal) ⁻¹ day ⁻¹]	(kg)	(kg N animal ⁻¹ year ⁻¹)	(-)	(kg N yr ⁻¹)	[kg N ₂ O-N (kg N in MMS) ⁻¹]	kg N ₂ O yr ⁻¹
			Table 10.19	Tables 10A-4 to 10A-9	$N_{ex(T)} = N_{rate(T)} * TAM * 10^{-3} * 365$	Tables A4-A8	$NE_{MMS} = N_{(T)} * N_{ex(T)} * MS_{(T,S)}$	Table 10.21	$N_{2}O_{(mm)} = NE_{MMS} * EF_{3(S)} * 44/28$
S	T	N _(T)	N _{rate(T)}	TAM	N _{ex(T)}	MS _(T,S)	NE _{MMS}	EF _{3(S)}	N ₂ O _(mm)
	Sapi Potong	2697	0.34	319	39.5879	0.02	2135.371326	0.02	67.11167025
	Sapi Perah	221	0.47	350	60.0425	0.02	265.38785	0.02	8.340761
	Kerbau	83	0.34	380	47.158	0.02	78.28228	0.02	2.460300229
	Domba	368	1.17	28	11.9574	0.02	88.006464	0.02	2.76591744
	Kambing	1576	1.37	30	15.0015	0.02	472.84728	0.02	14.86091451
	Kelinci	905		1.6	0	0.01	0	0.02	0
	Babi	0	0.5	28	5.11	0.2	0	0.02	0
	Kuda	66	0.46	238	39.9602	0.2	527.47464	0.02	16.5777744
	Ayam Ras Pedaging	654000	1.1	0.9	0.36135	0.2	47264.58	0.02	1485.458229
	Ayam Ras Petelur	203240	0.82	1.8	0.53874	0.2	21898.70352	0.02	688.2449678
	Ayam Buras	49770	0.82	1.8	0.53874	0.2	5362.61796	0.02	168.5394216
	Itik	4113	0.83	2.7	0.817965	0.02	67.2858009	0.02	2.1146986
	Entok / Itik Manila	646	0.83	2.7	0.817965	1.02	538.9734978	0.02	16.93916707
	Puyuh	21200	0.82	2.7	0.80811	1.02	17474.57064	0.02	549.2007915
	Merpati	1443	0.82	2.7	0.80811	0.02	23.3220546	0.02	0.732978859
	Other ²								
Total									3023.34759

2024											
Sector		Agriculture, Forestry and Other Land Use									
Category		Emissions from Biomass Burning in Cropland (Cropland Remaining Cropland)									
Category code		3C1b									
Sheet		1 of 2									
Equation		Equation 2.2									
Land-use category		Subcategories for reporting year ¹	Area burnt	Mass of fuel available for combustion ²	Combustion factor ³	Emission factor for each GHG		CH ₄ emissions from fire	CO emissions from fire	N ₂ O emissions from fire	NO _x emissions from fire
Initial land use	Land use during reporting year		(ha)	(tonnes ha ⁻¹)	(-)	[g GHG (kg dm burnt) ⁻¹]	(tonnes CH ₄)	(tonnes CO)	(tonnes N ₂ O)	(tonnes NO _x)	
				(Table 2.4)	Table 2.6	Table 2.5	$A \cdot M_b \cdot C_f \cdot G_{ref} \cdot 10^{-3}$	$A \cdot M_b \cdot C_f \cdot G_{ref} \cdot 10^{-3}$	$A \cdot M_b \cdot C_f \cdot G_{ref} \cdot 10^{-3}$	$A \cdot M_b \cdot C_f \cdot G_{ref} \cdot 10^{-3}$	
			A	M _B	C _f	G _{ref}	L _{fire-CH₄}	L _{fire-CO}	L _{fire-N₂O}	L _{fire-NO_x}	
CL	CL 2024	Padi	2162	5.5	0.8	CH ₄	2.7	25.68456			
						CO	92		875.1776		
						N ₂ O	0.07			0.665896	
						NO _x	2.5				23.782
		Jagung	125	10	0.8	CH ₄	2.7	2.7			
						CO	92		92		
						N ₂ O	0.07			0.07	
						NO _x	2.5				2.5
Total						CH ₄		28.38456			
						CO			967.1776		
						N ₂ O				0.735896	
						NO _x					26.282

¹ For each subcategory, use separate lines for each non-CO₂ greenhouse gas.

² Where data for M_b and C_f are not available, a default value for the amount of fuel actually burnt (M_b * C_f) can be used (Table 2.4). In this case, M_b takes the value taken from the table, whereas C_f must be 1.

2023												
Sector		Agriculture, Forestry and Other Land Use										
Category		Emissions from Biomass Burning in Cropland (Cropland Remaining Cropland)										
Category code		3C1b										
Sheet		1 of 2										
Equation		Equation 2.2										
Land-use category		Subcategories for reporting year ¹	Area burnt	Mass of fuel available for combustion ²	Combustion factor ³	Emission factor for each GHG		CH ₄ emissions from fire	CO emissions from fire	N ₂ O emissions from fire	NO _x emissions from fire	
Initial land use	Land use during reporting year		(ha)	(tonnes ha ⁻¹)	(-)	[g GHG (kg dm burnt) ⁻¹]		(tonnes CH ₄)	(tonnes CO)	(tonnes N ₂ O)	(tonnes NO _x)	
				(Table 2.4)	Table 2.6	Table 2.5		$L_{\text{fire-CH}_4} = A \cdot M_b \cdot C_f \cdot G_{\text{ref}} \cdot 10^{-3}$	$L_{\text{fire-CO}} = A \cdot M_b \cdot C_f \cdot G_{\text{ref}} \cdot 10^{-3}$	$L_{\text{fire-N}_2\text{O}} = A \cdot M_b \cdot C_f \cdot G_{\text{ref}} \cdot 10^{-3}$	$L_{\text{fire-NO}_x} = A \cdot M_b \cdot C_f \cdot G_{\text{ref}} \cdot 10^{-3}$	
			A	M _B	C _f	G _{ref}		L _{fire-CH₄}	L _{fire-CO}	L _{fire-N₂O}	L _{fire-NO_x}	
CL	CL 2023	Padi	2145	5.5	0.8	CH ₄	2.7	25.4826				
						CO	92		868.296			
						N ₂ O	0.07			0.66066		
						NO _x	2.5				23.595	
		Jagung	137	10	0.8	CH ₄	2.7	2.9592				
						CO	92		100.832			
						N ₂ O	0.07			0.07672		
						NO _x	2.5				2.74	
Total						CH ₄		28.4418				
						CO			969.128			
						N ₂ O				0.73738		
						NO _x					26.335	

2022											
Sector		Agriculture, Forestry and Other Land Use									
Category		Emissions from Biomass Burning in Cropland (Cropland Remaining Cropland)									
Category code		3C1b									
Sheet		1 of 2									
Equation		Equation 2.27									
Land-use category		Subcategories for reporting year ¹	Area burnt	Mass of fuel available for combustion ²	Combustion factor ³	Emission factor for each GHG		CH ₄ emissions from fire	CO emissions from fire	N ₂ O emissions from fire	NO _x emissions from fire
Initial land use	Land use during reporting year		(ha)	(tonnes ha ⁻¹)	(-)	[g GHG (kg dm burnt) ⁻¹]	(tonnes CH ₄)	(tonnes CO)	(tonnes N ₂ O)	(tonnes NO _x)	
			(Table 2.4)		Table 2.6	Table 2.5		$L_{\text{fire-CH}_4} = A \cdot M_b \cdot C_f \cdot G_{\text{ref}} \cdot 10^{-3}$	$L_{\text{fire-CO}} = A \cdot M_b \cdot C_f \cdot G_{\text{ref}} \cdot 10^{-3}$	$L_{\text{fire-N}_2\text{O}} = A \cdot M_b \cdot C_f \cdot G_{\text{ref}} \cdot 10^{-3}$	$L_{\text{fire-NO}_x} = A \cdot M_b \cdot C_f \cdot G_{\text{ref}} \cdot 10^{-3}$
			A	M _B	C _f	G _{ref}	L _{fire-CH₄}	L _{fire-CO}	L _{fire-N₂O}	L _{fire-NO_x}	
CL	CL 2022	Padi	2092	5.5	0.8	CH ₄	2.7	24.85296			
						CO	92		846.8416		
						N ₂ O	0.07			0.644336	
						NO _x	2.5				23.012
		Jagung	107	10	0.8	CH ₄	2.7	2.3112			
						CO	92		78.752		
						N ₂ O	0.07			0.05992	
						NO _x	2.5				2.14
Total						CH ₄	27.16416				
						CO		925.5936			
						N ₂ O			0.704256		
						NO _x				25.152	

¹ For each subcategory, use separate lines for each non-CO₂ greenhouse gas.

² Where data for M_b and C_f are not available, a default value for the amount of fuel actually burnt (M_b * C_f) can be used (Table 2.4). In this case, M_b takes the value taken from the table, whereas C_f must be 1.

2021																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											</
------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

2024					
Sector	Agriculture, Forestry and Other Land Use				
Category	Urea Fertilization: Annual CO ₂ emissions from Urea Fertilization				
Category code	3C3				
Sheet	1 of 1				
Equation	Equation 11.13				
Subcategories for reporting year	Luas Panen	Dosis Urea	Annual amount of Urea Fertilization	Emission factor	Annual CO ₂ -C emissions from Urea Fertilization
	Ha	kg/Ha	(tonnes urea yr ⁻¹)	[tonnes of C (tonne of urea) ⁻¹]	(tonnes C yr ⁻¹)
				default is 0.20	CO ₂ -C Emission = M * EF
	A	Dosis	M	EF	CO₂-C Emission
(a) Tanaman Pangan					
Padi	2162	250	540.5	0.2	108.1
Jagung	125	350	43.75	0.2	8.75
Ubi kayu	38	150	5.7	0.2	1.14
Kacang tanah	6	56	0.336	0.2	0.0672
	Sub total				118.0572
(b) Tanaman Hortikultura					
Cabe	89	222	19.758	0.2	3.9516
Cabe besar	23	222	5.106	0.2	1.0212
Cabe rawit	66	222	14.652	0.2	2.9304
Kangkung	18	222	3.996	0.2	0.7992
Sawi	22	222	4.884	0.2	0.9768
	Sub total				9.6792
(c) Tanaman Perkebunan					
			0	0.2	0
Total					127.7364
2023					
Sector	Agriculture, Forestry and Other Land Use				
Category	Urea Fertilization: Annual CO ₂ emissions from Urea Fertilization				
Category code	3C3				
Sheet	1 of 1				
Equation	Equation 11.13				
Subcategories for reporting year	Luas Panen	Dosis Urea	Annual amount of Urea Fertilization	Emission factor	Annual CO ₂ -C emissions from Urea Fertilization
	Ha	kg/Ha	(tonnes urea yr ⁻¹)	[tonnes of C (tonne of urea) ⁻¹]	(tonnes C yr ⁻¹)
				default is 0.20	CO ₂ -C Emission = M * EF
	A	Dosis	M	EF	CO₂-C Emission
(a) Tanaman Pangan					
Padi	2145	250	536.25	0.2	107.25
Jagung	137	350	47.95	0.2	9.59
Ubi kayu	50	150	7.5	0.2	1.5
Kacang tanah	7	56	0.392	0.2	0.0784
	Sub total				118.4184
(b) Tanaman Hortikultura					
Cabe	101	222	22.422	0.2	4.4844
Cabe besar	41	222	9.102	0.2	1.8204
Cabe rawit	60	222	13.32	0.2	2.664
Kangkung	19	222	4.218	0.2	0.8436
Sawi	30	222	6.66	0.2	1.332
	Sub total				11.1444
(c) Tanaman Perkebunan					
			0	0.2	0
Total					129.5628

2022					
Sector	Agriculture, Forestry and Other Land Use				
Category	Urea Fertilization: Annual CO₂ emissions from Urea Fertilization				
Category code	3C3				
Sheet	1 of 1				
Equation	Equation 11.13				
Subcategories for reporting year	Luas Panen	Dosis Urea	Annual amount of Urea Fertilization	Emission factor	Annual CO ₂ -C emissions from Urea Fertilization
	Ha	kg/Ha	(tonnes urea yr ⁻¹)	[tonnes of C (tonne of urea) ⁻¹]	(tonnes C yr ⁻¹)
				default is 0.20	CO ₂ -C Emission = M * EF
	A	Dosis	M	EF	CO₂-C Emission
(a) Tanaman Pangan					
Padi	2092	250	523	0.2	104.6
Jagung	107	350	37.45	0.2	7.49
Ubi kayu	37	150	5.55	0.2	1.11
Kacang tanah	4	56	0.224	0.2	0.0448
	Sub total				113.2448
(b) Tanaman Hortikultura					
Cabe	59	222	13.098	0.2	2.6196
Cabe besar	41	222	9.102	0.2	1.8204
Cabe rawit	18	222	3.996	0.2	0.7992
Kangkung	20	222	4.44	0.2	0.888
Sawi	22	222	4.884	0.2	0.9768
	Sub total				7.104
(c) Tanaman Perkebunan					
			0	0.2	0
Total					120.3488
2021					
Sector	Agriculture, Forestry and Other Land Use				
Category	Urea Fertilization: Annual CO₂ emissions from Urea Fertilization				
Category code	3C3				
Sheet	1 of 1				
Equation	Equation 11.13				
Subcategories for reporting year	Luas Panen	Dosis Urea	Annual amount of Urea Fertilization	Emission factor	Annual CO ₂ -C emissions from Urea Fertilization
	Ha	kg/Ha	(tonnes urea yr ⁻¹)	[tonnes of C (tonne of urea) ⁻¹]	(tonnes C yr ⁻¹)
				default is 0.20	CO ₂ -C Emission = M * EF
	A	Dosis	M	EF	CO₂-C Emission
(a) Tanaman Pangan					
Padi	2162	250	540.5	0.2	108.1
Jagung	104	350	36.4	0.2	7.28
Ubi kayu	38	150	5.7	0.2	1.14
Kacang tanah	6	56	0.336	0.2	0.0672
	Sub total				116.5872
(b) Tanaman Hortikultura					
Cabe	53	222	11.766	0.2	2.3532
Cabe besar	38	222	8.436	0.2	1.6872
Cabe rawit	15	222	3.33	0.2	0.666
Kangkung	16	222	3.552	0.2	0.7104
Sawi	20	222	4.44	0.2	0.888
	Sub total				6.3048
(c) Tanaman Perkebunan					
			0	0.2	0
Total					122.892

2024						
Sector		Agriculture, Forestry and Other Land Use				
Category		Direct N ₂ O Emissions from Managed Soils				
Category code		3C4				
Sheet		1 of 2				
Equation		Equation 11.1				
Anthropogenic N input type		Annual amount of N applied		Emission factor for N ₂ O emissions from N inputs		Annual direct N ₂ O-N emissions produced from managed soils
		(kg N yr ⁻¹)		[kg N ₂ O-N (kg N input) ⁻¹]		(kg N ₂ O-N yr ⁻¹)
				Table 11.1		N ₂ O-N _{inputs} = F * EF
		F		EF		N ₂ O-N _{inputs}
Anthropogenic N input types to estimate annual direct N ₂ O-N emissions produced from managed soils	synthetic fertilizers	F _{SN} : N in synthetic fertilizers	254.6496	EF ₁	0.01	2.546496
	animal manure, compost, sewage sludge	F _{ON} : N in animal manure, compost, sewage sludge, other	55.68		0.01	0.5568
	crop residues	F _{CR} : N in crop residues				
	changes to land use or management	F _{SOM} : N in mineral soils that is mineralised, in association with loss of soil C from soil organic matter as a result of changes to land use or management				
Anthropogenic N input types to estimate annual direct N ₂ O-N emissions produced from flooded rice	synthetic fertilizers	F _{SN} : N in synthetic fertilizers		EF _{1FR}		
	animal manure, compost, sewage sludge	F _{ON} : N in animal manure, compost, sewage sludge, other	1383.68		0.01	13.8368
	crop residues	F _{CR} : N in crop residues	23.6415		0.01	0.236415
	changes to land use or management	F _{SOM} : N in mineral soils that is mineralised, in association with loss of soil C from soil organic matter as a result of changes to land use or management				
Total						17.176511
2023						
Sector		Agriculture, Forestry and Other Land Use				
Category		Direct N ₂ O Emissions from Managed Soils				
Category code		3C4				
Sheet		1 of 2				
Equation		Equation 11.1				
Anthropogenic N input type		Annual amount of N applied		Emission factor for N ₂ O emissions from N inputs		Annual direct N ₂ O-N emissions produced from managed soils
		(kg N yr ⁻¹)		[kg N ₂ O-N (kg N input) ⁻¹]		(kg N ₂ O-N yr ⁻¹)
				Table 11.1		N ₂ O-N _{inputs} = F * EF
		F		EF		N ₂ O-N _{inputs}
Anthropogenic N input types to estimate annual direct N ₂ O-N emissions produced from managed soils	synthetic fertilizers	F _{SN} : N in synthetic fertilizers	259.407	EF ₁	0.01	2.59407
	animal manure, compost, sewage sludge	F _{ON} : N in animal manure, compost, sewage sludge, other	62.08		0.01	0.6208
	crop residues	F _{CR} : N in crop residues				
	changes to land use or management	F _{SOM} : N in mineral soils that is mineralised, in association with loss of soil C from soil organic matter as a result of changes to land use or management				
Anthropogenic N input types to estimate annual direct N ₂ O-N emissions produced from flooded rice	synthetic fertilizers	F _{SN} : N in synthetic fertilizers		EF _{1FR}		
	animal manure, compost, sewage sludge	F _{ON} : N in animal manure, compost, sewage sludge, other	1372.8		0.01	13.728
	crop residues	F _{CR} : N in crop residues	23.2035		0.01	0.232035
	changes to land use or management	F _{SOM} : N in mineral soils that is mineralised, in association with loss of soil C from soil organic matter as a result of changes to land use or management				
Total						17.174905

2022						
Sector		Agriculture, Forestry and Other Land Use				
Category		Direct N ₂ O Emissions from Managed Soils				
Category code		3C4				
Sheet		1 of 2				
Equation		Equation 11.1				
Anthropogenic N input type		Annual amount of N applied		Emission factor for N ₂ O emissions from N inputs		Annual direct N ₂ O-N emissions produced from managed soils
		(kg N yr ⁻¹)		[kg N ₂ O-N (kg N input) ⁻¹]		(kg N ₂ O-N yr ⁻¹)
		F		Table 11.1		N ₂ O-N _{inputs} = F * EF
				EF		N ₂ O-N _{inputs}
Anthropogenic N input types to estimate annual direct N ₂ O-N emissions produced from managed soils	synthetic fertilizers	F _{SN} : N in synthetic fertilizers	301.6971	EF ₁	0.01	3.016971
	animal manure, compost, sewage sludge	F _{ON} : N in animal manure, compost, sewage sludge, other	47.36		0.01	0.4736
	crop residues	F _{CR} : N in crop residues				
	changes to land use or management	F _{SOM} : N in mineral soils that is mineralised, in association with loss of soil C from soil organic matter as a result of changes to land use or management				
Anthropogenic N input types to estimate annual direct N ₂ O-N emissions produced from flooded rice	synthetic fertilizers	F _{SN} : N in synthetic fertilizers		EF _{1FR}		
	animal manure, compost, sewage sludge	F _{ON} : N in animal manure, compost, sewage sludge, other	1338.88		0.01	13.3888
	crop residues	F _{CR} : N in crop residues	22.359		0.01	0.22359
	changes to land use or management	F _{SOM} : N in mineral soils that is mineralised, in association with loss of soil C from soil organic matter as a result of changes to land use or management				
Total						17.102961
2021						
Sector		Agriculture, Forestry and Other Land Use				
Category		Direct N ₂ O Emissions from Managed Soils				
Category code		3C4				
Sheet		1 of 2				
Equation		Equation 11.1				
Anthropogenic N input type		Annual amount of N applied		Emission factor for N ₂ O emissions from N inputs		Annual direct N ₂ O-N emissions produced from managed soils
		(kg N yr ⁻¹)		[kg N ₂ O-N (kg N input) ⁻¹]		(kg N ₂ O-N yr ⁻¹)
		F		Table 11.1		N ₂ O-N _{inputs} = F * EF
				EF		N ₂ O-N _{inputs}
Anthropogenic N input types to estimate annual direct N ₂ O-N emissions produced from managed soils	synthetic fertilizers	F _{SN} : N in synthetic fertilizers	237.3425	EF ₁	0.01	2.373425
	animal manure, compost, sewage sludge	F _{ON} : N in animal manure, compost, sewage sludge, other	47.36		0.01	0.4736
	crop residues	F _{CR} : N in crop residues				
	changes to land use or management	F _{SOM} : N in mineral soils that is mineralised, in association with loss of soil C from soil organic matter as a result of changes to land use or management				
Anthropogenic N input types to estimate annual direct N ₂ O-N emissions produced from flooded rice	synthetic fertilizers	F _{SN} : N in synthetic fertilizers		EF _{1FR}		
	animal manure, compost, sewage sludge	F _{ON} : N in animal manure, compost, sewage sludge, other	1383.68		0.03	41.5104
	crop residues	F _{CR} : N in crop residues	23.07		0.03	0.6921
	changes to land use or management	F _{SOM} : N in mineral soils that is mineralised, in association with loss of soil C from soil organic matter as a result of changes to land use or management				
Total						45.049525

2024						
Sector		Agriculture, Forestry and Other Land Use				
Category		Indirect N ₂ O Emissions from Manure Management ¹				
Category code		3C6				
Sheet		1 of 2				
Equation		Equation 10.25	Equation 10.26		Equation 10.27	
Manure management System (MMS) ¹	Species/Livestock category ²	Total nitrogen excretion for the MMS ³	Fraction of managed livestock manure nitrogen that volatilises	Amount of manure nitrogen that is lost due to volatilisation of NH ₃ and NO _x	Emission factor for N ₂ O emissions from atmospheric deposition of nitrogen on soils and water surfaces	Indirect N ₂ O emissions due to volatilization from Manure Management
		kg N yr ⁻¹	(-)	kg N yr ⁻¹	[kg N ₂ O-N (kg NH ₃ -N + NO _x -N volatilised) ⁻¹]	kg N ₂ O yr ⁻¹
			Table 10.22	$\frac{N_{\text{volatilization-MMS}}}{NE_{\text{MMS}} * \text{Frac}_{(\text{GasMS})}}$	Table 11.3	$N_2O_{\text{G(mm)}} = NE_{\text{volatilization-MMS}} * EF_4 * 44/28$
S	T	NE _{MMS}	Frac _(GasMS)	N _{volatilization-MMS}	EF ₄	N ₂ O _{G(mm)}
	Sapi Potong	1335.695746	0.3	400.7087238	0.01	6.296851374
	Sapi Perah	241.37085	0.2	48.27417	0.01	0.7585941
	Kerbau	86.77072	0.12	10.4124864	0.01	0.163624786
	Domba	186.296292	0.12	22.35555504	0.01	0.351301579
	Kambing	639.36393	0.12	76.7236716	0.01	1.205657697
	Kelinci	0	0.12	0	0.01	0
	Babi	0	0.45	0	0.01	0
	Kuda	327.67364	0.12	39.3208368	0.01	0.617898864
	Ayam Ras Pedaging	10334.61	0.4	4133.844	0.01	64.96040571
	Ayam Ras Petelur	20154.2634	0.55	11084.84487	0.01	174.1904194
	Ayam Buras	4800.927636	0.55	2640.5102	0.01	41.49373171
	Itik	86.377104	0.55	47.5074072	0.01	0.74654497
	Entok / Itik Manila	2121.686695	0.55	1166.927682	0.01	18.33743501
	Puyuh	12776.2191	0.55	7026.920505	0.01	110.4230365
	Merpati	34.0699176	0.55	18.73845468	0.01	0.294461431
	Other ²					
Total						419.8399631
¹ The calculations must be done by Manure Management System, and for each management system, the relevant species/livestock category (ies) must be selected. For the Manure Management Systems, see Table 10.18.						
² Specify livestock categories as needed using additional lines (e.g. llamas, alpacas, reindeers, rabbits, fur-bearing animals etc.)						
³ See worksheet for Direct N ₂ O from Manure Management (3A2) for the value of Total N excretion for the MMS (NE _{MMS}).						
2023						
Sector		Agriculture, Forestry and Other Land Use				
Category		Indirect N ₂ O Emissions from Manure Management ¹				
Category code		3C6				
Sheet		1 of 2				
Equation		Equation 10.25	Equation 10.26		Equation 10.27	
Manure management System (MMS) ¹	Species/Livestock category ²	Total nitrogen excretion for the MMS ³	Fraction of managed livestock manure nitrogen that volatilises	Amount of manure nitrogen that is lost due to volatilisation of NH ₃ and NO _x	Emission factor for N ₂ O emissions from atmospheric deposition of nitrogen on soils and water surfaces	Indirect N ₂ O emissions due to volatilization from Manure Management
		kg N yr ⁻¹	(-)	kg N yr ⁻¹	[kg N ₂ O-N (kg NH ₃ -N + NO _x -N volatilised) ⁻¹]	kg N ₂ O yr ⁻¹
			Table 10.22	$\frac{N_{\text{volatilization-MMS}}}{NE_{\text{MMS}} * \text{Frac}_{(\text{GasMS})}}$	Table 11.3	$N_2O_{\text{G(mm)}} = NE_{\text{volatilization-MMS}} * EF_4 * 44/28$
S	T	NE _{MMS}	Frac _(GasMS)	N _{volatilization-MMS}	EF ₄	N ₂ O _{G(mm)}
	Sapi Potong	1158.341954	0.3	347.5025862	0.01	5.460754926
	Sapi Perah	371.06265	0.2	74.21253	0.01	1.1661969
	Kerbau	91.48652	0.12	10.9783824	0.01	0.172517438
	Domba	79.397136	0.12	9.52765632	0.01	0.149720314
	Kambing	467.74677	0.12	56.1296124	0.01	0.882036766
	Kelinci	0	0.12	0	0.01	0
	Babi	0	0.45	0	0.01	0
	Kuda	303.69752	0.12	36.4437024	0.01	0.572686752
	Ayam Ras Pedaging	61790.85	0.4	24716.34	0.01	388.3996286
	Ayam Ras Petelur	19319.2164	0.55	10625.56902	0.01	166.9732275
	Ayam Buras	5354.860104	0.55	2945.173057	0.01	46.2812909
	Itik	61.020189	0.55	33.56110395	0.01	0.527388776
	Entok / Itik Manila	1571.866981	0.55	864.5268397	0.01	13.58542177
	Puyuh	11704.66524	0.55	6437.565882	0.01	101.1617496
	Merpati	37.4801418	0.55	20.61407799	0.01	0.323935511
	Other ²					
Total						725.6565557

2022						
Sector		Agriculture, Forestry and Other Land Use				
Category		Indirect N ₂ O Emissions from Manure Management ¹				
Category code		3C6				
Sheet		1 of 2				
Equation		Equation 10.25	Equation 10.26		Equation 10.27	
Manure management System (MMS) ¹	Species/Livestock category ²	Total nitrogen excretion for the MMS ³	Fraction of managed livestock manure nitrogen that volatilises	Amount of manure nitrogen that is lost due to volatilisation of NH ₃ and NO _x	Emission factor for N ₂ O emissions from atmospheric deposition of nitrogen on soils and water surfaces	Indirect N ₂ O emissions due to volatilization from Manure Management
		kg N yr ⁻¹	(-)	kg N yr ⁻¹	[kg N ₂ O-N (kg NH ₃ -N + NO _x -N volatilised) ⁻¹]	kg N ₂ O yr ⁻¹
			Table 10.22	$\frac{N_{\text{volatilization-MMS}}}{NE_{\text{MMS}} * \text{Frac}_{(\text{GasMS})}}$	Table 11.3	$N_{2O_{G(mm)}} = NE_{\text{volatilization-MMS}} * EF_4 * 44/28$
S	T	NE _{MMS}	Frac _(GasMS)	N _{volatilization-MMS}	EF ₄	N ₂ O _{G(mm)}
	Sapi Potong	1197.138096	0.3	359.1414288	0.01	5.643651024
	Sapi Perah	230.5632	0.2	46.11264	0.01	0.7246272
	Kerbau	97.14548	0.12	11.6574576	0.01	0.183188619
	Domba	101.159604	0.12	12.13915248	0.01	0.19075811
	Kambing	433.54335	0.12	52.025202	0.01	0.817538889
	Kelinci	0	0.12	0	0.01	0
	Babi	0	0.45	0	0.01	0
	Kuda	503.49852	0.12	60.4198224	0.01	0.949454352
	Ayam Ras Pedaging	9178.29	0.4	3671.316	0.01	57.69210857
	Ayam Ras Petelur	21920.25312	0.55	12056.13922	0.01	189.4536163
	Ayam Buras	5378.564664	0.55	2958.210565	0.01	46.48616602
	Itik	76.397931	0.55	42.01886205	0.01	0.660296404
	Entok / Itik Manila	1561.020765	0.55	858.5614209	0.01	13.49167947
	Puyuh	17474.57064	0.55	9611.013852	0.01	151.0302177
	Merpati	36.5104098	0.55	20.08072539	0.01	0.315554256
	Other ²					
Total						467.6388568

¹ The calculations must be done by Manure Management System, and for each management system, the relevant species/livestock category (ies) must be selected. For the Manure Management Systems,

² Specify livestock categories as needed using additional lines (e.g. llamas, alpacas, reindeers, rabbits, fur-bearing animals etc.)

³ See worksheet for Direct N₂O from Manure Management (3A2) for the value of Total N excretion for the MMS (NE_{MMS}).

2021						
Sector		Agriculture, Forestry and Other Land Use				
Category		Indirect N ₂ O Emissions from Manure Management ¹				
Category code		3C6				
Sheet		1 of 2				
Equation		Equation 10.25	Equation 10.26		Equation 10.27	
Manure management System (MMS) ¹	Species/Livestock category ²	Total nitrogen excretion for the MMS ³	Fraction of managed livestock manure nitrogen that volatilises	Amount of manure nitrogen that is lost due to volatilisation of NH ₃ and NO _x	Emission factor for N ₂ O emissions from atmospheric deposition of nitrogen on soils and water surfaces	Indirect N ₂ O emissions due to volatilization from Manure Management
		kg N yr ⁻¹	(-)	kg N yr ⁻¹	[kg N ₂ O-N (kg NH ₃ -N + NO _x -N volatilised) ⁻¹]	kg N ₂ O yr ⁻¹
			Table 10.22	$\frac{N_{\text{volatilization-MMS}}}{NE_{\text{MMS}} * \text{Frac}_{(\text{GasMS})}}$	Table 11.3	$N_{2O_{G(mm)}} = NE_{\text{volatilization-MMS}} * EF_4 * 44/28$
S	T	NE _{MMS}	Frac _(GasMS)	N _{volatilization-MMS}	EF ₄	N ₂ O _{G(mm)}
	Sapi Potong	2135.371326	0.3	640.6113978	0.01	10.06675054
	Sapi Perah	265.38785	0.2	53.07757	0.01	0.8340761
	Kerbau	78.28228	0.12	9.3938736	0.01	0.147618014
	Domba	88.006464	0.12	10.56077568	0.01	0.165955046
	Kambing	472.84728	0.12	56.7416736	0.01	0.891654871
	Kelinci	0	0.12	0	0.01	0
	Babi	0	0.45	0	0.01	0
	Kuda	527.47464	0.12	63.2969568	0.01	0.994666464
	Ayam Ras Pedaging	47264.58	0.4	18905.832	0.01	297.0916457
	Ayam Ras Petelur	21898.70352	0.55	12044.28694	0.01	189.2673661
	Ayam Buras	5362.61796	0.55	2949.439878	0.01	46.34834094
	Itik	67.2858009	0.55	37.0071905	0.01	0.581541565
	Entok / Itik Manila	538.9734978	0.55	296.4354238	0.01	4.658270945
	Puyuh	17474.57064	0.55	9611.013852	0.01	151.0302177
	Merpati	23.3220546	0.55	12.82713003	0.01	0.201569186
	Other ²					
Total						702.2796732

Sector	Agriculture, Forestry and Other Land Use									Sector	Agriculture, Forestry and Other Land Use			
Category	Rice Cultivation: Annual CH ₄ emission from rice									Category	Rice Cultivation: Annual CH ₄ emission from rice			
Category code	3C7									Category code	3C7			
Sheet	1 of 2									Sheet	2 of 2			
Equation	Eq. 2.2	Equation 5.1		Equation 5.2			Equation 5.3			Equation	Eq. 2.2	Equation 5.2	Equation 5.1	
Rice Ecosystem	Subcategories for reporting year ¹	Annual harvested area	Cultivation period of rice	Baseline emission factor for continuously flooded fields without organic amendments	Scaling factor to account for the differences in water regime during the cultivation period	Scaling factor to account for the differences in water regime in the pre-season before the cultivation period	Application rate of organic amendment in fresh weight	Conversion factor for organic amendment	Scaling factor for both types and amount of organic amendment applied	Rice Ecosystem	Subcategories for reporting year ¹	Scaling factor for soil type, rice cultivar, etc., if available	Adjusted daily emission factor for a particular harvested area	Annual CH ₄ emission from Rice Cultivation
		(ha yr ⁻¹)	(day)	kg CH ₄ ha ⁻¹ day ⁻¹	(-)	(-)	(tonnes ha ⁻¹)	(-)	(-)			(-)	(kg CH ₄ ha ⁻¹ day ⁻¹)	Gg CH ₄ yr ⁻¹
				Table 5.11	Table 5.12	Table 5.13		Table 5.14	SF _o =				EF ₁ = EF _o * SF _o * SF _p * SF _u	CH _{4,ecos} = A * t * EF ₁ * 10 ⁶
									(1+ROA + CFOA) ^{0.75}					
		A	t	EF _o	SF _o	SF _p	ROA	CFOA	SF _u			SF _o	EF ₁	CH _{4,ecos}
Irrigated	2024	2162	200	1.3	1	1	2	1	1.912060109	Irrigated	2024	1.02	2.535391701	1.096303371
	Sub-total										Sub-total			
Irrigated	2023	2145	200	1.3	1	1	2	1	1.912060109	Irrigated	2023	1.02	2.535391701	1.08768304
	Sub-total										Sub-total			
Irrigated	2022	2092	200	1.3	1	1	2	1	1.912060109	Irrigated	2022	1.02	2.535391701	1.060807887
	Sub-total										Sub-total			
Irrigated	2021	2162	200	1.3	1	1	2	1	1.912060109	Irrigated	2021	1.02	2.535391701	1.096303371
	Sub-total										Sub-total			

Sector	Waste													
Category	Penimbunan Limbah Padat (solid waste management)													
Category Code	4_DOC (tambahan)													
Sheet	Timbunan limbah padat													
Type of Waste	%	Berat sampah (Gg)	DOC _i	DOC	DOC _f	MCF	DDOC _m (Gg)	F (fraction of CH ₄ by volume, in generated landfill gas	Conversion Ratio (16/12)	CH ₄ Generated	CH ₄ Recovered (R)	Oxidation Factor (Ox)	CH ₄ emitted (Gg)	CO ₂ ekuivalen
	W _i	Berat sampah (ton)/1000												Emissi CH ₄ (Gg) × GWP _{CH₄} → CO ₂ e (Gg) GWP = 27
2024	266,901.57	266.90												
Sisa makanan	57.9	154.54	0.38	0.22	0.5	0.8	17.114121	0.5	1.33333333	11.409414			11.409414	308.0541821
Kertas/Karton/Nappies	8	21.35	0.44	0.04	0.5	0.8	2.3646454	0.5	1.33333333	1.5764303			1.5764303	42.56361756
Kayu Ranting Daun	3.8	10.14	0.5	0.02	0.5	0.8	1.1232066	0.5	1.33333333	0.7488044			0.7488044	20.21771834
Tekstil	0.53	1.41	0.3	0.00	0.5	0.8	0.1566578	0.5	1.33333333	0.1044385			0.1044385	2.819839663
Karet & kulit	0.27	0.72	0.39	0.00	0.5	0.8	0.0798068	0.5	1.33333333	0.0532045			0.0532045	1.436522093
Plastik	16.45	43.91												
Logam	0.99	2.64												
Kaca	1.78	4.75												
Lainnya	10.28	27.44												
Total	100	266.90		0.28									13.892292	375.0918797
2023	284,095.41	284.10												
Sisa makanan	54.4	154.55	0.38	0.21	0.5	0.8	17.115438	0.5	1.33333333	11.410292			11.410292	308.0778918
Kertas/Karton/Nappies	4.47	12.70	0.44	0.02	0.5	0.8	1.4063605	0.5	1.33333333	0.9375736			0.9375736	25.31448853
Kayu Ranting Daun	13.6	38.64	0.5	0.07	0.5	0.8	4.2788596	0.5	1.33333333	2.8525731			2.8525731	77.01947294
Tekstil	0.52	1.48	0.3	0.00	0.5	0.8	0.1636035	0.5	1.33333333	0.109069			0.109069	2.944862201
Karet & kulit	0.21	0.60	0.39	0.00	0.5	0.8	0.0660706	0.5	1.33333333	0.0440471			0.0440471	1.189271273
Plastik	13.66	38.81												
Logam	0.98	2.78												
Kaca	1.78	5.06												
Lainnya	10.38	29.49												
Total	100	284.10		0.30									15.353555	414.5459867
2022	279,148.37	279.15												
Sisa makanan	54.39	151.83	0.38	0.21	0.5	0.8	16.814311	0.5	1.33333333	11.20954			11.20954	302.6575917
Kertas/Karton/Nappies	4.47	12.48	0.44	0.02	0.5	0.8	1.3818711	0.5	1.33333333	0.9212474			0.9212474	24.87367963
Kayu Ranting Daun	13.6	37.96	0.5	0.07	0.5	0.8	4.2043505	0.5	1.33333333	2.8029303			2.8029303	75.67830938
Tekstil	0.52													

80

Sector		Waste					
Category		Biological Treatment of Solid Waste					
Category Code		4B					
Sheet		1 of 1 Estimation of N ₂ O emissions from Biological Treatment of Solid Waste					
Biological Treatment System	Waste Category /Types of Waste ¹			A	B	C	C
		Berat sampah (ton)/1000	Persentase sampah yang dibuat kompos	Total Annual amount treated by biological treatment facilities ³	Emission Factor	Net Annual Nitrous Oxide Emissions	CO ₂ ekuivalen
		(Gg)	(%)	(Gg)	(g N ₂ O/kg waste treated)	(Gg N ₂ O)	(Gg)
						E = (A x B) x10 ⁻³	Emisi N ₂ O (Gg) × GWP _{N₂O} (Gg) → CO ₂ e (Gg); GWP = 273
Composting							
2024	Limbah padat	266.90	1.59	424.37	0.3	0.6748	184.2078
2023	Limbah padat	284.10	1.49	423.30	0.3	0.6307	172.1866
2022	Limbah padat	279.15	1.52	424.31	0.3	0.6449	176.0698
2021	Limbah padat	247.39	1.64	405.72	0.3	0.6654	181.6480

