



**DINAS LINGKUNGAN HIDUP
KOTA MAGELANG**

LAPORAN AKHIR

INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG



2025

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan karunia-Nya Laporan Akhir Inventarisasi Gas Rumah Kaca Kota Magelang ini dapat diselesaikan dengan baik. Laporan ini disusun sebagai bagian dari upaya mendukung implementasi Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon, serta sebagai langkah nyata dalam pengendalian emisi gas rumah kaca menuju pembangunan berkelanjutan.

Dokumen ini memuat hasil inventarisasi secara menyeluruh, meliputi pengumpulan data, perhitungan emisi, analisis, hingga rekomendasi kebijakan yang relevan untuk mendukung penurunan emisi gas rumah kaca di Kota Magelang. Dengan adanya laporan akhir ini diharapkan dapat menjadi dasar yang kuat bagi perumusan kebijakan lingkungan di tingkat daerah maupun kontribusi terhadap target nasional pengendalian perubahan iklim.

Tim penyusun menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, kontribusi, dan kerja sama dalam proses penyusunan laporan ini. Semoga laporan akhir ini bermanfaat bagi berbagai pihak, serta menjadi referensi penting dalam memperkuat upaya pengendalian emisi gas rumah kaca dan mewujudkan pembangunan Kota Magelang yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Magelang, November 2025
Kepala Dinas Lingkungan Hidup
Kota Magelang

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR SINGKATAN.....	ix
DAFTAR ISTILAH.....	xi
RINGKASAN EKSEKUTIF	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Tujuan.....	I-3
1.3 Pembentukan Tim Penyelenggaraan Inventarisasi Emisi GRK	I-3
1.4 Proses Persiapan Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca	I-5
BAB II METODOLOGI DAN SUMBER DATA	II-1
2.1 Metodologi	II-1
2.1.1 Prinsip Dasar.....	II-1
2.1.2 Siklus Penyelenggaraan Gas Rumah Kaca (GRK)	II-3
2.1.3 Analisis Ketidakpastian (<i>Uncertainty Analysis</i>)	II-4
2.1.4 Analisis Konsistensi.....	II-6
2.1.5 Analisis Kategori Kunci.....	II-8
2.1.6 Penjaminan dan Pengendalian Mutu dan Verifikasi	II-10
2.1.7 Metodologi Pengumpulan Data	II-12
2.1.8 Metodologi Pengolahan dan Penyajian Data	II-12
2.1.9 Metodologi Perhitungan Emisi Sektoral.....	II-13
2.2 Aplikasi <i>SIGN-SMART</i>	II-30
2.2.1 Sistem Operasional Aplikasi <i>SIGN-SMART</i>	II-32
2.2.2 Cara Input Data Sektor Energi.....	II-35
2.2.3 Proses (Kalkulasi Emisi) Sektor Energi.....	II-37
2.2.4 Output	II-38
2.3 Sumber Data	II-41
2.3.1 Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi.....	II-42

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

2.3.2 Sektor Proses Industri dan Penggunaan Produk	II-44
2.3.3 Sektor AFOLU	II-45
2.3.4 Sektor Pengelolaan Limbah	II-50
BAB III HASIL PERHITUNGAN EMISI GAS RUMAH KACA	III-1
3.1 Tingkat, Status, Kecenderungan Emisi GRK	III-1
3.2 Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi	III-4
3.2.1 Industri Energi	III-7
3.2.2 Industri Manufaktur dan Konstruksi	III-7
3.2.3 Transportasi	III-9
3.2.4 Residential	III-12
3.2.5 Industri Lainnya, Batu Bara, dan Minyak Gas Bumi	III-13
3.3 Sektor IPPU (<i>Industrial Processes and Product Use</i>)	III-14
3.4 Sektor Pertanian	III-15
3.4.1 Fermentasi Enterik	III-18
3.4.2 Fermentasi Emisi CH ₄ Langsung Pengolahan Kotoran Ternak ..	III-18
3.4.3 Emisi N ₂ O Langsung dari Pengolahan Kotoran Ternak	III-19
3.4.4 Pembakaran Biomassa pada Lahan Pertanian (<i>Cropland</i>)	III-20
3.4.5 Pemupukan Urea	III-20
3.4.6 Emisi N ₂ O Langsung dari Tanah yang Dikelola	III-21
3.4.7 Emisi N ₂ O Tidak Langsung dari Tanah yang Dikelola	III-22
3.4.8 Emisi N ₂ O Tidak Langsung dari Pengelolaan Kotoran Ternak ..	III-22
3.4.9 Budidaya Padi Sawah	III-23
3.5 Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya	III-24
3.6 Sektor Pengelolaan Limbah	III-34
3.6.1 Limbah Padat Domestik	III-34
3.6.2 Limbah Cair Domestik	III-37
3.6.3 Limbah Cair Industri	III-38
3.7 Serapan Emisi Gas Rumah Kaca	III-39
3.8 Analisis Ketidakpastian dan Kategori Kunci	III-42
3.8.1 Analisis Ketidakpastian	III-42
3.8.2 Analisis Kategori Kunci	III-44
3.9 Pengendalian dan Penjaminan Mutu	III-46

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

3.9.1 Prosedur Pelaksanaan Pengendalian dan Penjaminan Mutu.....	III-48
BAB IV RENCANA PERBAIKAN INVENTARISASI EMISI GAS RUMAH KACA.....	IV-1
BAB V PENUTUP	V-1
5.1 Kesimpulan.....	V-1
5.2 Rekomendasi	V-3
5.2.1 Jangka Pendek.....	V-6
5.2.2 Jangka Menengah	V-10
5.2.3 Jangka Panjang	V-13
DAFTAR PUSTAKA	xix

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kategori Sumber Emisi Sektor Energi	II-13
Tabel 2.2	Faktor Emisi Pembakaran Bahan Bakar pada Sumber Stasioner ..	II-14
Tabel 2.3	Faktor Emisi Pembakaran Bahan Bakar pada Sumber Bergerak ..	II-15
Tabel 2.4	Kategori Sumber Emisi Sektor IPPU	II-16
Tabel 2.5	Faktor Emisi pada Sektor IPPU	II-17
Tabel 2.6	Kategori Sumber Emisi Sektor Pengelolaan Limbah	II-26
Tabel 2.7	Jumlah Emisi Gas Rumah Kaca Kota Magelang.....	II-41
Tabel 2.8	Data Konsumsi Bahan Bakar Transportasi	II-43
Tabel 2.9	Konsumsi Bahan Bakar Industri Manufaktur dan Konstruksi.....	II-43
Tabel 2.10	Penggunaan Energi untuk Kegiatan Lainnya	II-44
Tabel 2.11	Data Sawah Kota Magelang Tahun 2020-2024	II-46
Tabel 2.12	Data Populasi Hewan Ternak Kota Magelang 2020-2024.....	II-46
Tabel 2.13	Luas Perubahan Lahan Kota Magelang Tahun 2024	II-48
Tabel 2.14	Penggunaan Pupuk Pertanian Padi Kota Magelang 2020-2024	II-49
Tabel 2.15	Luas Panen Hortikultura Tahun 2020-2024.....	II-49
Tabel 2.16	Laju Timbunan Sampah di Kota Magelang 2020-2024.....	II-51
Tabel 2.17	Komposisi dan Bahan Kering Sampah Domestik 2020-2024	II-51
Tabel 2.18	Distribusi Pengelolaan Sampah di Kota Magelang 2025	II-52
Tabel 2.19	Sampah yang belum Terkelola (Pembakaran Sampah).	II-53
Tabel 2.20	Pengelolaan Limbah Cair Domestik di Kota Magelang 2024	II-54
Tabel 2.21	Limbah Cair Industri Kota Magelang 2024.....	II-56
Tabel 3.1	Jumlah Emisi pada Setiap Sektor 2020-2024.....	III-3
Tabel 3.2	Rincian Hasil Emisi Kota Magelang Tahun 2024	III-4
Tabel 3.3	Emisi Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi Tahun 2024	III-6
Tabel 3.4	Konsumsi Bahan Bakar Industri Manufaktur dan Konstruksi.....	III-8
Tabel 3.5	Faktor Emisi Industri Manufaktur dan Konstruksi	III-8
Tabel 3.6	Emisi GRK Industri Manufaktur Kota Magelang 2024	III-9
Tabel 3.7	Faktor Emisi Bahan Bakar untuk Transportasi	III-10
Tabel 3.8	Konsumsi Bahan Bakar Transportasi.....	III-10
Tabel 3.9	Jumlah Kendaraan Bermotor dan Jenis Bahan Bakar yang digunakan Kota Magelang Tahun 2024	III-11

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

Tabel 3.10	Emisi GRK dari Kegiatan Transportasi	III-11
Tabel 3.11	Faktor Emisi Beberapa Jenis Bahan Bakar	III-12
Tabel 3.12	Emisi GRK dari Residential Kota Magelang 2024.....	III-12
Tabel 3.13	Emisi GRK Sektor Pertanian Kota Magelang	III-16
Tabel 3.14	Emisi GRK Kegiatan Fermentasi Enterik Tahun 2024.....	III-18
Tabel 3.15	Emisi GRK Fermentasi Emisi CH ₄ Langsung dari Pengolahan Kotoran Ternak di Kota Magelang 2024.....	III-19
Tabel 3.16	Emisi GRK Fermentasi Emisi N ₂ O Langsung dari Pengolahan Kotoran Ternak di Kota Magelang 2024.....	III-19
Tabel 3.17	Emisi GRK Pembakaran Biomassa pada Lahan Pertanian (Cropland) di Kota Magelang 2024	III-20
Tabel 3.18	Emisi GRK Pemupukan Urea di Kota Magelang 2024	III-21
Tabel 3.19	Emisi N ₂ O Langsung dari Tanah yang Dikelola	III-21
Tabel 3.20	Emisi N ₂ O Tidak Langsung dari Tanah yang Dikelola.....	III-22
Tabel 3.21	Emisi N ₂ O Tidak Langsung dari Pengelolaan Kotoran Ternak ...	III-22
Tabel 3.22	Emisi dari Budidaya Padi Sawah di Kota Magelang 2024.....	III-23
Tabel 3.23	Kelas Tutupan Lahan	III-24
Tabel 3.24	Luasan Tutupan Lahan di Kota Magelang Tahun 2024.....	III-31
Tabel 3.25	Emisi Sektor Kehutanan Tahun 2020-2024	III-32
Tabel 3.26	Kalkulasi Emisi GRK Sektor Kehutanan Tahun 2024.....	III-33
Tabel 3.27	Emisi Sektor Pengelolaan Limbah 2020-2024	III-35
Tabel 3.28	Emisi CH ₄ dari Pembuangan Sampah Kota Magelang 2024.....	III-36
Tabel 3.29	Emisi GRK Limbah Cair Domestik Kota Magelang 2024.....	III-37
Tabel 3.30	Emisi GRK Limbah Cair Industri Kota Magelang 2024	III-38
Tabel 3.31	Faktor Serapan Karbon Tier-1	III-40
Tabel 3.32	Analisis Ketidakpastian Sumber Emisi GRK Sektoral.....	III-43
Tabel 3.33	Prosedur Pengendalian dan Penjaminan Mutu Inventarisasi.....	III-48
Tabel 4.1	Rencana Perbaikan Inventarisasi GRK Kota Magelang.....	IV-2
Tabel 5.1	Hasil Perhitungan Emisi GRK Kota Magelang	V-2
Tabel 5.2	Pelaksana yang bertanggung Jawab.....	V-4

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Administrasi Kota Magelang	I-7
Gambar 2.1	Bagan Pengambilan Keputusan dalam Penentuan Kategori.....	II-9
Gambar 2.2	Tampilan Halaman Utama Aplikasi SIGN-SMART.....	II-31
Gambar 2.3	Tampilan Halaman Dasbor Aplikasi SIGN-SMART	II-32
Gambar 2.4	Sistem Operasional SIGN-SMART	II-32
Gambar 2.5	Tombol Meta data pada Data Sawah	II-34
Gambar 2.6	Contoh Metadata Data Sawah	II-34
Gambar 2.7	Menu Input Data Sektor Energi	II-36
Gambar 2.8	Halaman Penginputan Data Aktivitas di Sektor Energi.....	II-36
Gambar 2.9	Cara Mengisi Data Aktivitas di Sektor Energi.....	II-37
Gambar 2.10	Kalkulasi Emisi pada Menu SIGN-SMART.....	II-37
Gambar 2.11	Kalkulasi Emisi di Sektor Energi.....	II-38
Gambar 2.12	Form Kalkulasi pada Sektor Energi.....	II-38
Gambar 2.13	Halaman Kalkulasi Emisi	II-38
Gambar 2.14	Halaman pada <i>Worksheet</i>	II-39
Gambar 2.15	Halaman pada <i>Common Reporting</i> (CRF).....	II-39
Gambar 2.16	Halaman pada <i>Key Category Analysis</i> (KCA).....	II-40
Gambar 2.17	Halaman pada <i>Uncertainty</i>	II-40
Gambar 2.18	Grafik Emisi Gas Rumah Kaca.....	II-40
Gambar 2.19	Tren Emisi GRK Kota Magelang Tahun 2020-2024	II-42
Gambar 3.1	Tren Emisi Gas Rumah Kaca Magelang.....	III-3
Gambar 3.2	Grafik Emisi Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi.....	III-6
Gambar 3.3	Emisi per Kategori Sektor Pertanian 2020-2024	III-17
Gambar 3.4	Grafik Sektor Kehutanan Kota Magelang 2020-2024	III-32
Gambar 3.5	Emisi Sektor Pengelolaan Limbah.....	III-34
Gambar 3.6	Tahapan Pengendalian dan Penjaminan Mutu	III-47

DAFTAR SINGKATAN

AFOLU	: <i>Agriculture, Forestry, and Other Land Use</i>
BBM	: Bahan Bakar Minyak
BPS	: Badan Pusat Statistik
BOD	: <i>Biologycal Oxygen Demand</i>
C	: <i>Confidential</i>
CL	: <i>Cropland</i> – Lahan Pertanian/Tanaman
CRF	: <i>Conference of the Partied</i>
COP	: <i>Conference of the Parties</i>
DOC	: <i>Degradable Organic Carbon Compound</i>
FL	: <i>Forestland</i> – Lahan Hutan
GL	: <i>Grassland</i> – Padang Rumput/ Padang Penggembalaan
GRK	: Gas Rumah Kaca
GWP	: <i>Global Warming Potential</i>
IE	: <i>Including elsewhere</i>
IPAL	: Instalasi Pengolahan Air Limbah
IPCC	: <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IPPU	: <i>Industrial Processes and Product Use</i>
KCA	: <i>Key Category Analysis</i>
KLHK	: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
MCF	: <i>Methane Correction Factor</i>
MRV	: <i>Measurement, Reporting, Verification</i>
MSW	: <i>Municipal Solid Waste</i>
MPV	: <i>Mean Percentage Variance</i>
NA	: <i>Not Applicable</i>
NDC	: <i>Nationally Determined Contribution</i>
NE	: <i>Not Estimated</i>
NO	: <i>Not Occuring</i>
NPK	: Nitrogen (P), Fosfor (P), dan Kalium (K)
OL	: <i>Otherland</i> – Lahan Lainnya
PDF	: <i>Probability Density Function</i>

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

PDRB	: Produk Domestik Regional Bruto
PFCs	: (<i>Plefour</i> o Carbons) Pemantauan , Evaluasi, dan Pelaporan
QA	: <i>Quality Assurance</i> (Penjaminan Mutu)
QC	: <i>Quality Control</i> (Pengendalian Mutu)
SF ₆	: <i>Sulfur Hexaflouride</i> (Sulfur Heksaflorida)
SIGN-SMART	: Sistem Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Sederhana,Mudah, Akurat, Ringkas, dan Transparan
SIPSN	: Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional
SL	: Settlements – Pemukiman
SNI	: Standar Nasional Indonesia
TACCC	: <i>Transparency, Accuracy, Completeness, Consistency, and Comparability</i>
TPSA	: Tempat Pemrosesan Sampah Akhir
UNFCCC	: <i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
WL	: <i>Wetland</i> - Lahan Basah
ZA	: Zwavelzure Ammoniak/Ammoniak Sulfat

DAFTAR ISTILAH

- **Accuracy (Akurasi)** adalah tingkat kesesuaian antara hasil pengukuran atau estimasi emisi gas rumah kaca dengan nilai sebenarnya. Semakin tinggi akurasi, semakin kecil tingkat kesalahan dalam perhitungan.
- **Anaerobic Digestion (Pencernaan Anaerobik)** merupakan proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi tanpa oksigen, yang menghasilkan biogas berupa metana (CH_4) dan Karbon dioksida (CO_2). Teknologi ini sering digunakan dalam pengolahan limbah organik dan produksi energi terbarukan.
- **Analisis Konsistensi** adalah penilaian terhadap tren perubahan emisi dari waktu ke waktu.
- **BOD (Biological Oxygen Demand)** merupakan parameter yang mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air.
- **C (Confidential)** adalah keterangan yang digunakan ketika data emisi bersifat sensitif atau rahasia terkait dengan industri tertentu yang memiliki implikasi ekonomi atau keamanan.
- **COP (Conference of the Parties)** adalah pertemuan tahunan yang diadakan oleh *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) untuk membahas dan merumuskan kebijakan terkait perubahan iklim termasuk mitigasi emisi GRK, adaptasi, dan pendanaan iklim.
- **CRF (Common Reporting Format)** adalah format standar yang digunakan oleh negara-negara untuk melaporkan inventarisasi emisi gas rumah kaca kepada *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC).
- **Data Aktivitas** adalah besaran kuantitatif kegiatan atau aktivitas manusia yang dapat melepaskan dan/atau menyerap GRK.
- **DOC (Dissolved Organic Carbon)** adalah kandungan karbon organik yang terlarut dalam air, biasanya berasal dari bahan organik seperti sisa tumbuhan atau limbah industri.

- **Emisi GRK** adalah lepasnya GRK ke atmosfer pada suatu area tertentu dalam jangka waktu tertentu.
- **Emisi Fugitif (*Fugitive Emissions*)** adalah adalah emisi yang keluar dari kebocoran atau kegiatan tidak terduga lainnya. Dalam inventarisasi emisi GRK mengacu pada kebocoran pada pengadaan dan penggunaan energi.
- **Faktor Emisi** adalah besaran emisi GRK yang dilepaskan ke atmosfer per satuan aktivitas tertentu.
- **Fermentasi Enterik (*Enteric Fermentation*)** adalah proses fermentasi untuk memecah molekul hidrokarbon menjadi molekul sederhana oleh mikroorganisme yang terjadi dalam tubuh binatang/ternak.
- **Gas Rumah Kaca atau GRK** adalah gas yang terkandung dalam atmosfer, baik alami maupun antropogenik, yang menyerap dan memancarkan kembali radiasi inframerah.
- **GWP (*Global Warming Potential*)** adalah ukuran kemampuan gas rumah kaca untuk memerangkap panas di atmosfer dibandingkan dengan karbon dioksida CO₂ dalam periode tertentu.
- **IE (*Included Elsewhere*)** adalah keterangan yang menunjukkan bahwa emisi sudah dihitung di kategori lain sehingga tidak dilaporkan secara terpisah untuk menghindari perhitungan ganda.
- **Inventarisasi GRK** adalah kegiatan untuk memperoleh data dan informasi mengenai tingkat, status, dan kecenderungan perubahan emisi GRK secara berkala dari berbagai sumber emisi dan penyerapnya.
- **IPAL (*Instalasi Pengolahan Air Limbah*)** adalah sistem yang digunakan untuk mengolah air limbah sebelum dibuang ke lingkungan, yang berperan dalam mengurangi emisi metana (CH₄) dan *dinitrogen oksida* (N₂O) dari limbah organik dan industri.
- **IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*)** adalah panel ilmiah yang didirikan pada tahun 1988 untuk menerbitkan laporan khusus tentang berbagai topik yang relevan dengan implementasi Kerangka Konvensi PBB untuk Perubahan Iklim, *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC).

- **Kategori Kunci** adalah sumber atau rosot yang menjadi prioritas dalam sistem inventarisasi GRK karena sumbangan yang besar terhadap total inventarisasi, baik dari nilai mutlak, tren dan tingkat ketidakpastiannya.
- **Ketidakpastian (*Uncertainty*)** adalah nilai bias dari angka yang sebenarnya. Ketidakpastian timbul dari penyimpangan data maupun faktor emisi.
- ***Land Disposal (Pembuangan ke Lahan)*** adalah metode pembuangan limbah padat atau cair ke tanah, termasuk di *landfill* (Tempat Pemrosesan Akhir). Proses ini dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca seperti metana (CH_4) dan dinitrogen oksida (N_2O)
- ***Level Assessment (Penilaian Tingkat Emisi)*** adalah evaluasi terhadap tingkat total emisi gas rumah kaca dalam suatu sistem, wilayah, atau sektor ekonomi tertentu berdasarkan data yang dikumpulkan.
- **Metode Eksplorasi** adalah pendekatan untuk memahami pola emisi GRK tanpa menggunakan asumsi atau model tertentu, biasanya dilakukan melalui analisis data dan observasi langsung sebelum membuat model prediksi.
- **Metode Ekstrapolasi** adalah metode untuk memperkirakan emisi GRK di luar rentang data yang tersedia, biasanya digunakan untuk memprediksi tren di masa depan berdasarkan data historis.
- **Metode Interpolasi** adalah metode perhitungan yang digunakan untuk memperkirakan nilai emisi GRK di antara dua titik data yang diketahui dalam suatu rentang waktu atau lokasi.
- **Metode *Overlap*** adalah teknik analisis yang digunakan untuk memeriksa kesamaan atau perbedaan antara dua atau lebih kumpulan data emisi GRK dengan melihat area tumpang tindihnya.
- **Metode *Surrogate*** adalah teknik estimasi emisi GRK dengan menggunakan data dari variabel lain yang memiliki hubungan erat dengan sumber emisi tetapi lebih mudah diukur.
- **Mitigasi** adalah suatu strategi atau program untuk mengurangi dampak.
- **MPV (*Most Probable Value*)** sering digunakan untuk memperkirakan jumlah emisi atau konsentrasi gas rumah kaca yang paling mungkin terjadi dalam suatu ekosistem berdasarkan data statistik.

- **NA (*Not Applicable*)** adalah keterangan digunakan ketika kategori sumber emisi gas rumah kaca tidak relevan atau tidak berlaku dalam konteks pelaporan suatu negara.
- **NDC (*Nationally Determined Contribution*)** adalah kontribusi yang ditetapkan secara nasional oleh masing-masing negara dalam upaya mengurangi emisi gas rumah kaca dan beradaptasi terhadap perubahan iklim sebagaimana diamanatkan dalam Perjanjian Paris 2015.
- **NE (*Not Estimated*)** adalah keterangan yang digunakan ketika emisi diperkirakan terjadi tetapi tidak dihitung karena alasan tertentu, misalnya keterbatasan data atau metodologi.
- **NO (*Not Occuring*)** adalah keterangan yang menunjukkan bahwa aktivitas yang menghasilkan emisi gas rumah kaca tidak terjadi di wilayah yang dilaporkan
- **Pengendalian Mutu** adalah suatu sistem pelaksanaan kegiatan rutin yang ditujukan untuk menilai dan memelihara kualitas dari data dan informasi yang dikumpulkan dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK.
- **Penjaminan Mutu** adalah suatu sistem yang dikembangkan untuk melakukan kajian yang dilaksanakan oleh seseorang yang secara langsung tidak terlibat dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK.
- **Perubahan Iklim** adalah semua perubahan dalam iklim dalam suatu kurun waktu, apakah karena perubahan alamiah atau sebagai akibat aktivitas manusia, sehingga menyebabkan perubahan komposisi atmosfer secara global dan perubahan variabilitas iklim alamiah yang teramati pada kurun waktu yang dapat dibandingkan.
- **Precision (*Presisi*)** adalah tingkat konsistensi atau pengulangan hasil pengukuran emisi gas rumah kaca dalam kondisi yang sama. Presisi tinggi berarti hasil pengukuran yang berulang memberikan nilai yang hampir sama, meskipun belum tentu akurat.
- **QA (*Quality Assurance*)** adalah pencegahan kesalahan dalam pengukuran dan pelaporan emisi gas rumah kaca dengan memastikan metode yang digunakan sesuai standar limbah dan peraturan yang berlaku.

- **QC (*Quality Control*)** adalah proses pemeriksaan dan perbaikan data untuk memastikan bahwa laporan inventarisasi gas rumah kaca memiliki akurasi yang tinggi dengan memverifikasi hasil pengukuran dan perhitungan.
- **Rosot (*Sink*)** adalah suatu proses atau sistem yang mengurangi atau menyerap gas rumah kaca yang terdapat di atmosfer, dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti pembuangan gas CO₂ melalui proses fotosintesis oleh tumbuhan.
- **Sektor** adalah bidang kegiatan di mana emisi GRK terjadi, tidak merujuk pada pengertian administrasi/instansi yang secara umum membina/mengatur kegiatan.
- **Sistem Inventarisasi GRK Nasional atau SIGN** adalah sistem penyediaan data dan informasi terkait tingkat, status, kecenderungan, dan proyeksi GRK.
- **Status Emisi** adalah kondisi emisi GRK dalam satu kurun waktu tertentu yang dapat diperbandingkan berdasarkan hasil penghitungan GRK dengan menggunakan metode dan faktor emisi/serapan yang konsisten sehingga dapat menunjukkan tren perubahan tingkat emisi dari tahun ke tahun.
- **Sub Sektor** adalah sub bidang kegiatan di mana emisi GRK terjadi, tidak merujuk pada pengertian administrasi/instansi yang secara umum membina/mengatur kegiatan. Analisis Ketidakpastian adalah penilaian seberapa besar kesalahan hasil dugaan emisi/serapan (tingkat *Uncertainty*).
- **TACCC (*Transparency, Accuracy, Completeness, Comparability, Consistency*)** adalah merupakan prinsip yang digunakan dalam pelaporan inventarisasi gas rumah kaca untuk memastikan bahwa data yang dilaporkan oleh negara-negara bersifat dapat diverifikasi dan dapat dibandingkan secara internasional.
- **Tingkat Emisi** adalah besarnya emisi GRK tahunan.
- **Tingkat Ketelitian (*Tier*)** dibagi menjadi tiga yaitu *tier 1*, *tier 2* dan *tier 3*. *Tier 1* merupakan estimasi berdasarkan data aktivitas dan faktor emisi *default IPCC*, *tier 2* merupakan estimasi berdasarkan data aktivitas yang lebih akurat dan faktor emisi *default IPCC* atau faktor emisi spesifik suatu negara atau suatu pabrik, *tier 3* merupakan estimasi berdasarkan metode

spesifik suatu negara dengan data aktivitas yang lebih akurat (pengukuran langsung) dan faktor emisi spesifik suatu negara atau suatu pabrik.

- **Tempat Pemrosesan Sampah Akhir (TPSA)** adalah lokasi khusus untuk pembuangan dan pengelolaan sampah dalam skala besar. TPSA menjadi salah satu sumber emisi gas rumah kaca terutama gas metana (CH₄) yang dihasilkan dari proses dekomposisi sampah organik secara anaerobik.
- ***Tren Assessment (Penilaian Tren Emisi)*** adalah analisis yang dilakukan untuk melihat pola perubahan emisi GRK dari waktu ke waktu, sehingga dapat digunakan untuk membuat prediksi atau mengukur efektivitas kebijakan pengurangan emisi.
- **UNFCCC (*United Nation Framework Convention of Climate Change*)** adalah suatu kesepakatan internasional yang diberlakukan pada tahun 1994 bertujuan untuk menstabilkan konsentrasi gas rumah kaca pada tingkat yang dapat mencegah bahaya terhadap perubahan sistem iklim yang diakibatkan oleh aktivitas manusia.
- ***Variability (Variabilitas)*** adalah perubahan atau fluktuasi dalam data emisi gas rumah kaca akibat faktor lingkungan, metode pengukuran, atau perubahan aktivitas manusia yang memengaruhi jumlah emisi.

RINGKASAN EKSEKUTIF

Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Magelang disusun untuk mendukung implementasi *Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021* tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon serta upaya pencapaian target *Nationally Determined Contribution* (NDC) Indonesia. Kegiatan ini bertujuan menyediakan data dan informasi yang akurat mengenai tingkat emisi dan serapan GRK di seluruh sektor, sebagai dasar perencanaan, pelaksanaan, dan evaluasi kebijakan pengendalian perubahan iklim di tingkat daerah. Lingkup inventarisasi meliputi empat sektor utama sesuai pedoman *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, yaitu sektor Energi, sektor Proses Industri dan Penggunaan Produk (IPPU), sektor Pertanian, Kehutanan, dan Penggunaan Lahan Lainnya (AFOLU), serta sektor Limbah. Metodologi perhitungan mengacu pada pedoman IPCC dan Pedoman Inventarisasi GRK Daerah (Permen LHK No. 12 Tahun 2024), dengan menggunakan *activity data* lokal, faktor emisi nasional, serta penyesuaian kondisi spesifik Kota Magelang.

Emisi gas rumah kaca Kota Magelang cenderung mengalami kenaikan hingga tahun 2021. Kemudian mulai mengalami penurunan secara bertahap dari tahun 2022 hingga saat ini. Hasil inventarisasi gas rumah kaca Kota Magelang tahun 2024 mencapai 20.699,62 Gg CO₂eq (20.699.620 Ton CO₂eq) atau mengalami penurunan sebesar 3% dari tahun sebelumnya. Adapun penyumbang emisi terbesar berasal dari sektor energi yaitu sebesar 20.683,96 Gg CO₂eq (20.683.960 Ton CO₂eq). Penurunan emisi yang terjadi tidak terlepas dari perubahan pola konsumsi energi di masyarakat. Rata-rata penggunaan bahan bakar transportasi mengalami penurunan, ditambah dengan adanya peralihan sebagian pengguna ke bahan bakar Dexlite yang dinilai lebih ramah lingkungan dibandingkan solar konvensional. Selain itu, konsumsi LPG pada sektor rumah tangga juga menunjukkan tren penurunan, sehingga turut memberikan kontribusi dalam menekan total emisi gas rumah kaca di Kota Magelang.

Data hasil inventarisasi ini menjadi acuan penting bagi Pemerintah Kota Magelang dalam merumuskan strategi penurunan emisi yang efektif, seperti pengembangan transportasi rendah emisi, peningkatan efisiensi energi, optimalisasi

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

pengelolaan limbah, dan penguatan pertanian perkotaan yang berkelanjutan. Hasil inventarisasi ini juga akan diintegrasikan ke dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) dan Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAD GRK) Kota Magelang melalui dukungan lintas sektor dan kolaborasi seluruh pemangku kepentingan, upaya ini diharapkan dapat menurunkan emisi GRK sekaligus meningkatkan kualitas lingkungan hidup dan ketahanan iklim di Kota Magelang.

**BAB I
PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang

Gas rumah kaca adalah gas meliputi karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dinitrogen oksida (N₂O) dan klorofluorokarbon (CFC) yang memiliki peranan penting dalam menjaga suhu bumi agar tetap hangat.¹ Akan tetapi konsentrasi gas rumah kaca yang semakin meningkat menyebabkan pemanasan global dengan dampak seperti perubahan iklim ekstrem, kenaikan permukaan laut, dan gangguan ekosistem.²

Berdasarkan model iklim yang dirujuk oleh IPCC, suhu permukaan bumi diperkirakan akan mencapai 1,1 – 6,4 derajat celcius dalam rentang waktu 1990 hingga 2100. IPCC juga telah melakukan simulasi yang menunjukkan bahwa efek rumah kaca dapat menaikkan suhu rata-rata sebesar 1 hingga 5 derajat celcius. Peningkatan suhu global akan memicu perubahan signifikan pada kondisi lingkungan bumi terutama mengganggu pola cuaca dan iklim. Untuk mengurangi dampak negatif dari efek gas rumah kaca, negara-negara di seluruh dunia telah meratifikasi Perjanjian Paris untuk berkomitmen membatasi kenaikan suhu hingga di bawah 2 derajat celcius.³

Menurut data dari *International Energy Agency* tahun 2023, negara Indonesia terus mengalami peningkatan emisi karbondioksida setiap tahunnya.⁴ Indonesia juga menempati urutan kelima di Asia Tenggara dalam hal konsumsi energi per Orang.⁵ Saat ini Indonesia masih menggunakan bahan bakar fosil yang memiliki dampak serius terhadap lingkungan seperti

¹ Irma, M. F., & Gusmira, E. (2024). Tingginya kenaikan suhu akibat peningkatan emisi gas rumah kaca di Indonesia. *JSSIT: Jurnal Sains dan Sains Terapan*, 2(1).

² T. Patrianti, A. Shabana, and R. W. Tuti, "Government Risk Communication on Greenhouse Emission Reduction to Tackle Climate Change".

³ Chelu M, Chesler P, Hornoiu C, Anastasescu M, Calderon-Moreno JM, Mitrea D, Brasoveanu C, Moldovan C, Gartner M. Chemiresistor dengan Film Sensitif Berstruktur Nano In₂O₃ yang Digunakan untuk Deteksi Ozon pada Suhu Kamar. Gel. 23 April 2023

⁴ Nicola, M., Zaid, A., Sohrabi, C., Kerwan, A., Al-Jabir, A., Iosifidis, C., Agha, M., & Agha, R. (2020). The Socio-Economic Implications of the Coronavirus Pandemic (COVID-19): A Review. *International Journal of Surgery*, 78, 185–193.

⁵ Arinaldo, D., & Adiatma, J. C. (2019). Indonesia's Coal Dynamics: Toward A Just Energy Transition. Institute for Essential Services Reform.

batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Dampak negatif ketergantungan pada bahan bakar fosil yaitu meningkatkan emisi gas rumah kaca, polusi udara, dan pemanasan global.⁶

Dalam rangka mendukung hasil inventarisasi data emisi yang sesuai, melalui Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon Untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca Dalam Pembangunan Nasional memberikan amanat kepada seluruh pimpinan Kementerian/Lembaga terkait untuk melakukan inventarisasi GRK sesuai dengan ruang lingkup, tugas, dan tanggung jawabnya. Selain itu juga terdapat Peraturan Menteri LHK No.12 Tahun 2024 yang merupakan pembaharuan dari Peraturan Menteri LHK No.73 Tahun 2017. Peraturan baru ini mempertegas tata cara inventarisasi dengan penekanan pada harmonisasi data lintas sektor, pemanfaatan sistem digital terintegrasi (SIGN SMART), serta mekanisme pelaporan yang lebih rinci untuk mendukung pemantauan pencapaian target *Nationally Determined Contribution* (NDC).

Sementara itu Permen LHK No.73 Tahun 2017 lebih menitikberatkan pada penyusunan inventarisasi di tingkat nasional dengan keterlibatan daerah yang relatif terbatas, sedangkan Permen LHK No.12 Tahun 2024 secara tegas mendorong pemerintah daerah untuk berperan aktif dalam penyediaan data, validasi, serta pelaporan sesuai dengan kewenangannya. Pada Kota Magelang, perubahan regulasi ini berimplikasi pada peningkatan kewajiban dalam penyediaan data emisi yang lebih akurat, terperinci, dan terintegrasi dengan sistem nasional. Hal tersebut menuntut adanya penguatan kapasitas teknis, peningkatan koordinasi antar OPD, serta dukungan sumber daya yang memadai sehingga laporan inventarisasi GRK tidak hanya berfungsi sebagai pemenuhan kewajiban administratif, tetapi juga sebagai landasan penting dalam perumusan kebijakan pembangunan rendah karbon di tingkat daerah.

⁶ Putri, A. R., Gunarto, T., Emalia, Z., & Murwiati, A. (2022). Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi, Pertumbuhan Penduduk, dan Konsumsi Energi terhadap Emisi CO₂ di Indonesia. *Jurnal Multidisiplin Ilmu*, 1(6), 1070–1080. <https://journal.mediapublikasi.id/index.php/bullet>

Penyusunan laporan inventarisasi gas rumah kaca ini akan menjadi salah satu upaya Kota Magelang untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dengan melakukan estimasi perubahan emisi tahunan. Dengan adanya estimasi tersebut, data gas rumah kaca terbaru dapat dijadikan sebagai bahan evaluasi dan acuan untuk pelaksanaan program-program untuk menekan rasio peningkatan GRK Kota Magelang. Pelaksanaan penyusunan laporan inventarisasi gas rumah kaca di Kota Magelang melibatkan unsur dari berbagai pemangku kepentingan dengan mempertimbangkan karakteristik, potensi emisi, serta prioritas rencana pembangunan daerah supaya kualitas dan akurasi data aktivitas terjaga.

1.2 Tujuan

Tujuan adanya perhitungan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Kota Magelang disesuaikan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.12 Tahun 2024, yaitu:

1. Memperoleh data emisi dan serapan Gas Rumah Kaca (GRK) di Kota Magelang.
2. Mengidentifikasi sumber utama emisi dan mengumpulkan data aktivitas yang menghasilkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK).
3. Menganalisis dan memperbarui informasi terkait tingkat, status, serta tren perubahan emisi Gas Rumah Kaca (GRK).
4. Melakukan evaluasi dan Rencana Aksi Daerah (RAD) untuk perbaikan inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) melalui *mitigasi* pengurangan emisi.
5. Menyusun dokumen inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) sebagai bagian dari laporan emisi yang terintegrasi dalam sistem GRK nasional, yakni SIGN-SMART.

1.3 Pembentukan Tim Penyelenggaraan Inventarisasi Emisi GRK

Pada penyelenggaraan Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca perlu adanya keterlibatan dari Lembaga atau Organisasi Perangkat Daerah (OPD) terkait seperti:

1. Dinas Lingkungan Hidup Kota Magelang
2. Dinas Pertanian dan Pangan Kota Magelang

3. Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kota Magelang
4. Dinas Perindustrian, Perdagangan, Koperasi, dan Usaha Mikro Kota Magelang
5. Badan Perencanaan Pembangunan, Riset, dan Inovasi Daerah Kota Magelang
6. Bagian Perekonomian Daerah dan Sumber Daya Alam Sekretariat Kota Magelang

Adapun tantangan dan peluang dalam pengembangan tim Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca yaitu:

1. Tantangan Pengembangan Tim Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca
 - a. Kurangnya pemahaman dan kapasitas SDM yang memadai terkait metodologi inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK), pengelolaan data emisi, serta penggunaan perangkat lunak dalam perhitungan emisi. Dengan demikian, perlu diadakan pelatihan-pelatihan berkelanjutan dan penguatan kompetensi melalui sertifikasi atau *workshop*.
 - b. Data dan akses informasi yang terbatas karena kurangnya sistem pencatatan dan pengarsipan yang terintegrasi juga menjadi penghambat sehingga perlu penguatan sistem manajemen data berbasis digital yang memungkinkan pengumpulan, pengolahan dan pelaporan data secara *real time*.
 - c. Terdapat perbedaan standar perhitungan emisi pada tingkat internasional, nasional, dan regional menjadi suatu tantangan. Sementara itu, peraturan yang terus diperbarui menuntut tim untuk selalu mengikuti regulasi terbaru sehingga perlu membentuk sub-tim yang berfokus pada pengelolaan kepatuhan regulasi serta memastikan tim selalu memperbarui kebijakan dan panduan terbaru.
 - d. Komitmen dan dukungan manajemen juga diperlukan karena tanpa adanya dukungan dari manajemen puncak, pengembangan tim ini sering kali dianggap sebagai beban tambahan tanpa kontribusi yang jelas terhadap keuntungan perusahaan.

- e. Kesadaran tim tentang pentingnya pengelolaan emisi seringkali rendah sehingga partisipasi dalam pengumpulan data atau pelaporan aktivitas emisi kurang optimal.
2. Peluang Pengembangan Tim Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca
 - a. Dapat meningkatkan reputasi dan citra karena instansi yang mampu melaporkan inventarisasi emisi dengan baik dan konsisten dipandang sebagai entitas yang peduli terhadap keberlanjutan (*sustainability*).
 - b. Peluang pendanaan dan insentif pemerintah bagi instansi yang melakukan pengelolaan terhadap Gas Rumah Kaca.
 - c. Peluang kolaborasi dengan pihak eksternal.
 - d. Pengembangan keahlian dan kompetensi.
 - e. Menyelaraskan dokumen Inventarisasi Gas Rumah Kaca dengan kebijakan iklim nasional

1.4 Proses Persiapan Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca

Proses persiapan sebelum menyusun laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca yaitu penyediaan data aktivitas yang akan digunakan untuk menghitung emisi gas rumah kaca. Adapun langkah-langkah dalam proses persiapan dan penyediaan data aktivitas sebagai berikut:

1. Penentuan jenis data aktivitas yang dibutuhkan
2. Pengumpulan dan pengolahan data aktivitas
3. Penentuan metode perhitungan dan penggunaan faktor emisi

1.5 Ruang Lingkup

1.5.1 Ruang Lingkup Wilayah

Kegiatan inventarisasi Gas Rumah Kaca Kota Magelang dibatasi dalam wilayah administrasi Kota Magelang yang terletak pada koordinat 110°12'30" – 110°12'52" Bujur Timur dan 7°26'18" – 7°30'9" Lintang Selatan. Secara geografis Kota Magelang terletak di tengah-tengah Kabupaten Magelang, sehingga Kota Magelang berbatasan langsung dengan Kabupaten Magelang. Di sisi utara Kota Magelang berbatasan dengan Kecamatan Secang, sisi timur berbatasan dengan Kecamatan Tegalrejo, sisi Selatan berbatasan dengan Kecamatan Mertoyudan, dan sisi

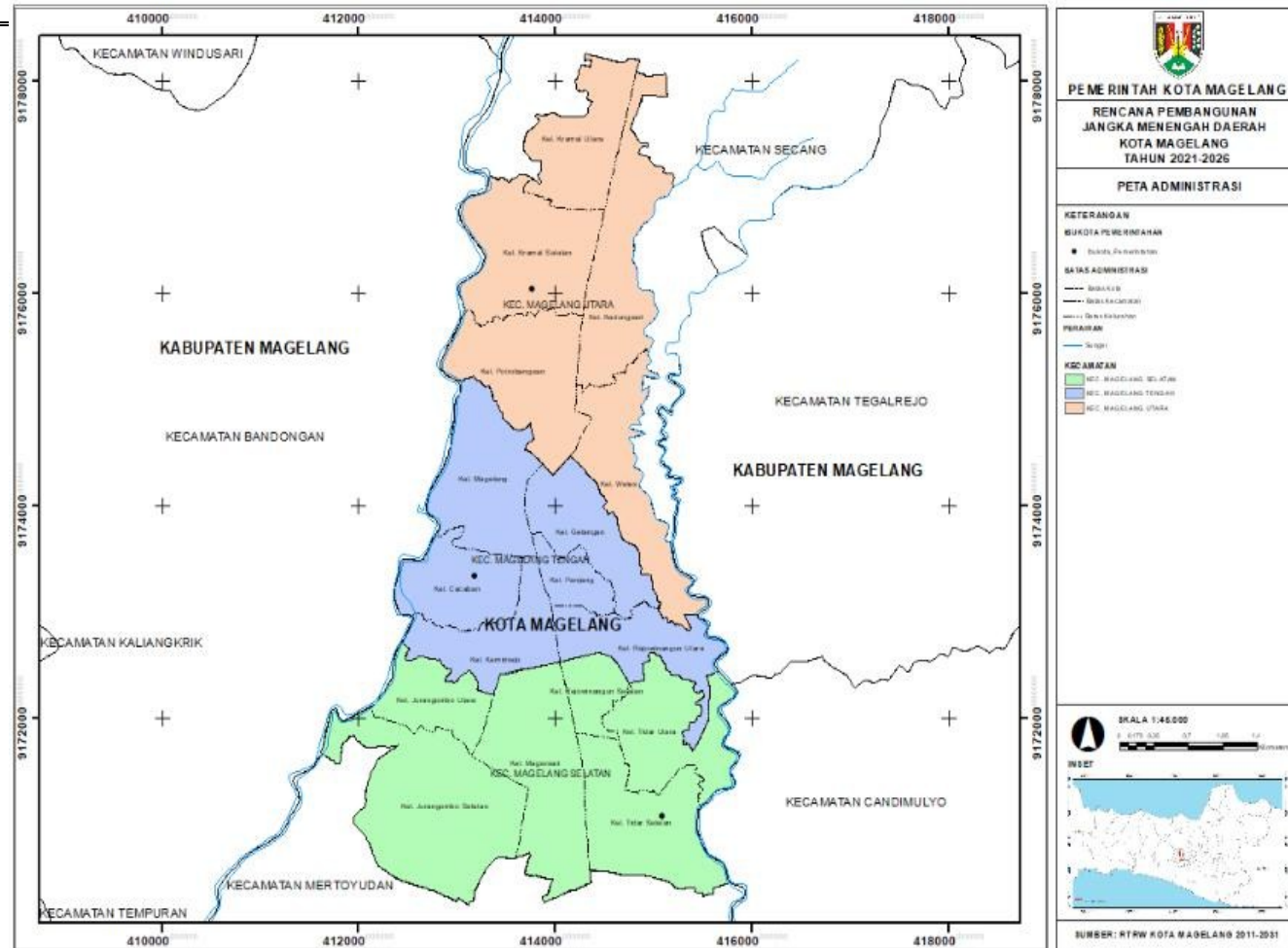
barat berbatasan dengan Kecamatan Bandongan. Secara Administratif luas wilayah Kota Magelang sebesar 18,12 km², terdiri atas 3 kecamatan dan 17 kelurahan. Peta administrasi Kota Magelang dapat dilihat pada Gambar 1.1.

1.5.2 Ruang Lingkup Materi

Ruang lingkup materi aktivitas inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Magelang mengikuti ketentuan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 12 Tahun 2024 tentang Penyelenggaraan Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dalam Penanganan Perubahan Iklim, meliputi:

1. Inventarisasi Gas Rumah Kaca mencakup empat sektor, yaitu:
 - a. Sektor penyediaan dan pemanfaatan energi;
 - b. Sektor proses industri dan penggunaan produk;
 - c. Sektor pertanian, kehutanan, dan penggunaan lahan lainnya; dan
 - d. Sektor pengelolaan limbah.
2. Hasil perhitungan akhir inventarisasi gas rumah kaca menggunakan satuan Gg CO₂eq per tahun.
3. Perencanaan program penurunan emisi Gas Rumah Kaca yang ditargetkan untuk tahun 2025/2026, sesuai dengan kontribusi yang ditetapkan secara nasional (*Nationally Determined Contribution/NDC*).
4. Pembaruan data inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dilakukan melalui aplikasi SIGN-SMART (Sistem Monitoring, Pelaporan, dan Verifikasi Aksi Mitigasi) yang merupakan platform resmi untuk pelaporan dan pemantauan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Indonesia.
5. Kegiatan inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) menggunakan data dari tahun 2024 sebagai dasar perhitungan dan analisis emisi.

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025



Gambar 1. 1 Peta Administrasi Kota Magelang

Sumber: RTRW Kota Magelang, 2011-2031

**BAB II
METODOLOGI DAN SUMBER DATA**

2.1 Metodologi

Metodologi inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) merupakan pendekatan sistematis yang digunakan untuk mengidentifikasi, menghitung, dan melaporkan emisi maupun serapan GRK dari berbagai sektor dalam suatu wilayah atau entitas. Metodologi ini umumnya mengacu pada pedoman internasional seperti IPCC *Guidelines* dan disusun berdasarkan prinsip transparansi, konsistensi, kelengkapan, akurasi, serta komparabilitas. Proses ini mencakup tahapan pengumpulan data, penerapan faktor emisi, perhitungan emisi/serapan, serta pelaporan hasil.

2.1.1 Prinsip Dasar

Untuk mendapatkan hasil Inventarisasi Gas Rumah Kaca yang berkualitas dan siap untuk diverifikasi, terdapat lima prinsip dasar yang harus dipenuhi, yaitu:

(i) Transparansi (*Transparency*)

Seluruh dokumen dan sumber data yang digunakan dalam penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) harus disimpan serta didokumentasikan dengan baik sehingga orang lain yang tidak terlibat dalam penyelenggaraannya dapat memahami bagaimana inventarisasi tersebut disusun. Metodologi, sumber data, faktor emisi, asumsi yang digunakan dalam penyusunan Inventarisasi Gas Rumah Kaca harus dicatat sehingga dapat disampaikan secara transparan.

(ii) Akurasi (*Accuracy*)

Dalam memprediksi emisi atau serapan Gas Rumah Kaca (GRK) diupayakan tidak menghasilkan emisi yang terlalu tinggi (*Over Estimate*) atau terlalu rendah (*Under Estimate*). Maka dari itu segala upaya untuk mengurangi bias perlu dilakukan agar Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) yang dihasilkan merefleksikan emisi yang sesungguhnya dengan tingkat kesalahan yang minim. Segala upaya untuk meningkatkan ketepatan prediksi emisi dan serapan Gas Rumah

Kaca (GRK) juga perlu dicatat dan didokumentasikan dengan baik sehingga tetap memenuhi prinsip transparansi.

(iii) Kelengkapan (*Completeness*)

Prediksi emisi dan serapan dari semua kategori Gas Rumah Kaca (GRK) dilaporkan secara detail dan apabila terdapat hal yang tidak terduga harus disertakan alasannya. Demikian juga apabila terdapat sumber emisi atau rosot yang tidak dihitung atau dikeluarkan dari inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) maka harus diberikan justifikasinya kenapa sumber atau rosot tersebut tidak dimasukkan. Sementara itu, inventarisasi Gas Rumah Kaca harus melaporkan dengan jelas Batasan (*boundary*) yang digunakan untuk menghindari adanya perhitungan ganda (*double counting*) atau adanya emisi yang tidak dilaporkan. Dalam pelaporan inventarisasi Gas Rumah Kaca digunakan beberapa simbol yaitu NA (*Not Applicable*), NO (*Not Occuring*), NE (*Not Estimated*), IE (*Including Elsewhere*), dan C (*Confidential*).

(iv) Konsistensi (*Consistency*)

Perkiraan emisi dan serapan dari sumber atau rosot untuk semua tahun inventarisasi harus menggunakan metode yang sama dengan kategori sumber atau rosot. Sehingga perbedaan emisi antar tahun dapat merefleksikan perubahan emisi dari tahun ke tahun yang tidak disebabkan oleh perubahan metode yang digunakan atau perubahan kategori sumber maupun serapan yang digunakan. Apabila pada tahun tertentu terdapat perubahan yang dilakukan, misalnya terjadi perubahan metodologi atau mengubah faktor emisi *default* IPCC dengan faktor emisi lokal, maka perlu dilakukan perhitungan ulang (*recalculation*) untuk tahun inventarisasi lainnya sehingga kembali menjadi konsisten.

(v) Komparabel (*Comparability*)

Pelaporan inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) harus detail dan lengkap sehingga dapat dibandingkan dengan inventarisasi Gas Rumah Kaca dari daerah lain atau negara lain. Sehingga inventarisasi Gas Rumah Kaca dilaporkan dengan mengikuti format yang telah

disepakati oleh *Conferences of the Parties* (COP) dan semua kategori sumber atau rosot dilaporkan mengikuti Format Pelaporan Umum (*Common Reporting Format* atau CRF) yang telah disepakati.

2.1.2 Siklus Penyelenggaraan Gas Rumah Kaca (GRK)

Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) merupakan proses menyeluruh, berkelanjutan, dan berkesinambungan sebagai upaya perbaikan yang terus menerus sejalan dengan berkembangnya ketersediaan data dan pengetahuan terkait dengan pendugaan emisi dan serapan Gas Rumah Kaca. Memperhatikan siklus pelaksanaan inventarisasi Gas Rumah Kaca sesuai dengan *IPCC Guidelines*, maka secara umum penyelenggaraan inventarisasi GRK mengikuti tahapan sebagai berikut⁷:

1. Melakukan evaluasi terhadap hasil inventarisasi Gas Rumah Kaca tahun sebelumnya sebagai bagian dari proses pengendalian mutu baik dari sisi kualitas data, metodologi, sistem dokumentasi, analisis ketidakpastian hasil, konsistensi hasil dan pelaporannya. Apabila belum ada inventarisasi Gas Rumah Kaca sebelumnya, maka perlu dilakukan analisis awal terkait dengan sumber emisi/rosot utama (*key category*) serta ketersediaan dan kualitas data yang diperlukan untuk pendugaan emisi/serapan.
2. Melakukan analisis kategori kunci, yaitu mengidentifikasi sumber/rosot utama yang diperkirakan memberikan sumbangan yang besar terhadap total emisi atau serapan Gas Rumah Kaca. Analisis ini diperlukan untuk menentukan skala prioritas data apa yang perlu mendapatkan perhatian dalam proses pengumpulannya sehingga dapat menghasilkan inventarisasi Gas Rumah Kaca yang baik.
3. Mengidentifikasi metodologi dan ketersediaan data serta gap termasuk lembaga-lembaga yang dapat menyediakan data yang diperlukan untuk penyelenggaraan inventarisasi Gas Rumah Kaca, menyusun perencanaan terkait dengan mekanisme yang akan dikembangkan untuk penjaminan dan pengendalian mutu data (*quality*

⁷ Kementerian Lingkungan Hidup, Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional: Buku I Pedoman Umum (Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup, 2012)

assurance dan quality control atau QC/QA), mengidentifikasi lembaga yang dapat mereview hasil inventarisasi ke lembaga di tingkat nasional yang berwenang. Penyusunan perencanaan ini sangat penting agar inventarisasi dapat disusun dengan baik dan tepat waktu.

4. Mengumpulkan data aktivitas dan faktor emisi yang dituangkan dalam formulir yang disediakan dan kemudian melakukan perhitungan emisi/serapan Gas Rumah Kaca untuk setiap sektor oleh lembaga yang bertanggungjawab untuk melakukan perhitungan emisi/serapan Gas Rumah Kaca.
5. Melakukan analisis ketidakpastian (*uncertainty*) untuk menilai tingkat akurasi dari emisi dugaan berdasarkan tingkat keakurasian data aktivitas dan faktor emisi yang digunakan serta analisis konsistensi.
6. Melakukan analisis kategori kunci untuk mengetahui sumber/roster utama yang memberikan kontribusi sampai 95% dari total emisi terbesar terhadap total emisi daerah, sektor atau nasional.
7. Melakukan pengecekan ulang terhadap hasil inventarisasi Gas Rumah Kaca secara menyeluruh sebagai bagian dari proses penjaminan mutu (*Quality Assurance*) dan melakukan revisi apabila diperlukan.

2.1.3 Analisis Ketidakpastian (*Uncertainty Analysis*)

Analisis ketidakpastian merupakan analisis untuk menilai sebesar apa kesalahan hasil dugaan emisi/serapan (tingkat *uncertainty*). Di dalam penyelenggaraan inventarisasi sering kali kita tidak bisa penggunaan asumsi karena diperlukan dalam membangkit data atau membuat data yang tidak tersedia dari jenis data lain yang tersedia, menentukan batas wilayah yang dapat diwakili oleh data yang digunakan dalam inventarisasi Gas Rumah Kaca (misalnya satu nilai faktor emisi dianggap dapat mewakili seluruh wilayah dan seluruh kurun waktu inventarisasi), pemilihan metode dan lain-lain.

- (i) Konseptualisasi asumsi;
- (ii) Pemilihan model; dan
- (iii) Input data serta asumsi-asumsinya. Asumsi-asumsi dan metode yang dipilih akan menentukan banyak dan jenis kebutuhan data dan

informasi yang diperlukan. Bisa juga ada interaksi antara asumsi, data, dan metode yang dipilih. Misalnya suatu kategori emisi bisa dipecah menjadi beberapa sub kategori, sehingga diperlukan metodologi yang lebih rinci. Namun karena keterbatasan data, hal tersebut tidak bisa dilakukan sehingga diasumsikan bahwa pendugaan emisinya diwakili oleh satu kategori saja dan bisa diduga dengan menggunakan metode yang lebih sederhana.

Terdapat beberapa istilah lain yang digunakan untuk menyatakan tingkat ketidakpastian (*uncertainty*) dari suatu hasil pengukuran atau perhitungan. Istilah lainnya meliputi akurasi (*Accuracy*), presisi (*Precision*), dan keragaman (*Variability*). Adapun definisi dari keempat istilah tersebut ialah sebagai berikut:

- a) Ketidakpastian (*Uncertainty*) merupakan kurangnya pengetahuan tentang nilai sebenarnya (*true value*) dari suatu variable yang bisa dideskripsikan dalam bentuk sebaran kesepakatan peluang atau *probability density function* (PDF), yaitu mencirikan besar selang kemungkinan nilai dari *variable* tersebut. Sehingga *uncertainty* tergantung pada tingkat pengetahuan dari analisis dan tentu akhirnya akan berujung pada kualitas dan besaran dari nilai serta pengetahuan terkait dari proses dan metode dalam pengukuran dan pengumpulan data.
- b) Akurasi (*Accuracy*) merupakan kesesuaian antara nilai sebenarnya dengan rata-rata hasil observasi yang diperoleh dari pengukuran berulang (*repeated measurement*) dari suatu variabel.
- c) Presisi (*Precision*) merupakan kesesuaian antara rata-rata nilai dari beberapa hasil pengukuran berulang. Presisi yang baik memiliki kesalahan acak yang kecil dan tidak terkait dengan *Accuracy*.
- d) Keragaman (*Variability*) merupakan keberagaman dari suatu *variable* menurut waktu dan ruang atau anggota dari suatu populasi. Keragaman akan meningkat misalnya karena berubahnya rancangan dari suatu sumber emisi ke sumber emisi lainnya, atau kondisi

operasi alat dari waktu ke waktu dari satu alat emisi yang sama.
Keragaman terkait sifat dari sistem atau alam bukan akibat analisis.

2.1.4 Analisis Konsistensi

Analisis konsistensi diperlukan guna untuk menganalisis perubahan emisi dari waktu ke waktu. Naik turunnya emisi dari waktu ke waktu bukan disebabkan karena adanya perubahan metodologi ataupun kesalahan dari data yang digunakan dalam perhitungan emisi, namun disebabkan dari perubahan aktivitas yang dilakukan. Perhitungan ulang untuk semua tahun inventarisasi perlu dilakukan apabila diketahui terdapat ketidakkonsistenan dalam metodologi ataupun seri data yang digunakan. Hal ini bertujuan untuk menjamin bahwa inventarisasi GRK yang dihasilkan konsisten, dapat diperbandingkan antar tahun, transparan, akurat, dan dapat meyakinkan pihak lain bahwa inventarisasi yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik.

Perhitungan ulang inventarisasi GRK perlu dilakukan apabila (i) data yang tersedia sudah berubah, (ii) metode yang digunakan sebelumnya tidak konsisten dengan metode IPCC untuk kategori tertentu, (iii) suatu kategori yang sebelumnya bukan kategori kunci berubah menjadi kategori kunci, (iv) metode sebelumnya tidak cukup untuk merefleksikan kegiatan mitigasi secara transparan, (v) metode inventarisasi GRK yang baru sudah tersedia dan (vi) ada perbaikan kesalahan.

Untuk menjamin konsistensi data, apabila terdapat masalah ketidaktersediaan data pada tahun tertentu atau data yang hilang, maka penyusun inventarisasi GRK perlu mengisi data hilang tersebut. Beberapa teknik yang umum digunakan untuk melengkapi seri data ialah dengan metode (i) *overlap*, (ii) data *surrogate*, (iii) interpolasi, dan (iv) ekstrapolasi tren. Teknik *overlap* adalah teknik yang sering digunakan apabila suatu metode baru diperkenalkan tetapi data yang tersedia untuk menggunakan teknik baru tersebut hanya untuk sebagian tahun inventarisasi saja, tidak untuk semua tahun. Metode *surrogate* adalah teknik untuk menghasilkan data dengan cara memperkirakan nilainya berdasarkan data lain yang memiliki keterkaitan erat. Misalnya, jumlah limbah padat dapat diperkirakan dari populasi ternak, di mana semakin besar jumlah ternak,

semakin banyak pula limbah yang dihasilkan. Sementara itu, metode interpolasi adalah teknik untuk memperkirakan data yang berada di luar rangkaian data yang tersedia (bisa mundur untuk mendapatkan emisi tahun dasar atau maju untuk mendapatkan emisi terkini).

Apabila tidak ada satupun dari metode baku ini dapat digunakan dalam mengisi data hilang, maka dapat dikembangkan Teknik-teknik lain yang sesuai.

1. Metode *Overlap*. Rumus yang digunakan untuk mengisi data hilang dengan metode *overlap* ialah sebagai berikut:

$$y_0 = x_0 \cdot \left(\frac{1}{(n - m + 1)} \cdot \sum_{i=m}^n \frac{y_i}{x_i} \right)$$

Keterangan :

y_0 = nilai emisi atau serapan dugaan yang dihitung dengan metode *overlap*

x_0 = nilai emisi atau serapan dugaan yang diduga dengan metode sebelumnya

y_i dan x_i = nilai dugaan yang diperoleh dari metode baru dan metode sebelumnya selama periode waktu overlap yaitu tahun ke m sampai ke n

2. Metode *Surrogate*. Rumus yang digunakan untuk mengisi data hilang dengan metode *surrogate* ialah sebagai berikut:

$$y_0 = y_t \times \left(\frac{s_0}{s_t} \right)$$

Keterangan:

y_0 dan y_t = emisi atau serapan dugaan tahun ke-0 dan ke-t

s_0 dan s_t = parameter statistik *surrogate* tahun ke-0 dan tahun ke-t

Meskipun hubungan antara emisi atau serapan dan parameter *surrogate* bisa digunakan dengan menggunakan data satu tahun, tetapi sebaiknya dengan menggunakan data banyak tahun untuk menghasilkan dugaan yang lebih akurat.

3. Metode Interpolasi. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa emisi antara dua seri data tidak ada mengalami perubahan drastis atau laju pertumbuhan emisi tetap tidak mengalami perubahan.

4. Metode eksplorasi tren. Dalam metode ini emisi diasumsikan ke depan mengikuti tren data historis atau diasumsikan tidak ada perubahan tren.

2.1.5 Analisis Kategori Kunci

Kategori Kunci (KC) merupakan sumber yang menjadi prioritas dalam sistem inventarisasi baik dari nilai mutlak, tren dan Tingkat ketidakpastiannya. Analisis kategori kunci ini diperlukan untuk:

1. Membantu mengidentifikasi sumber atau rosot yang perlu mendapat prioritas dalam pelaksanaan program perbaikan kualitas data aktivitas maupun faktor emisi. Upaya perbaikan difokuskan pada sumber atau rosot yang sudah diidentifikasi sebagai kategori kunci.
2. Membantu untuk mengidentifikasi sumber atau rosot yang dalam perhitungan emisi atau serapan perlu menggunakan metode dengan tingkat ketelitian (tier) yang lebih tinggi.
3. Membantu mengidentifikasi sumber atau rosot mana yang perlu mendapatkan perhatian utama terkait dengan upaya pembuatan sistem penjamin dan pengendalian mutu data (QC).

Ada dua pendekatan untuk melakukan analisis kategori kunci. Kedua pendekatan mengidentifikasi kategori kunci berdasarkan kontribusinya terhadap tingkat emisi/serapan.

1. Pendekatan Pertama

Pendekatan pertama digunakan untuk menentukan kategori kunci dari hasil inventarisasi GRK satu tahun atau lebih dari satu tahun. Apabila inventarisasi GRK hanya 1 tahun maka analisis kategori kunci dilakukan berdasarkan penilaian terhadap tingkat emisi (*Level Assessment*) dan apabila lebih dari satu tahun dilakukan berdasarkan penilaian terhadap tren emisi (*Trend Assessment*).

Rumus yang digunakan dalam metode *Level Assesment* sebagai berikut:

$$L_{x,t} = |E_{x,t}| / \sum_y |E_{x,t}|$$

Keterangan:

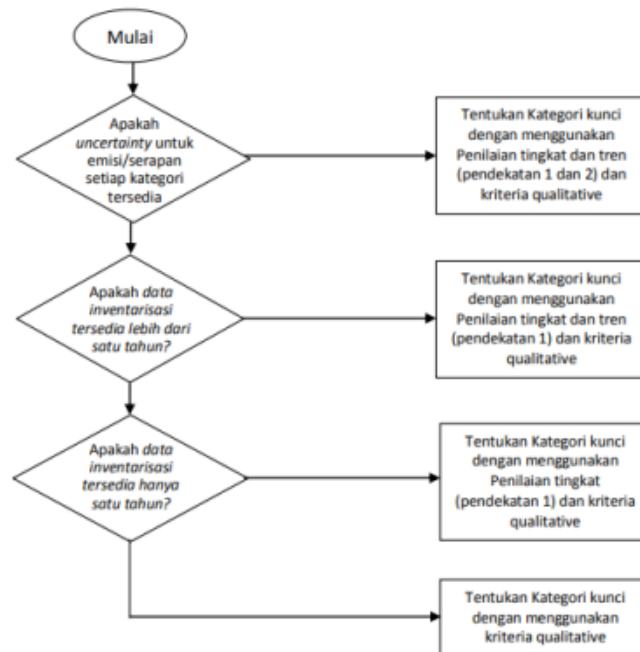
$L_{x,t}$ = Tingkat emisi atau serapan dari sumber atau rosot

ke-x pada tahun inventarisasi ke-t

$|E_{x,t}|$ = Nilai absolut emisi atau serapan dari sumber atau
rosot ke-x untuk tahun ke-t

$\sum_y |E_{x,t}|$ = Jumlah nilai total absolut emisi dan serapan pada
tahun ke-t

Secara garis besar, pengambilan keputusan dalam pemilihan pendekatan yang digunakan untuk menentukan kategori kunci dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 1 Bagan Pengambilan Keputusan dalam Penentuan Kategori

Sumber: IPCC Guideline, 2006

Sementara itu, untuk *Tren Assessment*, rumus yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$T_{x,t} = \frac{|E_{x,0}|}{\sum_y |E_{y,0}|} \times \left| \left[\frac{(E_{x,t} - E_{x,0})}{|E_{x,t}|} \right] - \left[\frac{(\sum_y E_{y,t} - \sum_y E_{y,0})}{|\sum_y E_{y,0}|} \right] \right|$$

Keterangan:

$T_{x,t}$ = Penilaian tren sumber dan rosot kategori ke-x
tahun ke-t dibanding tahun ke-0 (tahun dasar)

$|E_{x,0}|$ = Nilai absolut emisi atau resapan dari sumber atau
rosot kategori ke-x tahun ke-0

$E_{x,t}$ dan $E_{x,0}$ = Nilai estimasi emisi atau serapan dari sumber atau
rosot kategori ke-x tahun ke-t dan tahun ke-0

$\sum_y E_{y,t}$ dan $\sum_y E_{y,0}$ = Total dugaan emisi tahun ke-t dan tahun ke-0

2. Pendekatan Kedua

Pendekatan ini digunakan untuk menentukan kategori kunci dari hasil inventarisasi GRK yang informasi *uncertainly* tersedia, maka rumus untuk *level assessment* dan *tren assessment* di atas dimodifikasi menjadi bentuk berikut:

Level Assessment:

$$LU_{x,t} = (L_{x,t} \times U_{x,t}) / \sum_u [(L_{y,t} \times U_{y,t})]$$

Tren Assessment:

$$TU_{x,t} = (T_{x,t} \times U_{x,t})$$

2.1.6 Penjaminan dan Pengendalian Mutu (QA/QC) dan Verifikasi

Inventarisasi GRK Nasional perlu dilaksanakan dengan dukungan sistem penjaminan dan pengendalian mutu (*Quality Assurance/Quality Control* atau QA/QC), sesuai ketentuan Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon, guna mencapai target kontribusi yang ditetapkan secara nasional serta mengendalikan emisi gas rumah kaca dalam pembangunan nasional. Kementerian atau Lembaga terkait yang bertugas mengumpulkan data dari pemerintah daerah dan perusahaan swasta perlu segera mengembangkan sistem penjaminan dan pengendalian mutu yang ada saat ini agar sesuai dengan standar yang diharapkan.

1. Pengendalian Mutu

Pengendalian mutu atau *Quality Control (QC)* merupakan sistem pelaksanaan kegiatan rutin yang bertujuan untuk mengevaluasi dan menjaga kualitas data serta informasi yang dikumpulkan dalam pelaksanaan inventarisasi GRK. Pengendalian mutu ini dilakukan oleh

pihak yang bertanggung jawab atas pengumpulan data dan informasi tersebut. Sistem pengendalian mutu umumnya dirancang untuk:

- a. Menyediakan mekanisme pengecekan rutin dan konsisten agar data yang dikumpulkan memiliki integritas benar, dan lengkap.
- b. Mengidentifikasi dan mengatasi kesalahan dan kehilangan data.
- c. Mendokumentasikan dan menyimpan semua data dan informasi untuk Inventarisasi GRK dan mencatat semua aktivitas pengendalian mutu yang dilakukan.

Pengendalian mutu meliputi pengecekan akurasi dalam pengambilan data dan perhitungan, penerapan prosedur standar untuk menghitung atau mengukur emisi dan serapan GRK. Aktivitas QC juga melibatkan tinjauan teknis terhadap kategori sumber atau serapan, data aktivitas, faktor emisi, parameter estimasi, dan metode yang digunakan dalam pelaksanaan inventarisasi GRK.

2. Penjamin Mutu

Penjamin Mutu atau *Quality Assurance* (QA) merupakan sistem untuk melakukan tinjauan oleh pihak yang tidak terlibat langsung dalam pelaksanaan inventarisasi GRK, sehingga sebaiknya tinjauan ini dilakukan oleh pihak ketiga yang independen. Selanjutnya proses tinjauan dilakukan setelah inventarisasi GRK selesai dan telah melalui pengendalian mutu (QC). Kegiatan tinjauan bertujuan untuk memastikan bahwa inventarisasi GRK telah mengikuti prosedur dan standar yang berlaku, menerapkan metode terbaik sesuai perkembangan ilmu pengetahuan terbaru, ketersediaan data, dan didukung oleh program pengendalian mutu (QC) yang efektif.

3. Verifikasi

Verifikasi mencakup berbagai kegiatan dan prosedur yang dilakukan pada tahap perencanaan, pelaksanaan, atau setelah inventarisasi GRK selesai, dengan tujuan meningkatkan keandalan hasil inventarisasi. Secara khusus, verifikasi adalah proses pemeriksaan inventarisasi GRK oleh pihak ketiga yang independen, dengan menghitung kembali estimasi emisi dan serapan menggunakan data

terpisah, kemudian membandingkannya dengan estimasi yang dihasilkan pihak lain atau dengan metode alternatif. Proses ini dapat menjadi bagian dari QA atau QC, tergantung pada metode yang digunakan serta tahap penerapan informasi independen tersebut.

2.1.7 Metodologi Pengumpulan Data

Dalam Laporan Inventarisasi Kota Magelang, data yang disajikan Sebagian besar berasal dari Badan Pusat Statistik. Selain itu, didapatkan juga data dari OPD atau Organisasi Perangkat Daerah. Adapun langkah - langkah pengumpulan data adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi sumber-sumber penghasil emisi di Kota Magelang berdasarkan kategori yang telah ditetapkan di Pedoman Inventarisasi GRK pada *IPCC Guidelines 2006*.
2. Menyusun daftar data yang diperlukan untuk menghitung besaran emisi perjenis sumber emisi.
3. Melakukan pengumpulan data sekunder.
4. Melakukan cek data dengan sumber yang relevan atau publikasi lainnya.
5. Data yang tersedia dimasukkan ke alat perhitungan (SIGN-SMART).

2.1.8 Metodologi Pengolahan dan Penyajian Data

Pengolahan data inventarisasi GRK dilakukan agar data yang ada dapat dimasukkan sesuai kebutuhan pada alat perhitungan (kalkulator GRK). Jika terjadi perbedaan satuan, seperti volume atau luas area, maka data primer maupun sekunder harus terlebih dahulu dikonversi agar sesuai dengan satuan yang digunakan pada alat perhitungan emisi. Untuk data yang belum tersedia, pengolahan dapat dilakukan dengan memanfaatkan data lain atau membuat proyeksi berdasarkan kecenderungan (*trend*) dari data tahun-tahun sebelumnya (*historical data*).

Penyajian data pada laporan inventarisasi gas rumah kaca Kota Magelang dilakukan sebagai berikut:

1. Data sumber-sumber emisi GRK yang telah diolah disajikan sesuai sektor atau kegiatan penghasil emisi GRK yaitu sektor energi, sektor industri, sektor pertanian dan kehutanan, dan sektor limbah.

2. Data yang disajikan berasal dari data aktivitas penghasil atau penyerap emisi. Data tersebut dapat berupa data konsumsi, produksi, luas area maupun volume atau berat dari aktivitas penghasil atau penyerap emisi pada tiap sektor.
3. Penyajian tabel data dimulai dengan uraian singkat yang menjelaskan relevansi data serta kecenderungan data pada periode/tahun kajian.

2.1.9 Metodologi Perhitungan Emisi Sektoral

2.1.9.1 Metodologi Perhitungan Emisi GRK Sektor Energi

Sektor energi merupakan salah satu komponen penting dalam inventarisasi emisi gas rumah kaca (GRK). Cakupannya mencakup kegiatan penyediaan dan penggunaan energi. Penyediaan energi meliputi:

- (i) eksplorasi dan eksploitasi sumber-sumber energi primer,
- (ii) konversi energi primer menjadi energi sekunder atau energi siap pakai,
- (iii) kegiatan penyaluran dan distribusi energi.

Sedangkan kegiatan penggunaan energi meliputi:

- (i) penggunaan bahan bakar di peralatan stasioner (industri, komersial, dan rumah tangga),
- (ii) peralatan-peralatan yang bergerak (transportasi).

Tabel 2. 1 Kategori Sumber Emisi Sektor Energi

Kode	Kategori	Cakupan Kategori
1	Energi	
1A	Kegiatan Pembakaran Bahan Bakar (<i>Fuel Combustion Activities</i>)	Emisi berasal dari pembakaran/oksidasi bahan bakar secara sengaja dalam suatu alat dengan tujuan menyediakan panas atau kerja mekanik kepada suatu proses. Pembakaran bahan bakar terjadi di berbagai sektor kegiatan di antaranya industri, transportasi, komersial, dan rumah tangga. Penggunaan bahan bakar di industri yang bukan untuk keperluan energi, namun sebagai bahan baku proses atau sebagai produk, tidak termasuk dalam kategori aktivitas energi.
1B	Emisi Fugitive (<i>Fugitive Emission from Fuels</i>)	Emisi GRK yang secara tidak sengaja terlepas pada kegiatan produksi dan penyediaan energi. Emisi <i>fugitive</i> terjadi

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

Kode	Kategori	Cakupan Kategori
		di kegiatan produksi dan penyaluran migas dan batu bara. Pada sistem migas, emisi <i>fugitive</i> terjadi pada pipa-pipa dan peralatan-peralatan pengolahan dan penanganan migas. Di sistem batu bara, emisi <i>fugitive</i> terjadi dari lepasnya <i>steam</i> gas pada saat penambangan dan pengangkutan.
1C	CO ₂ Transportasi dan Penyimpanan	Emisi GRK dari kegiatan pengangkutan dan injeksi CO ₂ pada kegiatan penyimpanan CO ₂ di formasi geologi.

Sumber: Permen LHK No.73 Tahun 2017

Sumber emisi GRK utama dari sektor energi adalah berasal dari pembakaran bahan bakar. misi *fugitive* yang timbul dari kegiatan produksi dan distribusi bahan bakar jumlahnya relatif kecil dibandingkan dengan emisi hasil pembakaran bahan bakar. Adapun kegiatan pengangkutan dan injeksi CO₂ untuk penyimpanan di formasi geologi belum dilakukan di Indonesia, sehingga emisi GRK dari aktivitas tersebut tidak dibahas dalam kajian ini.

1. Pembakaran Bahan Bakar pada Sumber Stasioner

Estimasi emisi GRK dengan *Tier I* dan *Tier II* menggunakan persamaan berikut ini:

Persamaan 1

$$\text{Emisi GRK} = \text{Konsumsi Energi} \times \text{Faktor Emisi}$$

Keterangan :

Emisi GRK = Emisi gas rumah kaca (Gg/ton)

Konsumsi Energi = Konsumsi energi/bahan bakar (TJ/satuan fisik)

Faktor Emisi = Faktor emisi (kg/TJ)

Tabel 2. 2 Faktor Emisi Pembakaran Bahan Bakar pada Sumber Stasioner

Bahan Bakar	Faktor Emisi (kg/TJ)		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Batu Bara	96.100	1	1,5
LPG	63.100	5	0,1

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

Bahan Bakar	Faktor Emisi (kg/TJ)		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Biomassa padat (Kayu bakar/ <i>wood&wood waste</i>)	112.000	30	4

Sumber: IPCC Guideline, 2006

Besarnya emisi GRK bergantung pada jenis dan total konsumsi bahan bakar, emisi GRK yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar pada sumber stasioner adalah CO₂, CH₄, dan N₂O. Banyaknya bahan bakar direpresentasikan sebagai data aktivitas sedangkan jenis bahan bakar direpresentasikan oleh faktor emisi yang dinyatakan dalam satuan emisi per unit energi yang dikonsumsi (kg GRK/TJ) menurut IPCC.

2. Pembakaran Bahan Bakar pada Sumber Bergerak

Pada pembakaran bahan bakar sumber bergerak emisi GRK yang dihasilkan berasal dari emisi kegiatan transportasi, yang meliputi transportasi darat (jalan raya, *off road*, kereta api), transportasi air, dan transportasi udara. Pada perhitungan emisi sektor energi sumber bergerak di Kota Magelang, akan mempertimbangkan sumber pada transportasi darat seperti dari jalan raya dan kereta api. Perhitungan estimasi emisi GRK akan menggunakan persamaan sebagai berikut.

Persamaan 2 Emisi GRK = Konsumsi Energi x Faktor Emisi
--

Keterangan :

Emisi GRK = Emisi gas rumah kaca (Gg/ton)

Konsumsi Energi = Konsumsi energi/bahan bakar (TJ/satuan fisik)

Faktor Emisi = Faktor emisi (kg/TJ)

Tabel 2. 3 Faktor Emisi Pembakaran Bahan Bakar pada Sumber Bergerak

Bahan Bakar	Faktor Emisi (kg/TJ)		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Pertalite	69,3	33	3,2
Pertamax	69,3	33	3,2
Bio Solar	74,1	4	3,9
Dex	74,1	4	3,9

Sumber: IPCC Guidelines, 2006

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

2.1.9.2 Metodologi Perhitungan Emisi GRK Sektor IPPU

Dalam inventarisasi emisi GRK yang tercakup dalam sektor IPPU ini meliputi (i) emisi GRK yang terjadi selama proses/reaksi kimia di industri, (ii) penggunaan gas-gas kategori GRK di dalam produk, dan (iii) penggunaan karbon bahan bakar fosil untuk kegiatan produksi (bukan untuk penyediaan energi).

Tabel 2. 4 Kategori Sumber Emisi Sektor IPPU

Kode	Kategori	Cakupan Kategori
2	Proses Industri dan Penggunaan Produk	
2A	Industri Mineral	Produksi semen, kapur, kaca, proses lain yang menggunakan karbonat, keramik, penggunaan lain soda abu, produksi non-metallurgical, dan lainnya.
2B	Industri Kimia	Produksi ammonia, asam nitrat, asam adipat, <i>caprolactam</i> , <i>gloxal</i> & <i>glyoxylic acid</i> , produksi karbida, titanium dioksida, soda abu, petrokimia/carbon <i>black</i> , <i>fluorochemical</i> , dan lainnya.
2C	Industri Logam	Produksi besi dan baja, <i>ferroalloys</i> , alumunium, magnesium, timbal, seng, dan lainnya.
2D	Non-Energi Produk dari Bahan Bakar dan Penggunaan Pelarut	Penggunaan pelumas, lilin paraffin.
2E	Industri Elektronik	<i>Integrated circuit/emiconductor</i> , TFT, <i>flat panel display</i> , fotovoltai, <i>heat transfer fluid</i> , dan lainnya.
2F	Penggunaan Produk sebagai Bahan Peluruhan Lapisan Ozon	<i>Refrigerant</i> dan AC, <i>foam blowing agent</i> , alat pemadam kebakaran, aerosol, pelarut, dan lainnya.
2G	Pembuatan Produk-produk lainnya dan Penggunaannya	Peralatan listrik, SF6/PFCs, dan penggunaan produk lainnya.
2H	Lainnya	Industri pulp dan kertas, industri makanan dan minuman dan lainnya.

Sumber: Permen LHK No.73 Tahun 2017

Perhitungan tingkat emisi GRK untuk kebutuhan inventarisasi pada dasarnya berbasis pada pendekatan umum dengan persamaan sebagai berikut.

Persamaan 3 Emisi GRK = Data Aktivitas x Faktor Emisi
--

Keterangan :

Emisi GRK = Emisi gas rumah kaca (Gg/ton)

Data Aktivitas = Jumlah/Volume kegiatan yang menghasilkan
emisi (kg)

Faktor Emisi = Faktor emisi (kg/TJ)

Tabel 2. 5 Faktor Emisi pada Sektor IPPU

Jenis Karbonat	Faktor Emisi (kg/TJ)
<i>Calium Oxide</i>	0,4397
<i>Calcium Carbonate</i>	0,4397
<i>Dolomite</i>	0,4773

Sumber: IPCC Guideline, 2006

Data aktivitas adalah besaran kuantitatif untuk kegiatan manusia (antropogenik) yang melepaskan emisi GRK. Besaran kuantitatif pada kegiatan proses industri dan penggunaan produk merupakan besaran terkait jumlah bahan yang diproduksi atau yang dikonsumsi. Sedangkan faktor emisi adalah faktor yang menunjukkan intensitas emisi per unit aktivitas yang bergantung kepada berbagai parameter terkait proses kimia yang terjadi di masing-masing industri.

2.1.9.3 Metodologi Perhitungan Emisi GRK Sektor AFOLU

Emisi GRK dari sektor-sektor Pertanian, Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya (*AFOLU*) dalam suatu ekosistem lahan berasal dari perubahan stok karbon pada *carbon pool* serta dari emisi non-CO₂ yang dihasilkan berbagai sumber, seperti pembakaran biomassa, tanah, *fermentasi enterik* pada ternak, dan pengelolaan kotoran ternak (*manure*). Oleh karena itu, persamaan dasar dapat dimodifikasi dengan menambahkan parameter estimasi lain, seperti perubahan stok karbon (C) pada tampungan karbon di sektor AFOLU atau emisi non-CO₂.

1. Perhitungan Sektor Peternakan

Emisi GRK yang diperhitungkan berasal dari emisi metana dari *fermentasi enterik* ternak, dan emisi metana dan *dinitrogen oksida* yang dihasilkan dari pengelolaan kotoran ternak. Emisi CO₂ dari peternakan tidak diperkirakan karena emisi CO₂ diasumsikan

nol karena CO₂ diserap oleh tanaman melalui fotosintesis dikembalikan ke atmosfer sebagai CO₂ melalui respirasi.

- **Fermentasi Enterik**

Emisi GRK yang diperhitungkan berasal dari emisi metana yang dihasilkan oleh hewan memamah biak (*herbivora*) sebagai hasil samping dari *fermentasi enterik*, suatu proses di mana karbohidrat dipecah menjadi molekul sederhana oleh mikroorganisme untuk diserap ke dalam aliran darah. Selain itu, emisi metana juga dihasilkan dari sistem pengelolaan kotoran ternak di samping gas *dinitrogen oksida* (N₂O).

Persamaan 4

$$N_{(T)} = N_{(X)} \times k_{(T)}$$

Keterangan:

N_(T) = Jumlah ternak dalam *animal unit*

N_(X) = Jumlah ternak (ekor)

k_(T) = Faktor koreksi (sapi pedaging = 0,72; sapi perah = 0,75; kerbau = 0,72)

T = Jenis/kategori ternak

Emisi metana dari fermentasi enteric dihitung dengan persamaan berikut :

Persamaan 5

$$\text{Emisi CH}_4 = N_{(T)} \times EF_{(T)} \times 10^{-6}$$

Keterangan:

Emisi CH₄ = Emisi metana dari fermentasi enterik (Gg/tahun)

N_(T) = Jumlah ternak dalam *animal unit*

EF_(T) = Faktor emisi populasi jenis ternak (kg/*animal unit*)

T = Jenis/kategori ternak

- **Pengelolaan Kotoran Ternak**

Kotoran ternak terdiri dari limbah padat (tinja) dan urin, baik padat maupun cair memiliki potensi untuk mengemisikan gas metana dan *nitro oksida* (N₂O) selama proses penyimpanan,

pengolahan, dan penumpukan/pengendapan. Faktor utama yang mempengaruhi jumlah emisi adalah jumlah kotoran yang dihasilkan dan bagian kotoran yang didekomposisi secara anorganik. Emisi tersebut ditentukan oleh jenis dan pengolahan kotoran ternak.

- **Emisi Metana dari Pengelolaan Kotoran Ternak**

Estimasi emisi metana dari pengelolaan kotoran ternak dilakukan dengan menggunakan persamaan dari IPCC (2006), sebagai berikut:

Persamaan 6 $CH_4 \text{ manure} = \sum_T (EF_T \times N_T) / 10^6$

Sumber : Pedoman Inventarisasi GRK Nasional Buku II Vol.3 – Pertanian, Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya, 2012

Keterangan:

$CH_4 \text{ manure}$	= Emisi metana dari pengelolaan kotoran ternak, Gg $CH_4 \text{ yr}^{-1}$
$EF(T)$	= Faktor emisi untuk populasi jenis ternak tertentu, $kg \text{ CH}_4 \text{ head}^{-1} \text{ yr}^{-1}$
$N(T)$	= Jumlah populasi jenis/kategori ternak tertentu, <i>Animal Unit</i>
T	= Jenis/kategori ternak

Kotoran ternak dapat terbentuk secara langsung (*direct*) dan tidak langsung (*indirect*) pada saat penyimpanan dan pengolahan kotoran sebelum diaplikasikan ke lahan. Emisi langsung N_2O terjadi melalui proses *nitrifikasi* dan *denitrifikasi* nitrogen yang terkandung di dalam kotoran ternak, sedangkan emisi tidak langsung N_2O dihasilkan dari penguapan nitrogen yang umum terjadi dalam bentuk *ammonia* dan NO_x . Jumlah emisi N_2O ditentukan oleh jumlah kandungan nitrogen dan karbon pada kotoran.

• **Emisi N₂O Langsung dari Pengelolaan Kotoran Ternak**

Perhitungan emisi langsung N₂O dari pengelolaan kotoran ternak dilakukan dengan persamaan berikut:

Persamaan 7

$$N_2O_{D(mm)} = [\sum_s [\sum_T (N(T) * Nex(T) * MS_{T,S})] * EF_3(s)] * 44/28$$

Sumber : Pedoman Inventarisasi GRK Nasional Buku II Vol.3 – Pertanian, Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya, 2012

Keterangan:

N ₂ O _{D(mm)}	= Emisi langsung N ₂ O dari pengelolaan kotoran ternak, kgN ₂ O yr-1
N(T)	= Jumlah populasi jenis/kategori ternak tertentu, jumlah ternak
Nex(T)	= Rata-rata tahunan ekskresi N per ekor jenis atau kategori ternak, kg N ternak-1 yr-1
MS _(T,S)	= Fraksi dari total ekskresi nitrogen tahunan dari jenis ternak tertentu yang dikelola pada sistem pengelolaan kotoran ternak.
EF _{3(S)}	= Faktor emisi langsung N ₂ O)- dari sistem pengelolaan kotoran tertentu S, kg N ₂ O)-N/kg N
S	= Sistem pengelolaan kotoran ternak
T	= Jenis/kategori ternak
44/28	= Konversi emisi (N ₂ O)-N)(mm) ke dalam bentuk N ₂ O(mm)

$$Nex(T) = Nrate(T) * TAM / 1000 * 365$$

Nex(T)	= Ekskresi N tahunan untuk jenis ternak T, kg N/ekor/tahun
Nrate (T)	= nilai <i>default</i> laju ekskresi N, kg N/1000 kg berat ternak/ hari
TAM	= berat ternak untuk jenis ternak T, kg/ekor

2. Perhitungan Sektor Pertanian

Emisi GRK dari sektor pertanian diduga dari emisi: (1) metana (CH₄) dari budidaya padi sawah; (2) karbon dioksida (CO₂) karena penambahan bahan kapur pertanian (dolomit) dan pupuk urea; (3) dinitrogen oksida (N₂O) dari tanah, termasuk emisi N₂O tidak langsung dari penambahan N ke tanah karena penguapan/pengendapan dan pencucian; dan (4) non-CO₂ dari biomassa yang dibakar pada aktivitas pertanian.

- **Emisi Metan dari Pengelolaan Padi Sawah**

Dekomposisi bahan organik secara anaerobik pada lahan sawah mengemisikan gas metana ke atmosfer. Jumlah CH₄ yang diemisikan merupakan fungsi dari umur tanaman, rejim air sebelum dan selama periode budidaya, dan penggunaan bahan organik dan anorganik. Selain itu, emisi CH₄ juga dipengaruhi oleh jenis tanah, suhu, dan varietas padi. Perhitungan emisi CH₄ dari pengelolaan padi sawah menggunakan persamaan di bawah ini.

Persamaan 8

$$\text{Emisi CH}_4 \text{ Rice} = \sum_{ijk} (EF_{i,j,k} \times t_{i,j,k} \times A_{i,j,k} \times 10^{-6})$$

Keterangan:

CH₄ Rice = Emisi metana dari budidaya padi sawah
(Gg/Tahun)

EF_{i,j,k} = Faktor emisi untuk kondisi i, j, dan k (kg/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)

i, j, dan k = i: jenis pengairan; j: jenis dan jumlah pengembalian bahan organik tanah; dan k: kondisi lain yang bervariasi

- **Penambahan Kapur pada Tanah Pertanian**

Penambahan kapur pertanian bertujuan untuk mengurangi kemasaman tanah dan meningkatkan pertumbuhan tanaman pada lahan pertanian. Penambahan karbonat ke tanah dalam bentuk kapur, misalnya batu kapur [CaCO_3] atau dolomit [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$], menyebabkan emisi CO_2 karena kapur karbonat larut dan melepaskan (2HCO_3^-), yang selanjutnya menjadi CO_2 dan air (H_2O). Emisi CO_2 dari penambahan kapur karbonat ke dalam tanah dapat diperkirakan dengan persamaan berikut.

Persamaan 9

$$\text{Emisi CO}_2 = (M_{\text{Limestone}} \times EF_{\text{Limestone}}) + (M_{\text{Dolomite}} \times EF_{\text{Dolomite}})$$

Keterangan:

Emisi CO_2 = Emisi karbon dioksida pada penambahan kapur
(ton/tahun)

M = Jumlah atau berat *limestone* (CaCO_3) atau *dolomite* ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) yang diaplikasikan (ton)

EF = Faktor emisi (*default limestone* = 0,12; dan *dolomite* = 0,13)

- **Penggunaan Pupuk Urea**

Penggunaan pupuk urea pada budidaya pertanian menyebabkan lepasnya CO_2 yang diikat selama proses pembuatan pupuk. Urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) diubah menjadi amonium (NH_4^+), ion hidroksil (OH^-), dan bikarbonat (HCO_3^-) dengan adanya air dan *enzim urease*. Mirip dengan reaksi tanah pada penambahan kapur, bikarbonat yang terbentuk selanjutnya berkembang menjadi CO_2 dan air. Kategori sumber ini perlu dimasukkan karena pengambilan (fiksasi) CO_2 dari atmosfer selama pembuatan urea diperhitungkan dalam sektor industri. Emisi CO_2 dari penggunaan pupuk Urea dihitung dengan persamaan berikut.

Persamaan 10

$$\text{Emisi CO}_2 = (M_{\text{Urea}} \times EF_{\text{Urea}})$$

Keterangan:

Emisi CO₂ = Emisi karbon dioksida pada penggunaan urea
(ton/tahun)

M = Jumlah atau berat pupuk urea yang diaplikasikan
(ton)

EF = Faktor emisi (*default* urea = 0,20 atau setara dengan
kandungan karbon pada pupuk urea berdasarkan
berat atom)

- **Pengelolaan Tanah**

Dinitrogen oksida diproduksi secara alami dalam tanah melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Nitrifikasi adalah oksidasi amonium oleh mikroba aerobik menjadi nitrat, dan denitrifikasi adalah reduksi nitrat oleh mikroba anaerob menjadi gas nitrogen (N₂). Dinitrogen oksida ini adalah gas antara dalam urutan reaksi denitrifikasi dan hasil dari reaksi nitrifikasi yang lepas dari sel-sel mikroba ke dalam tanah dan akhirnya ke atmosfer. Salah satu faktor utama yang memengaruhi reaksi ini adalah ketersediaan nitrogen (N) anorganik di dalam tanah. Perkiraan emisi N₂O dilakukan dengan mempertimbangkan penambahan nitrogen ke tanah, seperti melalui pupuk sintetis atau organik, kotoran ternak, sisa tanaman, limbah lumpur, atau melalui proses mineralisasi nitrogen pada bahan organik tanah akibat drainase/pengelolaan tanah organik, serta kegiatan budidaya atau perubahan penggunaan lahan pada tanah mineral (misalnya konversi hutan, padang rumput, atau permukiman menjadi lahan pertanian). Emisi N₂O yang dihasilkan dari penambahan nitrogen antropogenik atau mineralisasi nitrogen dapat terjadi secara langsung, yaitu berasal dari tanah tempat nitrogen ditambahkan atau dilepaskan, maupun secara tidak langsung melalui: (i) volatilisasi NH₃ dan NO_x dari tanah yang dikelola serta pembakaran bahan bakar fosil dan biomassa, yang kemudian bersama produk turunannya (NH₄⁺ dan NO₃⁻) diendapkan kembali ke tanah dan air; serta (ii) pencucian (*leaching*) dan aliran

permukaan (*run-off*) nitrogen, terutama dalam bentuk NO_3^- , dari tanah yang dikelola.

- **Pembakaran Biomassa**

Emisi non- CO_2 dari pembakaran biomassa dibedakan menjadi dua kategori, yaitu pembakaran biomassa di lahan pertanian dan di padang rumput. Pembakaran di lahan pertanian umumnya terkait dengan sisa tanaman, seperti jerami padi atau tebu, yang emisinya tidak diperhitungkan karena karbon yang dilepaskan saat pembakaran diasumsikan akan kembali diserap oleh tanaman pada musim tanam berikutnya. Sementara itu, emisi non- CO_2 dari pembakaran biomassa di padang rumput diperkirakan berasal dari sistem pertanian lahan berpindah, yang banyak dijumpai di luar Pulau Jawa, sehingga dianggap dapat diabaikan. Persamaan yang digunakan untuk memperkirakan emisi dari pembakaran biomassa adalah sebagai berikut.

Persamaan 11

$$L_{\text{fire}} = A \times M_B \times C_t \times G_{\text{ef}} \times 10^{-3}$$

Keterangan:

L_{fire} = Jumlah emisi dari pembakaran (CH_4 , N_2O , CO , dan NO_x) (ton)

A = Luas area yang dibakar (Ha atau m^2)

M_B = Massa bahan yang tersedia untuk pembakaran (ton/Ha)

C_f = Faktor pembakaran

G_{ef} = Faktor emisi bahan kering yang dibakar (g/kg)

3. Perhitungan Sektor Kehutanan

Emisi dan penyerapan CO_2 untuk Sektor AFOLU (*Agricultural, Forestry, and Other Land Use*), berdasarkan perubahan simpanan karbon ekosistem C, diperkirakan untuk setiap kategori penggunaan lahan (termasuk lahan yang kategorinya tetap dengan kategori penggunaan lahan sebelumnya dan lahan dikonversi ke penggunaan lahan lain). Perubahan simpanan karbon dihitung dengan persamaan berikut:

Persamaan 12

$$\Delta C_{AFOLU} = \Delta C_{FL} + \Delta C_{CL} + \Delta C_{GL} + \Delta C_{WL} + \Delta C_{SL} + \Delta C_{OL}$$

Keterangan:

ΔC_{AFOLU} = Perubahan simpanan karbon kehutanan dan penggunaan lain

FL = *Forest land*

CL = *Crop land*

GL = *Grass land*

WL = *Wet land*

SL = *Settlement*

OL = *Other land*

4. Perhitungan Emisi Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

Emisi pada setiap kategori penggunaan lahan diperkirakan berdasarkan perubahan biomassa atau cadangan karbon, baik pada lahan yang tetap berada dalam kategori penggunaan lahan yang sama maupun pada lahan yang mengalami perubahan dari kategori penggunaan lain. Perubahan cadangan karbon untuk setiap transisi penggunaan lahan merupakan hasil penjumlahan perubahan cadangan karbon pada biomassa hidup, biomassa mati, dan bahan organik tanah, sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut.

Persamaan 13

$$\Delta C_{LUI} = \Delta C_{AB} + \Delta C_{BB} + \Delta C_{DW} + \Delta C_{LI} + \Delta C_{SO} + \Delta C_{HWP}$$

Keterangan:

ΔC_{LUI} = Perubahan simpanan karbon untuk suatu strata dari kategori penggunaan lahan

AB = Biomassa di atas permukaan tanah

BB = Biomassa di bawah permukaan tanah

DW = Kayu mati

LI = Serasah

SO = Bahan organik tanah

HWP = Produk kayu yang dipanen

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

Pada saat ini Dinas Pertanian dan Pangan (DISPERPA) sedang dalam proses pengajuan untuk menyusun BPS Baku Sawah sehingga belum bisa memberikan data untuk perhitungan penggunaan lahan terbaru di Kota Magelang.

2.1.9.4 Metodologi Perhitungan Emisi GRK Sektor Pengelolaan Limbah

Emisi gas rumah kaca dari kegiatan pengelolaan limbah meliputi gas metana (CH₄), dinitrogen oksida (N₂O), dan karbon dioksida (CO₂) yang dihasilkan pada kondisi anaerob. Kategori sumber emisi pada sektor pengelolaan limbah dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 6 Kategori Sumber Emisi Sektor Pengelolaan Limbah

Kode	Kategori	Sub Kategori	
4	Pengelolaan Limbah		
4A	Pembuangan Akhir Sampah Padat (<i>Solid Waste Disposal</i>)	4A.1	TPSA yang dikelola atau <i>sanitary landfill (Managed Disposal Site)</i>
		4A.2	Tempat pembuangan sampah padat yang tidak dikelola atau <i>open dumping (Unmanaged Waste Disposal Site)</i>
		4A.3	
4B	Pengolahan Limbah Padat		
4C	Pembakaran Sampah	4C.1	Pembakaran sampah melalui insinerator (<i>Waste Incineration</i>)
		4C.2	Pembakaran sampah secara terbuka (<i>Open Burning</i>)
4D	Pengolahan dan Pembuangan Air Limbah (<i>Wastewater Treatment and Discharge</i>)	4D.1	Pengolahan dan pembuangan air limbah rumah tangga (<i>Domestic Wastewater Treatment and Discharge</i>)
		4D.2	Pengolahan dan pembuangan air limbah industri (<i>Industrial Wastewater Treatment and Discharge</i>)

Sumber: Permen LHK No.73 Tahun 2017

Gas karbon dioksida terutama dari pembakaran limbah padat. Pada pembakaran limbah padat, umumnya digunakan tambahan bahan bakar fosil sebagai sumber energi. Pembakaran bahan bakar fosil selain menghasilkan GRK berupa CO₂ dan N₂O juga menghasilkan gas-gas *precursors* (GRK non-CO₂) seperti CO, CH₄, *non methane volatile organic compounds* (NMVOC). Senyawa-senyawa ini akan teroksidasi menjadi CO₂ dan gas-gas N₂O, NO_x, NH₃, dan SO₂. Komponen GRK non CO₂ berasal dari

pembakaran bahan bakar fosil (gas *precursor*) relatif kecil dibandingkan emisi CO₂ sehingga gas-gas *precursor* tidak diperhitungkan dalam inventarisasi apabila penghitungan tingkat emisi GRK menggunakan metode *Tier-1*.

1. Pengolahan Limbah Padat di TPSA

Emisi GRK dari timbunan sampah kota (*municipal solid waste* / MSW) di tempat pembuangan akhir (*solid waste disposal site* / SWDS) umumnya dihasilkan melalui proses penguraian anaerobik senyawa karbon organik yang dapat terurai (*degradable organic carbon* / DOC) di dalam sampah. Pada TPSA yang dikelola, biogas yang dihasilkan dimanfaatkan untuk pembangkitan listrik atau panas (uap), atau dibakar untuk mencegah pelepasan CH₄. Oleh karena itu, besarnya emisi CH₄ dihitung sebagai total CH₄ yang terbentuk dikurangi jumlah CH₄ yang berhasil *direcovery* atau dibakar. Secara umum, pembentukan CH₄ dari timbunan sampah di TPSA dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

Persamaan 14

$$\text{Emisi CH}_4 \text{ pada tahun } T = [\Sigma \text{CH}_4 \text{ terbentuk}_{X,T} - R_T] \times (1 - \text{OX}_T)$$

Keterangan:

- | | |
|--|--|
| T | = Tahun inventarisasi |
| X | = Jenis limbah |
| CH ₄ terbentuk _{X,T} | = Gas CH ₄ yang berbentuk pada tahun T hasil dari dekomposisi jenis limbah (X) yang tersimpan dalam sampah (Gg/tahun) |
| R _T | = CH ₄ yang di <i>recovery</i> untuk dimanfaatkan (Gg/tahun) |
| OX _T | = Faktor oksidasi pada tahun T |

2. Pengolahan Limbah Padat secara Biologi

Sumber emisi GRK dari pengolahan limbah padat secara biologi pada dasarnya mencakup pengomposan, *anaerobic digester*, dan lain-lain. Pengolahan limbah padat secara biologi di Indonesia hanya meliputi pengomposan mengingat pengolahan limbah padat dengan

jalan *anaerobic biodigester* dan pengolahan biologi lainnya belum ada. Perhitungan emisi CH_4 dan N_2O dari sistem pengolahan limbah padat secara biologi dapat menggunakan persamaan berikut.

Persamaan 15

$$\text{Emisi CH}_4 = \sum(M_i \times \text{EF}_i) \times 10^{-3} - R$$

Persamaan 16

$$\text{Emisi N}_2\text{O} = \sum(M_i \times \text{EF}_i) \times 10^{-3}$$

Keterangan:

Emisi CH_4 = Emisi metana pada pengolahan limbah padat secara biologi (Gg/tahun)

Emisi N_2O = Emisi dinitrogen oksida pada pengolahan limbah padat secara biologi (Gg/tahun)

M_i = Massa limbah organik yang diolah dengan pengolahan biologi (i) (Gg)

EF = Faktor emisi pengolahan biologi (i) (g CH_4 atau N_2O /kg)

i = Tipe pengolahan biologi

R = CH_4 yang di *recovery* (Gg/tahun)

3. Pengolahan Limbah Padat secara Pembakaran

Pengolahan limbah padat secara termal dapat dilakukan melalui proses insinerasi dan *open burning* (pembakaran terbuka). Insinerasi adalah proses pembakaran limbah di dalam insinerator yang pengendaliannya mencakup suhu, tahapan pembakaran, dan emisi yang dihasilkan. Hal ini berbeda dengan *open burning* atau pembakaran terbuka, yang dilakukan tanpa pengendalian sehingga menghasilkan emisi yang relatif lebih tinggi dibandingkan insinerasi. Pada kedua metode ini, limbah padat umumnya habis terbakar dengan menyisakan sedikit residu. Tingkat emisi GRK dari pembakaran limbah padat, baik

melalui insinerator maupun pembakaran terbuka, dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

Persamaan 17

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{MSW} \times \sum_j (\text{WF}_j \times \text{dm}_j \times \text{CF}_j \times \text{FCF}_j \times \text{OF}_j) \times \frac{44}{12}$$

Keterangan:

- MSW = Jumlah total limbah padat yang dibakar (ton)
- WF_j = Fraksi tipe limbah dari komponen j dalam MSW
- dm_j = Kandungan zat kering dari komponen j dalam MSW
- CF_j = Fraksi karbon dalam bahan kering dari komponen j dalam MSW
- FCF_j = Fraksi fosil karbon dalam total karbon dari komponen j dalam MSW
- OF_j = Faktor oksidasi
- $\frac{44}{12}$ = Faktor konversi dari C ke CO₂
- j = Komponen dari MSW

4. Pengolahan Limbah Cair

Menurut pedoman KLHK, limbah cair mencakup limbah domestik dan limbah industri yang diolah secara setempat (*uncollected*), dialirkan ke fasilitas pengolahan terpusat (*collected*), atau dibuang tanpa pengolahan melalui saluran pembuangan menuju sungai. Pembuangan limbah cair tanpa pengolahan juga menjadi sumber emisi GRK, khususnya di perairan seperti sungai, danau, dan laut. Dalam proses penyaluran dan pengolahan limbah cair, emisi GRK umumnya berasal dari pengolahan anaerobik di reaktor maupun *lagoon*.

Pengolahan aerobik tidak menghasilkan emisi GRK namun menghasilkan lumpur/*sludge* yang perlu diolah melalui *anaerobic digestion*, *land disposal* maupun insinerasi. Limbah cair yang tidak dikumpulkan namun diolah setempat, seperti laterin dan tangki septik untuk limbah cair domestik dan IPAL limbah cair industri, juga merupakan sumber emisi GRK yang tercakup dalam inventarisasi.

Perhitungan tingkat emisi CH₄ dan N₂O dari pengolahan limbah cair domestik dapat menggunakan formula berikut ini

Persamaan 18

$$\text{Emisi CH}_4 = [\sum_{i,j} (U_i \times T_{ij} \times EF_j)] \times (TOW - S) - R$$

Keterangan:

- U = Fraksi populasi
- T = Derajat pemanfaatan (%)
- EF = Faktor emisi (kg CH₄/kg BOD)
- TOW = Senyawa organik total limbah cair (kg BOD/tahun)
- S = Komponen lumpur yang dipisahkan (kg BOD/tahun)
- R = Jumlah CH₄ yang di *recovery* (Gg/tahun)
- i = Grup pendapatan (perkotaan, pendapatan tinggi perkotaan, dan pendapatan rendah perkotaan)
- j = Tipe saluran atau sistem pengolahan/pembuangan

Persamaan 19

$$\text{Emisi N}_2\text{O} = N_{\text{Effluent}} \times EF_{\text{Effluent}} \times \frac{44}{28}$$

Keterangan:

- N_{Effluent} = Nitrogen dalam pengaliran air limbah yang dilepaskan ke badan air (kg N/tahun)
- EF_{Effluent} = EF untuk emisi N₂O dari pelepasan limbah cair (kg N)
- $\frac{44}{28}$ = Faktor konversi dari N₂O-N ke N₂O

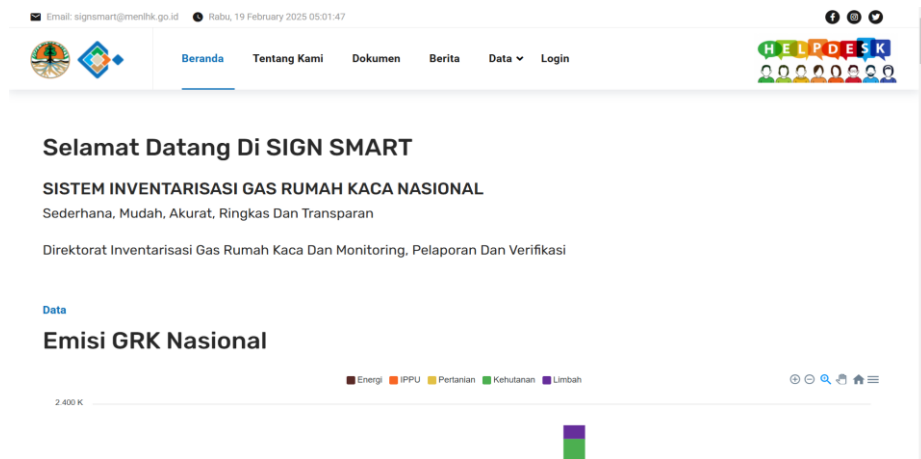
2.2 Aplikasi *SIGN-SMART*

Pemerintah Indonesia telah mengambil langkah strategis dengan menyatakan komitmennya untuk mengurangi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) serta beradaptasi terhadap perubahan iklim melalui *Nationally Determined Contribution (NDC)*. Sebagai upaya mendukung inventarisasi GRK serta proses monitoring, pelaporan, dan verifikasi (MPV) yang memenuhi prinsip *Transparency, Accuracy, Consistency, Completeness*, dan *Comparability (TACCC)*, pemerintah mengembangkan sistem inventarisasi GRK nasional. Sistem ini dikenal sebagai *SIGN-SMART* (Sistem

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional-Sederhana, Mudah, Akurat, Ringkas, dan Transparan), yang bertujuan untuk memantau dan mengevaluasi pencapaian target penurunan emisi GRK.

SIGN-SMART dirancang sebagai alat bantu dalam manajemen inventarisasi GRK dengan memanfaatkan teknologi berbasis web, yang dapat diakses melalui <http://signsmart.menlhk.go.id>. Aplikasi ini menyediakan akses bagi pengguna di tingkat Kabupaten/Kota, Provinsi, dan Nasional, sehingga memungkinkan koordinasi yang lebih efektif dalam pelaporan emisi. Implementasi *SIGN-SMART* sejalan dengan mandat Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon, yang bertujuan untuk mencapai target kontribusi nasional dan pengendalian emisi GRK dalam kerangka pembangunan berkelanjutan.

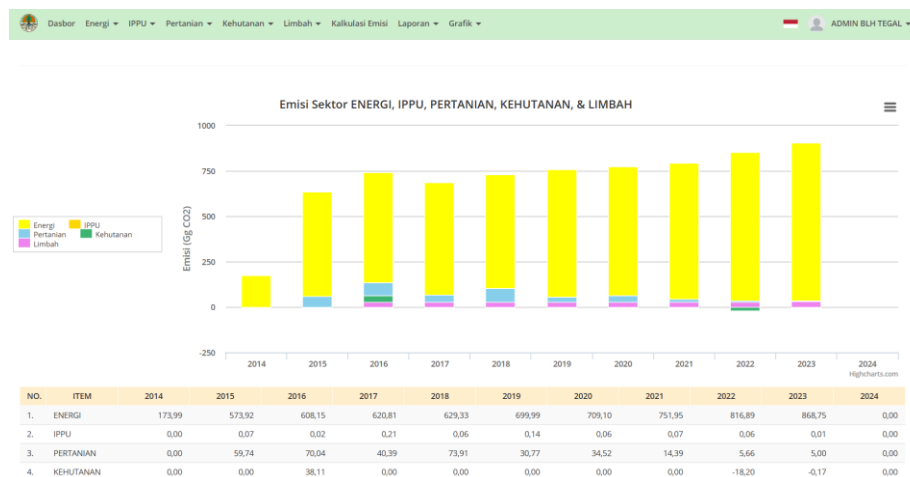


Gambar 2. 2 Tampilan Halaman Utama Aplikasi SIGN-SMART

Sumber: SIGN-SMART KLHK, 2025

Aplikasi *SIGN-SMART* menampilkan data dan informasi terkait status, tingkat, dan kecenderungan penurunan atau peningkatan emisi GRK dari sektor energi, sektor industri dan penggunaan produk, sektor pertanian, kehutanan, dan lahan lainnya, serta sektor pengelolaan limbah dari seluruh wilayah Indonesia. Aplikasi *SIGN-SMART* memiliki 4 tahapan kerja yaitu input data, estimasi awal, *QA/QC* (*Quality Assurance/Quality Control*), dan estimasi emisi GRK. Hasil yang diperoleh dari input data melalui aplikasi *SIGN-SMART* berupa *Worksheet*, *Common Reporting Format (CRF)*, *Key Category Analysis (KCA)*, dan grafik hasil inventarisasi melalui data historis.

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

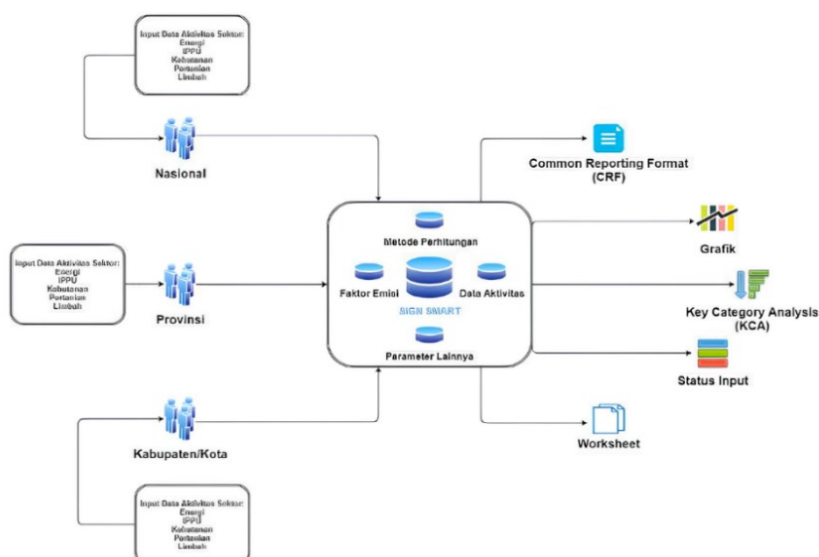


Gambar 2. 3 Tampilan Halaman Dasbor Aplikasi SIGN-SMART

Sumber: SIGN-SMART KLHK, 2025

2.2.1 Sistem Operasional Aplikasi *SIGN-SMART*

Pengoperasian aplikasi *SIGN-SMART* hanya dapat dilakukan oleh pengguna yang telah memiliki *username* dan *password* sehingga pada sistem operasionalnya disesuaikan dengan level pengguna yang meliputi: level Kabupaten/Kota, level Provinsi dan level Nasional. Secara umum sistem operasional aplikasi *SIGN-SMART* meliputi *input* data, proses (kalkulasi emisi), dan *output*. Proses pada *SIGN-SMART* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 4 Sistem Operasional SIGN-SMART

Sumber: Panduan SIGN-SMART, 2019

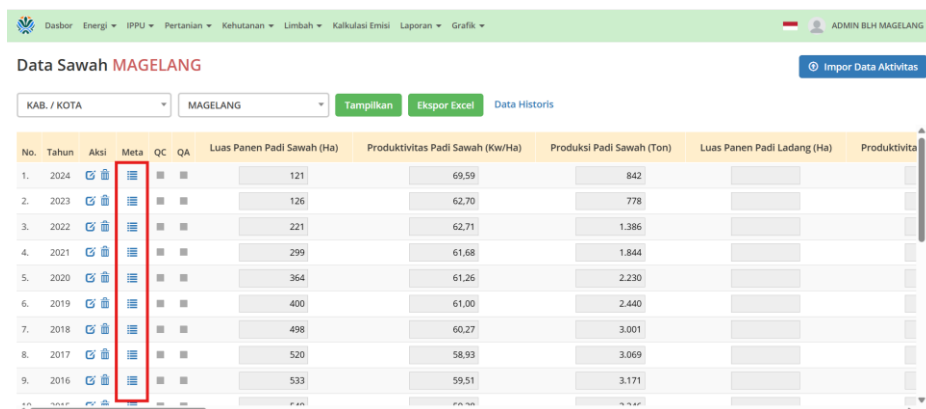
2.2.1.1 Input Data

Penginputan data ke dalam aplikasi *SIGN-SMART* hanya dapat dilakukan oleh pengguna yang ditunjuk oleh instansi penyelenggara inventarisasi GRK sebagai operator dengan jumlah operator dalam setiap level user dapat berjumlah lebih dari satu dan disesuaikan dengan kebutuhan dan kemampuan personel yang ada. Tahapan *input* data ke dalam aplikasi *SIGN-SMART* sebagai berikut:

1. Siapkan data yang akan di *input* ke dalam aplikasi *SIGN-SMART* dengan bentuk *hardcopy* maupun *softcopy/file* dengan sumber yang jelas;
2. Selanjutnya pilih/klik sektor yang akan diinput datanya, lalu akan muncul pilihan jenis data yang akan diinput;
3. Pilih/klik salah satu jenis data yang akan diinput, lalu pilih/klik level (contoh level Kabupaten/Kota), setelah itu pilih nama Kabupaten/Kota (contoh Kota Magelang) kemudian klik tampilkan, akan muncul tabel data-data yang telah diinput sebelumnya;
4. Lalu mulai mengisi data sesuai tahun data yang akan diinput dengan mengklik tanda “pensil” pada kolom “aksi”, kemudian *Crusor* akan aktif pada kolom data yang akan diisi;
5. Kolom “aksi” (di sebelah kanan kolom “Tahun”), merupakan aksi yang dapat dilakukan oleh pengguna terhadap Data Aktivitas.
6. Gambar “Pensil” pada “aksi” digunakan untuk mengubah/mengisi data aktivitas.
7. Gambar “tempat sampah” pada “aksi” digunakan untuk menghapus data aktivitas.
8. Setelah selesai mengisi data pada kolom yang aktif, langkah selanjutnya yaitu klik tanda “centang” pada kolom “aksi”, data akan tersimpan secara otomatis.
9. Gambar “gembok” pada “aksi” menandakan data aktivitas telah dikunci, sehingga tidak dapat diubah maupun dihapus.
10. Setelah data tersimpan selanjutnya perlu diisi meta data khususnya untuk data yang bersifat *numeric* (angka) pada kolom “Meta”, diisi

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

sesuai sumber data, judul dokumen, tahun data atau tahun terbit dokumen. Contoh meta data untuk data sawah sebagai berikut.

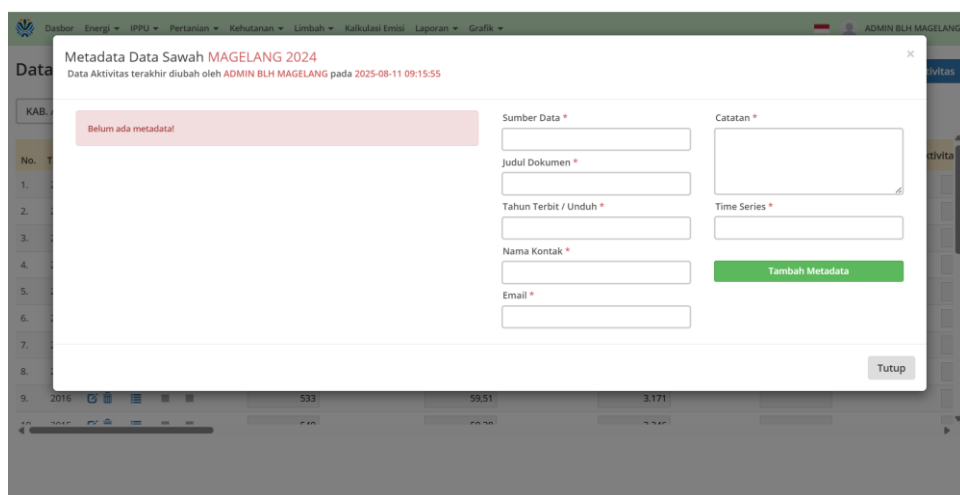


No.	Tahun	Aksi	Meta	QC	QA	Luas Panen Padi Sawah (Ha)	Produktivitas Padi Sawah (Kw/Ha)	Produksi Padi Sawah (Ton)	Luas Panen Padi Ladang (Ha)	Produktivitas
1.	2024					121	69.59	842		
2.	2023					126	62.70	778		
3.	2022					221	62.71	1.386		
4.	2021					299	61.68	1.844		
5.	2020					364	61.26	2.230		
6.	2019					400	61.00	2.440		
7.	2018					498	60.27	3.001		
8.	2017					520	58.93	3.069		
9.	2016					533	59.51	3.171		

Gambar 2. 5 Tombol Meta data pada Data Sawah

Sumber: SIGN-SMART KLHK, 2025

Setelah pilih tombol Meta, akan muncul *pop up* untuk mengisi sumber data. Beberapa data yang harus diinput antara lain; Sumber Data, Judul Dokumen, Tahun Terbit/Unduh, Nama Kontak, Email, Catatan, dan *Time Series*. Jika semua kolom data sudah terisi maka akan muncul pada kolom sebelah kiri.



Metadata Data Sawah **MAGELANG 2024**
Data Aktivitas terakhir diubah oleh ADMIN BLH MAGELANG pada 2025-08-11 09:15:55

Belum ada metadata!

Sumber Data *

Judul Dokumen *

Tahun Terbit / Unduh *

Nama Kontak *

Email *

Catatan *

Time Series *

Tambah Metadata

Tutup

Gambar 2. 6 Contoh Metadata Data Sawah

Sumber: SIGN-SMART KLHK, 2025

2.2.1.2 Proses (Kalkulasi Emisi)

Setelah semua proses *input* data selesai maka tahapan selanjutnya adalah proses perhitungan emisi/serapan oleh sistem aplikasi dengan cara pilih/klik menu “kalkulasi emisi” kemudian pilih/klik “kalkulasi emisi”

(warna biru) selanjutnya akan muncul pilihan level (nasional, provinsi Kabupaten/Kota) dan pilihan sektor (energi, IPPU, pertanian, kehutanan dan limbah) yang akan dikalkulasi kemudian pilih/klik simpan data. Selanjutnya sistem akan menampilkan pengguna yang melakukan kalkulasi emisi dengan sistem antrean.

2.2.1.3 Output

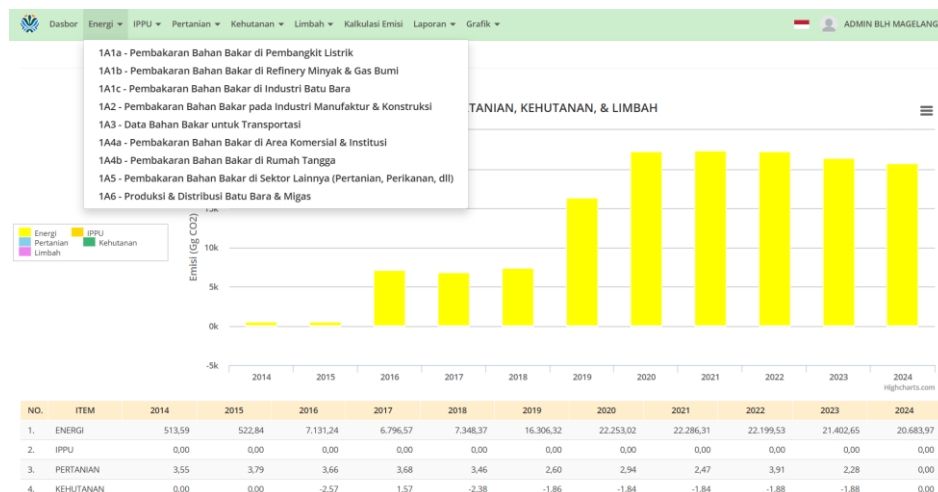
Setelah proses kalkulasi emisi dinyatakan selesai oleh sistem, maka selanjutnya dapat melihat *output* melalui menu “Laporan” dan menu “Grafik”. Pada menu laporan dapat dilihat *worksheet*, *CRF (Common Reporting Format)*, *KCA (Key Category Analysis)* dan *Uncertainty Analysis*. Sedangkan pada menu grafik dapat dilihat grafik emisi baik agregat maupun per sektor.

2.2.2 Cara Input Data Sektor Energi

Pada menu *input SIGN-SMART* untuk sektor energi, terdapat 20 sub-menu yang terkait dengan inventarisasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di sektor energi. Sumber data utama dalam kegiatan inventarisasi ini berasal dari data aktivitas pembakaran yang didata mencakup konsumsi energi nasional dan pembakaran bahan bakar di berbagai sektor, seperti pembangkit listrik, kilang minyak dan gas bumi, industri batu bara, transportasi, kegiatan komersial dan institusi, industri manufaktur dan konstruksi, aktivitas rumah tangga, serta sektor lain seperti pertanian, perikanan, produksi, dan distribusi batu bara serta migas. Data yang diperbarui setiap tahun oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral ini merupakan kompilasi dari data pengadaan dan penggunaan energi di Indonesia, berdasarkan data yang dipublikasikan oleh instansi terkait, seperti Kementerian Perindustrian, Kementerian Perhubungan, Badan Pusat Statistik, PT Pertamina, dan lainnya. Berikut adalah langkah-langkah untuk menginput data sektor energi pada aplikasi *SIGN-SMART*:

1. Dalam penginputan data sektor energi pengguna harus login sesuai dengan level operatornya (nasional, provinsi, dan kabupaten/kota);
2. Setelah *login* pilih/klik menu “energi” akan muncul *display* sebagai berikut.

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025



Gambar 2. 7 Menu Input Data Sektor Energi

Sumber: SIGN-SMART KLHK, 2025

3. Klik jenis data yang akan diinput (misalnya: Pembakaran bahan bakar di Industri Batu Bara Magelang)

No.	Tahun	Aksi	Meta	QC	QA	Batubara (Ton)
1.	2024					
2.	2023					
3.	2022					
4.	2021					
5.	2020					
6.	2019					
7.	2018					
8.	2017					
9.	2016					
10.	2015					

Gambar 2. 8 Halaman Penginputan Data Aktivitas di Sektor Energi

Sumber: SIGN-SMART KLHK, 2025

4. Selanjutnya mulai *input* data dengan pilih/klik tanda “pensil” pada kolom “aksi” sesuai dengan tahun data yang akan diinputkan, setelah selesai kembali pilih/klik tanda “check” untuk menyimpan data;

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

Gambar 2. 9 Cara Mengisi Data Aktivitas di Sektor Energi

Sumber: SIGN-SMART KLHK, 2025

5. Langkah – langkah untuk *input* data lainnya menggunakan cara yang sama mulai dari poin 1 sampai dengan poin nomor 4.

2.2.3 Proses (Kalkulasi Emisi) Sektor Energi

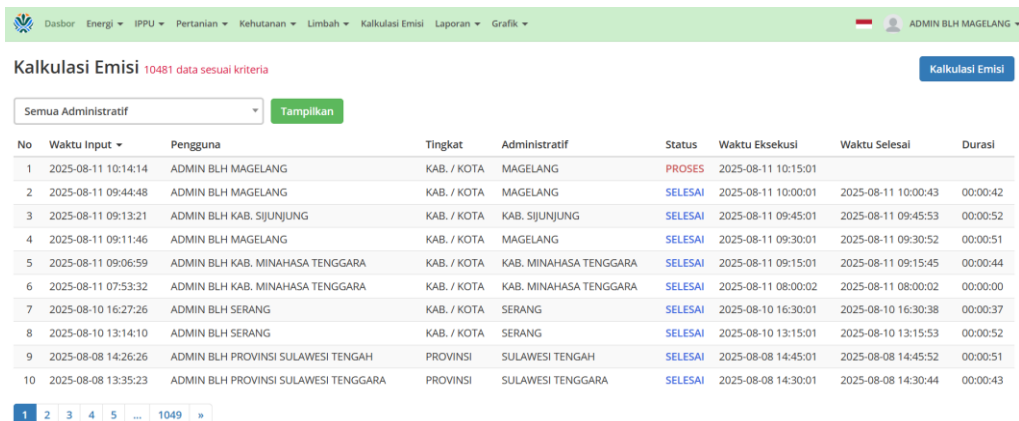
Setelah semua proses *input* data energi selesai maka tahapan selanjutnya adalah proses perhitungan emisi oleh sistem aplikasi dengan cara pilih/klik menu “kalkulasi emisi” kemudian pilih/klik “kalkulasi emisi” (warna biru) selanjutnya akan muncul pilihan level (nasional, provinsi, kabupaten/kota) kemudian pilih/klik simpan data. Selanjutnya sistem akan menampilkan pengguna yang melakukan kalkulasi emisi dengan sistem antrean. Berikut *display* kalkulasi emisi sektor energi.



Gambar 2. 10 Kalkulasi Emisi pada Menu SIGN-SMART

Sumber: SIGN-SMART KLHK, 2025

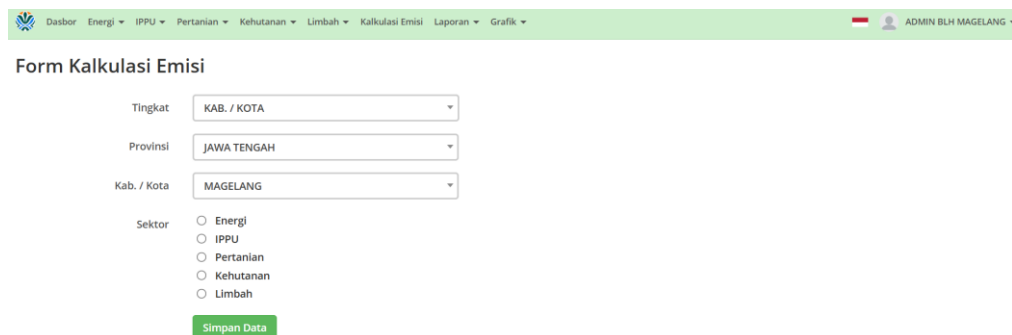
LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025



No	Waktu Input	Pengguna	Tingkat	Administratif	Status	Waktu Eksekusi	Waktu Selesai	Durasi
1	2025-08-11 10:14:14	ADMIN BLH MAGELANG	KAB. / KOTA	MAGELANG	PROSES	2025-08-11 10:15:01		
2	2025-08-11 09:44:48	ADMIN BLH MAGELANG	KAB. / KOTA	MAGELANG	SELESAI	2025-08-11 10:00:01	2025-08-11 10:00:43	00:00:42
3	2025-08-11 09:13:21	ADMIN BLH KAB. SIJUNJUNG	KAB. / KOTA	KAB. SIJUNJUNG	SELESAI	2025-08-11 09:45:01	2025-08-11 09:45:53	00:00:52
4	2025-08-11 09:11:46	ADMIN BLH MAGELANG	KAB. / KOTA	MAGELANG	SELESAI	2025-08-11 09:30:01	2025-08-11 09:30:52	00:00:51
5	2025-08-11 09:06:59	ADMIN BLH KAB. MINAHASA TENGGARA	KAB. / KOTA	KAB. MINAHASA TENGGARA	SELESAI	2025-08-11 09:15:01	2025-08-11 09:15:45	00:00:44
6	2025-08-11 07:53:32	ADMIN BLH KAB. MINAHASA TENGGARA	KAB. / KOTA	KAB. MINAHASA TENGGARA	SELESAI	2025-08-11 08:00:02	2025-08-11 08:00:02	00:00:00
7	2025-08-10 16:27:26	ADMIN BLH SERANG	KAB. / KOTA	SERANG	SELESAI	2025-08-10 16:30:01	2025-08-10 16:30:38	00:00:37
8	2025-08-10 13:14:10	ADMIN BLH SERANG	KAB. / KOTA	SERANG	SELESAI	2025-08-10 13:15:01	2025-08-10 13:15:53	00:00:52
9	2025-08-08 14:26:26	ADMIN BLH PROVINSI SULAWESI TENGAH	PROVINSI	SULAWESI TENGAH	SELESAI	2025-08-08 14:45:01	2025-08-08 14:45:52	00:00:51
10	2025-08-08 13:35:23	ADMIN BLH PROVINSI SULAWESI TENGGARA	PROVINSI	SULAWESI TENGGARA	SELESAI	2025-08-08 14:30:01	2025-08-08 14:30:44	00:00:43

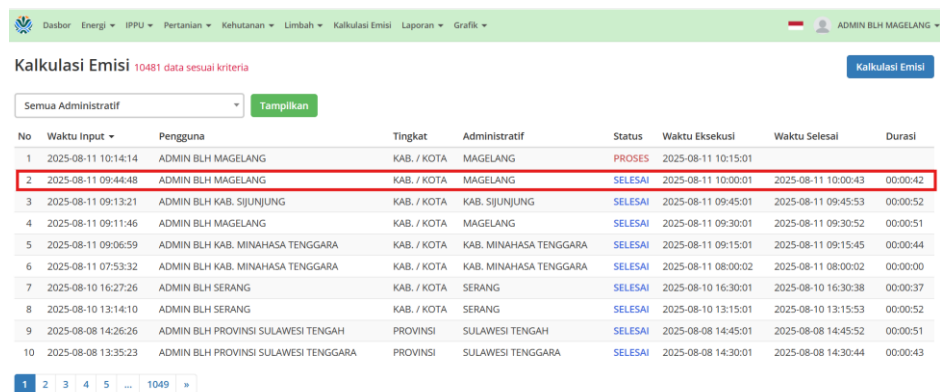
Gambar 2. 11 Kalkulasi Emisi di Sektor Energi

Sumber: SIGN-SMART KLHK, 2025



Gambar 2. 12 Form Kalkulasi pada Sektor Energi

Sumber: SIGN-SMART KLHK, 2025



No	Waktu Input	Pengguna	Tingkat	Administratif	Status	Waktu Eksekusi	Waktu Selesai	Durasi
1	2025-08-11 10:14:14	ADMIN BLH MAGELANG	KAB. / KOTA	MAGELANG	PROSES	2025-08-11 10:15:01		
2	2025-08-11 09:44:48	ADMIN BLH MAGELANG	KAB. / KOTA	MAGELANG	SELESAI	2025-08-11 10:00:01	2025-08-11 10:00:43	00:00:42
3	2025-08-11 09:13:21	ADMIN BLH KAB. SIJUNJUNG	KAB. / KOTA	KAB. SIJUNJUNG	SELESAI	2025-08-11 09:45:01	2025-08-11 09:45:53	00:00:52
4	2025-08-11 09:11:46	ADMIN BLH MAGELANG	KAB. / KOTA	MAGELANG	SELESAI	2025-08-11 09:30:01	2025-08-11 09:30:52	00:00:51
5	2025-08-11 09:06:59	ADMIN BLH KAB. MINAHASA TENGGARA	KAB. / KOTA	KAB. MINAHASA TENGGARA	SELESAI	2025-08-11 09:15:01	2025-08-11 09:15:45	00:00:44
6	2025-08-11 07:53:32	ADMIN BLH KAB. MINAHASA TENGGARA	KAB. / KOTA	KAB. MINAHASA TENGGARA	SELESAI	2025-08-11 08:00:02	2025-08-11 08:00:02	00:00:00
7	2025-08-10 16:27:26	ADMIN BLH SERANG	KAB. / KOTA	SERANG	SELESAI	2025-08-10 16:30:01	2025-08-10 16:30:38	00:00:37
8	2025-08-10 13:14:10	ADMIN BLH SERANG	KAB. / KOTA	SERANG	SELESAI	2025-08-10 13:15:01	2025-08-10 13:15:53	00:00:52
9	2025-08-08 14:26:26	ADMIN BLH PROVINSI SULAWESI TENGAH	PROVINSI	SULAWESI TENGAH	SELESAI	2025-08-08 14:45:01	2025-08-08 14:45:52	00:00:51
10	2025-08-08 13:35:23	ADMIN BLH PROVINSI SULAWESI TENGGARA	PROVINSI	SULAWESI TENGGARA	SELESAI	2025-08-08 14:30:01	2025-08-08 14:30:44	00:00:43

Gambar 2. 13 Halaman Kalkulasi Emisi

Sumber: SIGN-SMART KLHK, 2025

2.2.4 Output

Setelah proses Kalkulasi emisi dinyatakan selesai oleh sistem maka selanjutnya dapat melihat *output* melalui menu “Laporan” dan menu “Grafik”. Pada menu laporan dapat dilihat *worksheet CRF (Common*

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

Reporting Format), KCA (Key Category Analysis) masih untuk gabungan seluruh sektor dan *Uncertainty Analysis*. Sementara pada menu grafik dapat dilihat grafik emisi agregat maupun per sektor. *Output* sektor energi terdiri dari:

a. Worksheet

Worksheet: 1A3 - Transport

KAB. / KOTA: MAGELANG, 2023

ENERGI: 1A3 - Transport

Tampilkan Ekspor Excel

Bahan Bakar	Energy Consumption			CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	A	B	C = A x B	D	E = C x D / 10 ⁶	F	G = C x F / 10 ⁶	H	I = C x H / 10 ⁶
	Consumption (Mass, Volume, or Energy Unit)	Conversion Factor 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 Gg CH ₄	N ₂ O Emission Factor kg N ₂ O / TJ	N ₂ O Emissions Gg N ₂ O
PREMIUM	0	0,00	5,8740	0,00	69,300	0,00	33	0,00	3,2000
PERTALITE	25,736	154,75	5,8740	909,02	69,300	63,00	33	0,03	3,2000
PERTAMAX	3,932	22,09	5,8740	129,76	69,300	8,99	33	0,00	3,2000
PERTAMAX PLUS	0	0,00	5,8740	0,00	69,300	0,00	33	0,00	3,2000
SOLAR	0	0,00	5,8740	0,00	74,100	0,00	4	0,00	3,9000
BIO SOLAR	8,988	55,08	5,8740	323,57	74,100	23,98	4	0,00	3,9000
MARINE FUEL OIL	0	0,00	5,8740	0,00	77,400	0,00	1	0,00	2,0000
BBG	0	0,00	5,8740	0,00	56,100	0,00	92	0,00	3,0000
AVGAS	0	0,00	5,8740	0,00	69,300	0,00	1	0,00	2,0000
KEROSENE	0	0,00	5,8740	0,00	71,900	0,00	1	0,00	2,0000

Gambar 2. 14 Halaman pada Worksheet

Sumber: SIGN-SMART KLHK, 2025

b. Common Reporting Format (CRF)

Common Reporting Format (CRF)

ENERGI: KAB. / KOTA: MAGELANG, 2023

Tampilkan Ekspor Excel

Kategori	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ Eq (Gg)
1A. Fuel Combustion Activities				
1A1a. Electricity and Heat Production	0,00	0,00	0,00	0,00
1A1b. Oil and Gas Industries	0,00	0,00	0,00	0,00
1A1c. Coal Processing	0,00	0,00	0,00	0,00
1A2. Manufacturing Industries and Construction	0,19	0,00	0,00	0,19
1A3. Transport	96,17	0,04	0,00	98,34
1A4a. Commercial / Institutional	0,00	0,00	0,00	0,00
1A4b. Residential	21.258,30	1,68	0,03	21.304,12
1A5. Non-Specified	0,00	0,00	0,00	0,00
1B. Fugitive Emissions from Fuels				
1B1. Solid Fuel		0,00		0,00
1B2a. Fugitive Emissions: Oil and Natural Gas	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	21.354,66	1,72	0,04	21.402,65

Gambar 2. 15 Halaman pada Common Reporting (CRF)

Sumber: SIGN-SMART KLHK, 2025

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

c. Key Category Analysis (KCA)

Dasbor Energi IPU Pertanian Kehutanan Limbah Kalkulasi Emisi Laporan Grafik ADMIN BLH MAGELANG

KCA (Key Category Analysis)

KAB. / KOTA: MAGELANG SEMUA 2024 Tampilkan Ekspor Excel

No.	Kode	Sektor	Source Category	Emisi Non-LULUCF Gg CO ₂	Emisi LULUCF Gg CO ₂	Total Absolute Gg CO ₂	Assessment exclude LULUCF (%)	Cumulative exclude LULUCF (%)	Assessment include LULUCF (%)	Cumulative include LULUCF (%)
1.	2C1	IPPU	Metal Industry - Iron and Steel Production	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.	3Z2	FORESTRY	Peat Fire	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3.	2A1	IPPU	Mineral Industry - Cement Production	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.	2A2	IPPU	Mineral Industry - Lime Production	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5.	2A3	IPPU	Mineral Industry - Glass Production	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6.	2A4a	IPPU	Mineral Industry - Other Process Uses of Carbonates 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7.	2A4b	IPPU	Mineral Industry - Other Process Uses of Carbonates 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8.	2A4d	IPPU	Mineral Industry - Other Process Uses of Carbonates 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9.	2B1	IPPU	Chemical Industry - Ammonia Production	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10.	2B2	IPPU	Chemical Industry - Nitric Acid Production	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11.	2B5	IPPU	Chemical Industry - Carbide Production	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Gambar 2. 16 Halaman pada Key Category Analysis (KCA)

Sumber: SIGN-SMART KLHK, 2025

d. Uncertainty

Dasbor Energi IPU Pertanian Kehutanan Limbah Kalkulasi Emisi Laporan Grafik SIGN SMART

Uncertainty

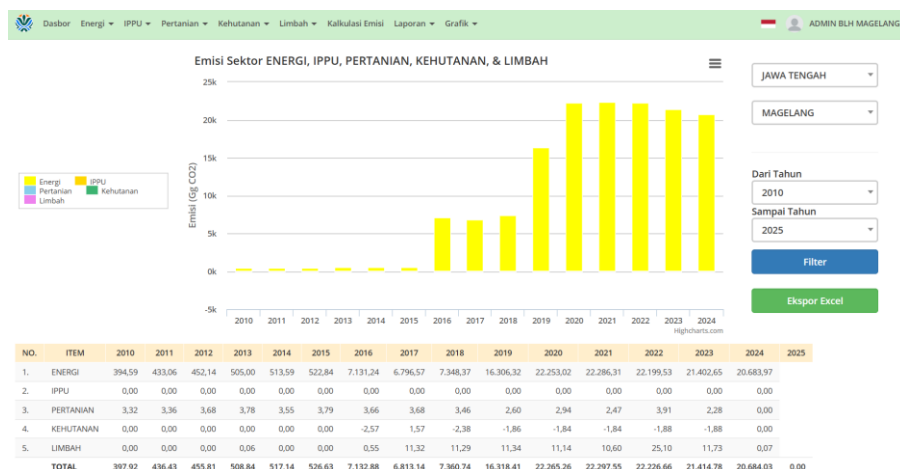
ENERGI PROVINSI: SUMATERA UTARA Tahun Anal: 2020 Tahun Inventori: 2018 Tampilkan Ekspor Excel

No.	Code	Sector	IPCC Category	Gas	Base Year Emissions or Removals	Year t Emissions or Removals	Activity Data Uncertainty	Emission factor / estimation parameter uncertainty	Combined uncertainty	Contribution to Variance by Category in Base Year	Contribution to Variance by Category in Year t	Type A sensitivity	Type B sensitivity	Uncertainty in trend in national emissions introduced by emission factor / estimation parameter uncertainty	Uncertainty in trend in national emissions introduced by activity data uncertainty	Uncertainty associated into the trend in total national emissions
TOTAL					0,00	0,00				0,00	0,00					0,00000000

Gambar 2. 17 Halaman pada Uncertainty

Sumber: Panduan SIGN-SMART, 2019

e. Grafik



Gambar 2. 18 Grafik Emisi Gas Rumah Kaca

Sumber: SIGN-SMART KLHK, 2025

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

Pada sektor IPPU, pertanian, kehutanan, dan penggunaan lahan lainnya, dan limbah penginputan data langkah-langkahnya sama dengan sektor energi, pada tahapan awal klik pada menu utama sesuai sektor yang akan diisi. Akan tetapi untuk data dan sumber-sumber emisi GRK disesuaikan dengan masing-masing sektor.

2.3 Sumber Data

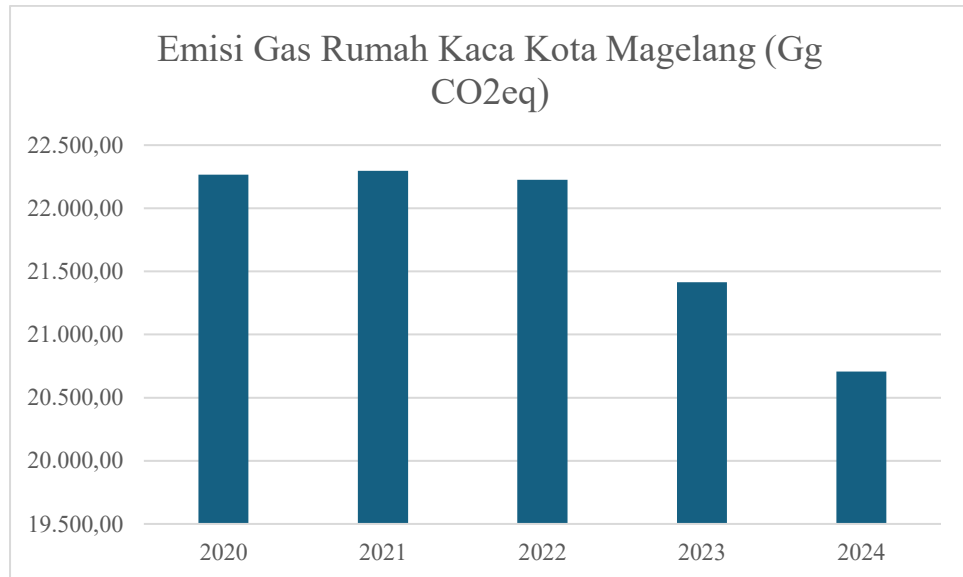
Sumber data yang digunakan dalam perhitungan inventarisasi gas rumah kaca Kota Magelang Tahun Anggaran 2025 dari sektor energi, IPPU, *Agriculture, Forestry, and Land Use* (AFOLU), dan pengelolaan limbah diperoleh dari masing-masing institusi yang menangani. Kota Magelang diklasifikasikan sebagai kota sedang dengan populasi penduduk sebanyak 285.843 jiwa dan memiliki kepadatan penduduk sebesar 6.581 jiwa/km² (BPS, 2023/2024). Gas rumah kaca Kota Magelang dari tahun ke tahun cenderung mengalami kenaikan hingga pada tahun 2021, mulai tahun 2022 hingga saat ini emisi gas rumah kaca Kota Magelang secara bertahap mengalami penurunan. Pada tahun 2024 emisi yang dihasilkan turun menjadi 20.684,60 GgCO₂eq (20.706.680 ton CO₂eq) atau turun sebesar 3% dari tahun sebelumnya. Hasil inventarisasi gas rumah kaca Kota Magelang dari tahun 2020-2024 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 7 Jumlah Emisi Gas Rumah Kaca Kota Magelang

Tahun	Jumlah (Gg CO ₂ eq)	Jumlah (Ton CO ₂ eq)
2020	22.265,26	22.265.260
2021	22.297,55	22.297.550
2022	22.226,66	22.226.660
2023	21.414,78	21.414.780
2024	20.706,68	20.706.680

Sumber : SIGN-SMART KLHK, 2025

Berikut grafik dari hasil inventarisasi gas rumah kaca Kota Magelang periode tahun 2020-2024.



Gambar 2. 19 Tren Emisi GRK Kota Magelang Tahun 2020-2024

Sumber: SIGN-SMART KLHK, 2025

2.3.1 Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi

Pengukuran Inventarisasi Gas Rumah Kaca sektor energi tingkat Kabupaten/Kota mengakumulasi dari berbagai sub-sektor seperti pembakaran bahan bakar di pembangkit listrik, pembakaran bahan bakar di refinari minyak dan gas bumi, pembakaran di industri batu bara, pembakaran bahan bakar di area komersil dan institusi, pembakaran bahan bakar pada industri manufaktur dan konstruksi, pembakaran bahan bakar di rumah tangga, pembakaran bahan bakar di sektor lainnya.

Sementara itu, sumber emisi pada sektor energi di Kota Magelang hanya berasal dari penggunaan bahan bakar di sektor transportasi, rumah tangga, dan industri. Salah satu penyumbang emisi penting di Kota Magelang dan termasuk kategori kunci utama yaitu kategori transportasi. Pada pedoman inventarisasi gas rumah kaca, yang termasuk ke dalam kategori transportasi adalah penerbangan sipil, transportasi jalan, kereta api, angkutan air, dan transportasi lainnya. Akan tetapi di Kota Magelang hanya memiliki kegiatan transportasi jalan raya. Maka transportasi penerbangan sipil, kereta api, angkutan air, dan lainnya tidak dilakukan perhitungan dan dikategorikan ke dalam tidak tersedia (*Not Applicable*).

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

Pemanfaatan bahan bakar pada kendaraan sebagai sarana transportasi masyarakat sehari-hari mengakibatkan tingkat konsumsi bahan bakar pada sub-sektor transportasi menjadi sangat tinggi. Data penggunaan bahan bakar pada sub-sektor transportasi disajikan berikut ini.

Tabel 2.8 Data Konsumsi Bahan Bakar Transportasi Kota Magelang

No	Jenis Bahan Bakar	Satuan	Total Konsumsi (liter)				
			2020	2021	2022	2023	2024
1	Premium	Kilo Liter	0	0	0	0	0
2	Pertalite	Kilo Liter	17.448	20.128	24.958	26.735,94	22.182,29
3	Pertamax	Kilo Liter	4.107	12.241	4.636	3.931,90	4.501,65
4	Pertamax Plus	Kilo Liter	0	238	144	0	164,77
5	Bio Diesel	Kilo Liter	0	0	172	0	0
6	Bio Solar	Kilo Liter	7.404	8.018	9.370	8.987,74	5.515,96
7	Dexlite	Kilo Liter	231	545	298	72,74	335,62

Sumber : Bagian Perekonomian Setda Kota Magelang, 2025

Sektor lain dalam penggunaan energi yaitu dalam industri manufaktur dan konstruksi yang menghasilkan emisi dalam proses produksinya. Sumber emisi dari pembakaran ini adalah penggunaan bahan bakar dalam bentuk padat, cair dan gas. Selain melalui konsumsi bahan bakar, emisi dari industri manufaktur dapat diperhitungkan melalui kapasitas produksi. Semakin banyak kapasitas produksinya, maka jumlah energi yang digunakan akan semakin besar.

**Tabel 2. 9 Konsumsi Bahan Bakar Industri Manufaktur dan
Konstruksi Kota Magelang Tahun 2020-2024**

Jenis Bahan Bakar	Satuan	Penggunaan Bahan Bakar				
		2020	2021	2022	2023	2024
Premium	Kilo Liter	0	0	0	0,218	0,007
Solar	Kilo Liter	1	1	13	1,009	1,009

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

Jenis Bahan Bakar	Satuan	Penggunaan Bahan Bakar				
		2020	2021	2022	2023	2024
Minyak Tanah	Kilo Liter	0	0	0	0,032	0,032
LPG	Ton	37	51	59	58	58

Sumber: Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kota Magelang, 2025

Adapun penggunaan energi dari sektor lainnya berasal dari penggunaan bahan bakar pada rumah tangga seperti penggunaan LPG. LPG merupakan bahan bakar umum yang digunakan untuk memasak ataupun bahan bakar lainnya. Berikut ini terdapat tabel penggunaan LPG di Kota Magelang.

Tabel 2. 10 Penggunaan Energi untuk Kegiatan Lainnya di Kota Magelang

Jenis Energi	Satuan	Emisi per Tahun (Gg CO ₂)				
		2020	2021	2022	2023	2024
LPG	Ton	6.831.000	6.822.328	6.778.973	6.724.522	6.503.336

Sumber: Bagian Perekonomian Setda Kota Magelang, 2025

2.3.2 Sektor Proses Industri dan Penggunaan Produk

Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) pada sektor IPPU berasal dari beberapa kegiatan meliputi penggunaan energi, dari reaksi kimia dan penggunaan produk selama proses produksi dan pembuangan limbah. Pada kategori ini, emisi yang dimaksud adalah yang bersumber dari (i) emisi GRK yang terjadi selama proses/reaksi kimiawi industri, (ii) penggunaan gas-gas kategori GRK di dalam produk, dan (iii) penggunaan karbon bahan bakar fosil untuk kegiatan non-energi dikelompokkan dalam tujuh kategori yaitu industri mineral, kimia, logam, emisi dari penggunaan produk non energi bentukan bahan bakar dan pelarut, elektronik, penggunaan produk sebagai pengganti bahan perusak ozon, serta produksi dan penggunaan produk lainnya.

Kegiatan industri di Kota Magelang didominasi oleh industri berskala ringan, seperti pengolahan makanan dan minuman, serta sejumlah pabrik berkapasitas kecil. Kota ini tidak memiliki jenis industri berat, misalnya industri semen, baja, pulp dan kertas, tekstil, petrokimia, keramik, maupun pupuk. Kondisi tersebut menyebabkan sektor proses industri dan penggunaan produk tidak memberikan kontribusi terhadap emisi gas rumah

kaca (GRK), sehingga masuk dalam kategori tidak tersedia (*Not Applicable*).

2.3.3 Sektor Pertanian, Kehutanan, dan Penggunaan Lahan Lainnya

Sektor Pertanian, Kehutanan, dan Penggunaan Lahan Lainnya AFOLU mencakup seluruh kegiatan yang berkaitan dengan budidaya pertanian, pengelolaan hutan, serta perubahan fungsi dan pemanfaatan lahan. Sektor ini meliputi aktivitas seperti penanaman dan pemanenan tanaman pangan, peternakan, penebangan atau penanaman kembali hutan, hingga alih fungsi lahan. AFOLU berperan penting dalam siklus karbon, karena dapat menjadi sumber emisi gas rumah kaca (GRK) maupun sarana penyerapan karbon melalui vegetasi dan tanah.

2.3.3.1 Pertanian

Perhitungan emisi gas rumah kaca (GRK) pada sektor pertanian dilakukan dengan menggunakan berbagai data pendukung antara lain luas panen dan produksi padi sawah tahunan, penggunaan pupuk (*organic*, *NPK*, *urea*, *SP36*, dan *furadan*), luas biomassa padi sawah, jumlah populasi ternak, serta luas panen tanaman hortikultura dan tanaman pangan seperti jagung, kacang tanah, dan ketela pohon.

Sektor pertanian di Kota Magelang saat ini menunjukkan tren positif meskipun dihadapkan dengan keterbatasan lahan. Komoditas utama yang dihasilkan meliputi padi *inbrida*, ubi kayu, jagung, kacang tanah, dan berbagai tanaman hortikultura. Pertanian hortikultura tetap berperan penting dalam penyediaan produk pangan, kesehatan, kosmetika, perdagangan, dan penyerapan tenaga kerja. Dengan meningkatnya kesadaran masyarakat akan pentingnya konsumsi buah dan sayuran sebagai sumber gizi, permintaan terhadap produk hortikultura terus meningkat. Komoditas hortikultura juga memiliki nilai ekonomi tinggi, sehingga usaha agribisnis di bidang ini dapat menjadi sumber pendapatan bagi masyarakat dan petani, baik dalam skala kecil, menengah, maupun besar. Berikut ini terdapat data sawah Kota Magelang tahun 2020-2024.

Tabel 2. 11 Data Sawah Kota Magelang Tahun 2020-2024

Tahun	Luas Panen Padi Sawah (Ha)	Produktivitas Padi Sawah (kw/Ha)	Produksi Padi Sawah (Ton)	Luas Baku Sawah Irigasi (Ha)	Luas Panen Sawah IR 64 (Ha)
2020	364	61,26	2.230	143	0
2021	299	61,68	1.844	143	0
2022	221	62,71	1.386	143	177
2023	126	62,70	778,40	105,55	126
2024	121	69,59	842	106	121

Sumber: Dinas Pertanian dan Pangan Kota Magelang, 2025

2.3.3.2 Peternakan

Kegiatan peternakan merupakan penyumbang emisi GRK yang signifikan. Emisi GRK dari sektor peternakan timbul dari dua kegiatan yakni (i) fermentasi enterik yang menghasilkan gas metana, dan (ii) pengelolaan kotoran ternak yang menghasilkan emisi metana dan dinitrogen oksida baik langsung maupun tidak langsung.

Kegiatan fermentasi enterik pada hewan memamah biak (ruminansia) menyebabkan timbulnya gas metana (CH₄). Dalam proses ini karbohidrat dipecah menjadi molekul sederhana oleh mikroorganisme untuk diserap ke dalam aliran darah. Masing-masing jenis ternak ruminansia berbeda tingkatannya dalam menghasilkan metana. Sebagai contoh, ternak seperti sapi, domba, kerbau dan kambing menghasilkan metana lebih tinggi dari pada ternak babi dan kuda. Untuk mengetahui perkiraan emisi metana dari fermentasi enterik, dibutuhkan data kegiatan berupa jumlah populasi ternak khususnya ternak besar. Jumlah populasi ternak di Kota Magelang pada tahun 2020-2024 telah disajikan pada tabel berikut.

Tabel 2. 12 Data Populasi Hewan Ternak Kota Magelang 2020-2024

Hewan Ternak	Populasi Tahunan (Ekor)				
	2020	2021	2022	2023	2024
Sapi potong	193	176	156	66	60
Sapi perah	53	53	52	45	38
Kerbau	57	53	46	22	23
Domba	728	732	733	593	754
Kambing	234	237	218	218	369
Babi	217	215	238	49	69
Kuda	8	8	6	4	5

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

Hewan Ternak	Populasi Tahunan (Ekor)				
	2020	2021	2022	2023	2024
Ayam Ras Pedaging	28.300	205.200	180.600	156.884	144.000
Ayam Ras Petelur	1.000	850	850	1.050	2.164
Ayam Buras	43.650	44.300	46.606	35.084	20.225
Itik	6.275	6.500	6.550	5.317	5.411

Sumber: Dinas Pertanian dan Pangan Kota Magelang, 2025

2.3.3.3 Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

Perhitungan emisi sektor kehutanan membutuhkan data terkait dengan matriks transisi perubahan tutupan lahan pada tanah mineral, matriks transisi perubahan tutupan lahan pada tanah gambut, data produksi kayu, dan data luas kebakaran lahan gambut. Namun di Kota Magelang tidak terdapat lahan gambut, sehingga tidak tersedia (*Not Applicable*) data matriks transisi perubahan tutupan lahan pada tanah gambut dan data luas kebakaran lahan gambut.

Sektor kehutanan memiliki peran penting dalam penyusunan inventarisasi gas rumah kaca (GRK) karena keterkaitannya dengan siklus karbon. Hutan menjadi lokasi utama terjadinya pertukaran karbon antara atmosfer dan biosfer daratan. Kondisi dan tata kelola hutan akan menentukan apakah biosfer daratan berfungsi sebagai penyerap karbon atau justru menjadi sumber emisi karbon.

Perkiraan emisi dan serapan pada tiap jenis penggunaan lahan dilakukan dengan menilai perbedaan jumlah biomassa atau cadangan karbon, baik pada lahan yang tidak mengalami perubahan fungsi maupun pada lahan yang dialih fungsikan dari penggunaan lain. Untuk memperoleh hasil perhitungan tersebut, diperlukan informasi mengenai luas area yang mengalami perubahan tutupan (*data activity*) serta nilai faktor emisi atau serapan yang relevan. Berikut ini terdapat data jenis perubahan lahan di Kota Magelang dari DLHK Provinsi Jawa Tengah, akan tetapi data yang digunakan masih sama dengan tahun 2022 dan tahun 2023 dikarenakan belum mendapatkan data terbaru.

Tabel 2. 13 Luas Perubahan Lahan Kota Magelang Tahun 2024

No	Jenis Perubahan Lahan		2024
	Awal Penggunaan	Penggunaan Lahan Saat Ini	Luas (Ha)
1	Hutan Tanaman (Ht)	Hutan Tanaman (Ht)	77,58
2	Pemukiman (Pm)	Pemukiman (Pm)	1.430,53
3	Savana/Padang Rumput (S)	Savana/Padang Rumput (S)	36,38
4	Air/Perairan Terbuka (A)	Air/Perairan Terbuka (A)	0,78
5	Pertanian Lahan Kering Campur Semak (Pc)	Pertanian Lahan Kering Campur Semak (Pc)	41,55
6	Sawah (Sw)	Sawah (Sw)	269,00

Sumber: Hasil perhitungan luas digital penutupan lahan tahun 2023 dan 2024 Kota Magelang (Sigap KLHK)

Dinas Pertanian dan Pangan (Disperpa) Kota Magelang saat ini masih dalam proses pengajuan penyusunan Basis Data Spasial (BPS) Baku Sawah. Oleh karena itu, hingga saat ini Disperpa belum dapat menyediakan data baku sawah terbaru yang dapat digunakan sebagai dasar dalam perhitungan penggunaan lahan terkini di Kota Magelang. Ketersediaan data tersebut masih menunggu proses penyusunan dan penetapan secara resmi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

2.3.3.4 Emisi N₂O Langsung dari Pertanian Lahan Kering dan Sawah

Emisi N₂O langsung dapat timbul dari penambahan N-tersedia dalam tanah di mana dapat meningkatkan proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang memproduksi N₂O. Peningkatan N-tersedia dapat terjadi melalui penambahan pupuk yang mengandung N atau perubahan penggunaan lahan dan atau praktik pengelolaan yang menyebabkan mineralisasi N organik tanah. Penambahan unsur N ini diperhitungkan dari aplikasi pupuk Urea dan organik (pupuk kandang, kompos dan pupuk hijau). Jumlah pupuk urea merupakan data konsumsi pupuk bersubsidi yang dibagi sesuai dengan proporsi luasan lahan pertanian (sawah dan lahan kering) sebesar 63% tanah diolah, 37% sawah. Untuk menghitung N₂O langsung dari aplikasi pupuk ini, perlu diketahui jumlah bersih N yang diaplikasikan. Kandungan N pada

masing-masing pupuk adalah: Urea (46%), ZA (21%), NPK (15%), Kandang (16%), Kompos dan Jerami (0,5%). Dengan persentase kandungan N pada masing-masing jenis pupuk tersebut maka penggunaan N pada kegiatan pertanian di Kota Magelang tahun 2020-2024 dapat diketahui besarnya. Secara lengkap pemakaian pupuk yang di aplikasikan pada lahan pertanian di Kota Magelang pada tahun 2020-2024 disajikan pada tabel berikut.

**Tabel 2. 14 Penggunaan Pupuk Pertanian Padi Kota Magelang
2020-2024**

Tahun	Urea (Ton)	NPK (Ton)
2020	34	6
2021	15	6
2022	11	4
2023	11,6	3,5
2024	11,4	4,6

Sumber: Dinas Pertanian dan Pangan Kota Magelang

2.3.3.5 N₂O Tak Langsung dari Pengolahan Tanah

Sama dengan gas N₂O langsung, gas N₂O tidak langsung bersumber dari kegiatan pengolahan tanah yakni penambahan unsur N atau pemupukan N. N₂O tidak langsung diemisikan melalui (i) volatilisasi NH₃ dan NO_x dari tanah yang dikelola dan dari pembakaran bahan bakar fosil serta biomassa, yang kemudian gas-gas ini beserta produknya NH₄⁺ dan NO₃⁻ diendapkan kembali ke tanah dan air; dan (ii) pencucian dan *run off* dari N terutama sebagai NO₃⁻ dari tanah yang dikelola. Dengan diketahuinya jumlah N₂O langsung maka N₂O tidak langsung dapat diperhitungkan pula dari data kegiatan pemupukan sebagaimana ditampilkan pada tabel bagian sebelumnya.

Tabel 2. 15 Luas Panen Hortikultura Tahun 2020-2024

Jenis Tanaman	Luas Panen (Ha)				
	2020	2021	2022	2023	2024
Alpukat	1	1	0	2,69	3
Belimbing	4	2	1	1,5	1
Duku	4	6	3	4,58	1
Durian	14	7	16	20,6	1
Jambu air	7	3	3	15,06	3
Jambu biji	13	6	2	5,95	1

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

Jenis Tanaman	Luas Panen (Ha)				
	2020	2021	2022	2023	2024
Jeruk	0	0	0	0,16	1
Jeruk Siam	0	0	0	0	0
Mangga	33	23	102	118,4	4
Manggis	0	0	0	0,7	1
Nangka	1	2	1	3,39	1
Pepaya	0	1	0	0,55	1
Pisang	23	6	7	8,65	1
Rambutan	130	14	16	83,41	3
Salak	1	1	1	0,46	1
Sawo	5	2	7	8,5	1
Sirsak	0	1	0	0,52	0
Sukun	3	2	11	7,59	1
Bayam	0	0	0	0	1
Cabe keriting	0	0	1	0	1
Cabe rawit	0	1	1	0	1
Jamur	0	2	0	1	1
Kacang panjang	0	2	0	0,04	1
Kangkung	0	0	0	0	1
Ketimun	0	0	1	0,48	1
Melinjo	0	0	1	0,57	0
Petai	0	2	1	4,71	0
Sawi	1	0	0	1,1	1
Terong	0	0	0	0,11	1
Tomat	0	0	0	0,08	1

Sumber: Dinas Pertanian dan Pangan Kota Magelang, 2025

2.3.4 Sektor Pengelolaan Limbah

2.3.4.1 Limbah Padat

Sarana pengelolaan sampah atau limbah padat Kota Magelang yaitu berupa Tempat Pemrosesan Akhir (TPSA). TPSA ini berlokasi di Desa Banyu Urip, Kecamatan Tegalrejo, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah. TPSA yang beroperasi mulai dari tahun 2010 ini memiliki luas sekitar 6 Ha. TPSA Banyu Urip terkategori *unmanaged, shallow* dengan sistem yang digunakan oleh TPSA Banyuurip menggunakan sistem *controlled landfill*. Dalam sistem tersebut, sampah ditimbun secara berlapis dan dipadatkan untuk mengurangi volume serta ditutup dengan material penutup (misalnya tanah) secara periodik supaya meminimalisir bau dan penyebaran penyakit. Pada tahun 2024, timbulan sampah Kota Magelang mencapai 29515.1 Ton.

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

Dengan jumlah penduduk pada tahun 2024 yaitu 128.915 jiwa, maka timbunan sampah yang dihasilkan adalah 0,23 ton/jiwa/tahun.

Berdasarkan *IPCC 2006 Guidelines*, CO₂ yang diemisikan dari pengolahan limbah secara biologi tidak termasuk dalam inventarisasi GRK dari penimbunan sampah di TPSA karena dikategorikan biogenik dan dihitung sebagai *net emission* dari AFOLU.

Tabel 2. 16 Laju Timbunan Sampah di Kota Magelang 2021-2024

Tahun	Jumlah Penduduk	Jumlah Timbunan Sampah (Ton)	Laju Timbunan Sampah (Ton/Jiwa/Tahun)
2021	121.610	29.447,93	-0,01
2022	121.675	29.384,62	0,24
2023	122.150	29.400,33	0,24
2024	128.915	29.515,00	0,23

Sumber: Dinas Lingkungan Hidup Kota Magelang, 2025

Emisi CH₄ juga dipengaruhi oleh jumlah dan komposisi sampah di mana semakin besar jumlah fraksi yang mudah terdegradasi maka peluang pembentukan CH₄ semakin besar. Jumlah sampah tersebut terdiri dari limbah makanan, kertas, *nappies*, sisa kebun, limbah kayu, tekstil, karet dan kulit, plastik, logam, kaca dan lainnya sebagaimana tabel di bawah ini.

Tabel 2. 17 Komposisi dan Bahan Kering Sampah Domestik 2020-2024

Kategori	Komposisi Sampah (%)				
	2020	2021	2022	2023	2024
Sisa Makanan	0	0	28,5300	41,1700	44,5400
Kertas	0	0	9,1700	15,9300	21,0100
Kayu	0	0	3,7200	0	0
Karet dan Kulit	0	0	1,2400	0,1900	0,0100
Kain	0	0	2,1500	0,0300	0
Plastik	0	0	17,8100	23,2800	13,0900
Logam	0	0	2,6100	3,8800	3,7200
Kaca	0	0	1,5300	1,8900	2,5400
Anorganik Lainnya	0	0	5,8900	6,0900	1,3700

Sumber: Dinas Lingkungan Hidup Kota Magelang, 2025

Sementara itu, sampah diolah dengan berbagai metode baik oleh pemerintah maupun masyarakat dan sektor UKM. Oleh karena itu data sistem pengolahan sampah, yang mempengaruhi besarnya emisi diestimasikan dengan data pengolahan oleh pemerintah, data survei

perilaku yang dilakukan DLHK Provinsi Jawa Tengah serta studi-studi lain yang dilakukan DLH Kota Magelang. Dari berbagai sumber tersebut diketahui bahwa sampah di Kota Magelang diolah melalui pembuangan TPSA, diolah secara biologi baik kompos maupun anaerob, dibakar, daur ulang, dibuang ke sungai, dibuang ke lahan kosong dan pembuangan lainnya. Persentase sistem pengolahan sampah Kota Magelang disajikan pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. 18 Distribusi Pengelolaan Sampah di Kota Magelang 2025

Kategori	Persentase (%)	
	2023	2024
Terangkut ke TPSA	78,57%	77,80%
Dibuat Kompos	0,88%	0,03%
Belum dikelola (dibakar,ditimbun, uang sembarangan)	0 %	0 %
Daur Ulang	14,01%	17,01%

Sumber: Dinas Lingkungan Hidup Kota Magelang, 2025

Metode pembuangan sampah mempengaruhi timbunan CH₄ karena terkait dengan kontak udara luar terutama oksigen. Berdasarkan tabel di atas, sistem pengelolaan sampah dengan cara dibuang (TPSA) pada tahun 2024 adalah 77,80 % dari keseluruhan timbunan sampah. Sementara sampah padat yang telah di daur ulang sebesar 17,01 %.

2.3.4.2 Pembakaran Sampah

Kegiatan pembakaran sampah terbagi menjadi dua jenis. Pertama, pembakaran terbuka, yaitu pembakaran sampah tanpa penutup yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Proses ini terjadi pada suhu rendah sehingga pembakaran tidak sempurna dan menghasilkan emisi GRK berupa CO₂, CH₄, dan N₂O. Umumnya, pembakaran jenis ini dilakukan oleh masyarakat. Kedua, pembakaran tertutup atau insinerasi, yang berlangsung pada suhu tinggi dan tidak dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Pembakaran yang terjadi bersifat sempurna sehingga hanya menghasilkan gas CO₂. Adanya pembakaran sampah di Kota Magelang karena adanya sampah yang belum terkelola (tidak terangkut ke TPSA). Karena sulitnya mengidentifikasi secara pasti data banyaknya pembakaran sampah yang dilakukan di Kota Magelang, maka dilakukan pendekatan menggunakan

data sampah yang belum terkelola dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Magelang.

**Tabel 2. 19 Sampah yang belum Terkelola (Pembakaran Sampah)
Kota Magelang 2020-2024.**

Tahun	Persentase (%)	Jumlah Timbunan (Ton/Tahun)
2020	0	0
2021	7,0000	2.061,355
2022	1,6200	476.031
2023	0	0
2024	0	0

Sumber: Dinas Lingkungan Hidup Kota Magelang, 2025

Dapat dilihat pada tabel di atas, bahwa jumlah timbunan sampah yang belum terkelola dan di bakar dari tahun 2021-2024 selalu mengalami penurunan bahkan pada tahun 2023 dan 2024 sama sekali tidak ada sampah yang dibakar. Tentunya dari proses pembakaran tersebut dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca.

2.3.4.3 Limbah Cair Domestik

Sektor limbah cair domestik mencakup air limbah yang berasal dari kegiatan rumah tangga, perkantoran, fasilitas umum, dan permukiman, seperti air buangan dari kamar mandi, dapur, dan toilet. Limbah cair ini dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK), terutama metana (CH_4) dan dinitrogen oksida (N_2O), akibat proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi anaerob, misalnya di tangki septik atau sistem pengolahan limbah yang tertutup. Besarnya emisi dipengaruhi oleh jumlah penduduk, tingkat layanan sanitasi, jenis sistem pengolahan, serta iklim setempat. Upaya pengendalian dapat dilakukan melalui peningkatan akses sanitasi layak, pengelolaan dan pemeliharaan instalasi pengolahan air limbah domestik, serta penerapan teknologi ramah lingkungan. Adapun data terkait pengelolaan limbah cair domestik Kota Magelang telah disajikan pada tabel berikut.

Tabel 2. 20 Pengelolaan Limbah Cair Domestik di Kota Magelang 2024

No	Jenis Sarana	Persentase
1	Tangki Septik	71,06%
2	Cubluk	18,93%
3	IPAL Terpusat	8,28%
4	Sungai kota	1,19%

*Sumber: Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kota
Magelang, 2025*

Data jenis sarana sanitasi bersumber dari Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (DPUPR) Kota Magelang yang mencatat sarana pengelolaan air limbah domestik berdasarkan Sistem Pengelolaan Air Limbah (SPAL). Untuk keperluan analisis, data SPAL dikelompokkan menjadi tiga kategori sarana sanitasi, yaitu:

- a. Tangki Septik, yang mencakup SPAL-DS dengan tangki septik layak;
- b. Cubluk, yang mencakup SPAL-DS non standar (Cubluk/lubang resapan)
- c. IPAL Terpusat, yang mencakup SPAL-DT yang terhubung dengan sistem sewerage dan IPAL Kota.

Pengelompokan ini disesuaikan dengan kondisi eksisting sanitasi di Kota Magelang serta kebutuhan penyajian data dalam dokumen inventarisasi dan perencanaan lingkungan. Persentase masing-masing jenis sarana sanitasi dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Persentase (\%)} = \frac{\text{Jumlah unit sarana sanitasi per kategori}}{\text{Total unit sarana sanitasi}} \times 100\%$$

Total unit sarana sanitasi merupakan penjumlahan seluruh SPAL yang tercatat. Adapun data dasar dari DPUPR Kota Magelang yang diambil melalui dokumen IKPLHD Kota Magelang sebagai berikut:

- SPAL-DT (IPAL Terpusat) = 2.206 Unit
- SPAL-DS (Tangki Septik) = 19.077 Unit
- SPAL-DS (Cubluk) = 5.043 Unit

Total Sarana Sanitasi (T)

$$T = 1.853 + 19.077 + 5.043 = 26.644 \text{ unit.}$$

Perhitungan Persentase

a. Tangki Septik

$$\begin{aligned}\text{Persentase (\%)} &= \frac{\text{Jumlah unit sarana sanitasi per kategori}}{\text{Total unit sarana sanitasi}} \times 100\% \\ &= \frac{19.077}{26.644} \times 100\% \\ &= 71,59\%\end{aligned}$$

b. Cubluk

$$\begin{aligned}\text{Persentase (\%)} &= \frac{\text{Jumlah unit sarana sanitasi per kategori}}{\text{Total unit sarana sanitasi}} \times 100\% \\ &= \frac{5.043}{26.644} \times 100\% \\ &= 18,93\%\end{aligned}$$

c. IPAL Terpusat (SPAL-DT)

$$\begin{aligned}\text{Persentase (\%)} &= \frac{\text{Jumlah unit sarana sanitasi per kategori}}{\text{Total unit sarana sanitasi}} \times 100\% \\ &= \frac{2.206}{26.644} \times 100\% \\ &= 8,28\%\end{aligned}$$

2.3.4.4 Limbah Cair Industri

Sektor limbah cair industri merupakan sumber emisi gas rumah kaca (GRK) yang berasal dari proses pengolahan atau pembuangan limbah cair hasil kegiatan industri. Emisi umumnya dihasilkan dari degradasi bahan organik dalam limbah cair melalui proses biologis, yang melepaskan gas metana (CH₄) dan dinitrogen oksida (N₂O). Besarnya emisi dipengaruhi oleh jenis industri, kadar bahan organik, teknologi pengolahan limbah yang digunakan, serta kondisi operasional instalasi pengolahan air limbah (IPAL). Pengendalian emisi pada sektor ini dapat dilakukan melalui peningkatan efisiensi proses produksi, penerapan teknologi pengolahan limbah yang lebih ramah lingkungan, dan pemanfaatan kembali air olahan untuk kebutuhan industri.

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

Berikut ini data limbah cair industri yang ada di Kota Magelang tahun 2024.

Tabel 2. 21 Limbah Cair Industri Kota Magelang 2024

No	Jenis Limbah	Produksi ton/tahun
1	<i>Beer & Malt</i>	0,04
2	<i>Coffee</i>	1,21
3	<i>Dairy Products</i>	0,85
4	<i>Fish Processing</i>	3,30
5	<i>Meat Poultry</i>	15,64
6	<i>Sugar Refining</i>	0,37
7	<i>Vegetables Oils</i>	0,02
8	<i>Wine & Vinegar</i>	253,31
9	<i>Vegetables, Fruit, and Juice</i>	4,21

Sumber: Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kota Magelang, 2025

BAB III

HASIL PERHITUNGAN EMISI GAS RUMAH KACA

3.1 Tingkat, Status, Kecenderungan Emisi GRK

Emisi GRK di Kota Magelang dipengaruhi secara langsung oleh konsumsi energi, proses industri dan penggunaan produk (IPPU), aktivitas pertanian, pemanfaatan lahan, hingga sistem pengolahan limbah. Faktor-faktor tersebut erat kaitannya dengan pertumbuhan penduduk, dinamika ekonomi, perubahan fungsi lahan, serta meningkatkan fluktuasi tingkat emisi GRK dari tahun ke tahun, sekaligus mencerminkan tantangan yang dihadapi Kota Magelang dalam menjaga keseimbangan antara pembangunan dan keberlanjutan lingkungan.

Berdasarkan hasil inventarisasi tahun 2024, total emisi GRK Kota Magelang tercatat 20.699,62 GgCO₂eq, angka ini sedikit menurun apabila dibandingkan dengan tahun sebelumnya yang mencapai 20.683,96 Gg CO₂eq. Penurunan tersebut terutama dipengaruhi oleh menurunnya emisi dari sektor energi menyumbang emisi sebesar 20.683,96 Gg CO₂eq, atau lebih dari 99% dari total emisi. Hal ini menunjukkan bahwa hampir seluruh emisi Kota Magelang bersumber dari konsumsi energi, baik untuk kebutuhan transportasi, rumah tangga, komersial, emisi di sektor energi menjadi prioritas utama untuk menekan laju peningkatan GRK di Kota Magelang.

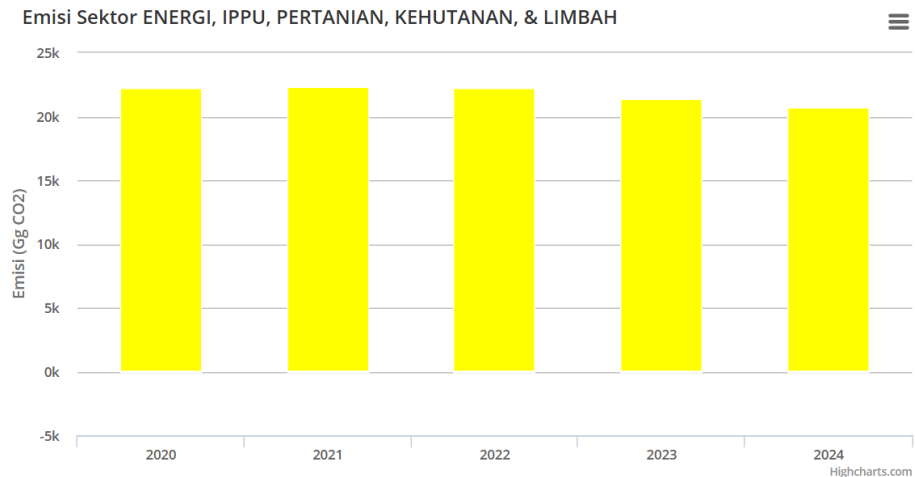
Selain sektor energi, terdapat kontribusi dari sektor lain yang relatif kecil namun tetap penting dalam memberikan gambaran menyeluruh. Sektor pertanian pada tahun 2024 menyumbang 1,76 Gg CO₂eq, angka yang relatif stabil dibandingkan tahun sebelumnya. Nilai yang kecil ini sejalan dengan berkurangnya aktivitas pertanian dan peternakan akibat semakin sempitnya lahan pertanian di wilayah perkotaan. Pada sektor limbah, emisi yang dihasilkan justru mengalami peningkatan, dari 11,73 Gg CO₂eq di tahun 2023 menjadi 15,75 Gg CO₂eq pada tahun 2024. Peningkatan ini mengindikasikan adanya tekanan akibat bertambahnya timbunan sampah seiring dengan pertumbuhan penduduk, sekaligus menandakan bahwa

sistem pengelolaan persampahan di Kota Magelang masih perlu diperkuat agar tidak menjadi sumber emisi yang semakin besar di masa depan.

Berbeda dengan sektor energi, pertanian, dan limbah, sektor kehutanan justru berperan sebagai penyerap emisi. Pada tahun 2024, sektor ini tercatat memberikan kontribusi negatif sebesar $-1,85 \text{ Gg CO}_2\text{eq}$. Angka ini memang relatif kecil, tetapi menunjukkan adanya fungsi ekologis tutupan vegetasi yang masih tersisa di Kota Magelang. Serapan ini tetap penting dalam menyeimbangkan emisi, meskipun skalanya terbatas karena keterbatasan ruang terbuka hijau dan hutan kota di kawasan perkotaan. Sementara itu, sektor IPPU tidak menunjukkan adanya kontribusi emisi selama kurun waktu 2014 – 2024, hal ini sejalan dengan karakter Kota Magelang yang bukan merupakan basis industri besar.

Secara keseluruhan, hasil inventarisasi GRK tahun 2024 menegaskan bahwa sektor energi masih menjadi penyumbang dominan emisi di Kota Magelang, sedangkan sektor limbah menunjukkan tren peningkatan yang perlu diantisipasi dengan penguatan pengelolaan. Sektor pertanian dan kehutanan memberikan kontribusi relatif kecil, tetapi tetap relevan sebagai indikator perubahan tata guna lahan dan potensi serapan karbon. Inventarisasi ini dilaksanakan untuk memperoleh gambaran tingkat, status, dan kecenderungan emisi GRK secara berkala, dengan metode perhitungan berbasis data aktivitas dan faktor emisi. Data aktivitas dikumpulkan melalui pendekatan *top down approach*, yang mengutamakan penggunaan data sekunder resmi dari instansi pemerintah maupun sumber kompeten lainnya. Adapun faktor emisi dan metodologi perhitungan mengacu pada *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory* (2006) yang mencakup parameter karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan dinitrogen oksida (N_2O) dari lima sektor utama, yaitu energi, IPPU, pertanian, kehutanan, dan limbah. Dengan demikian, hasil inventarisasi tahun 2024 ini dapat menjadi dasar penting dalam merumuskan strategi mitigasi perubahan iklim di Kota Magelang menuju pembangunan yang lebih berkelanjutan.

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025



Gambar 3. 1 Tren Emisi Gas Rumah Kaca Kota Magelang Tahun 2020-2024

Adapun detail kontribusi emisi dari masing-masing sektor telah disajikan dalam tabel berikut untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif.

Tabel 3. 1 Jumlah Emisi pada Setiap Sektor 2020-2024

Sektor	Tahun (Gg CO ₂ eq)				
	2020	2021	2022	2023	2024
Energi	22.253,02	22.286,31	22.199,53	21.402,65	20.683,96
IPPU	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pertanian	2,94	2,47	3,91	2,28	1,76
Kehutanan	-1,84	-1,84	-1,88	-1,88	-1,85
Limbah	11,14	10,60	25,10	11,73	15,75
Total	22.265,26	22.297,55	22.226,66	21.414,78	20.699,62

Sumber: Hasil kalkulasi emisi aplikasi SIGN-SMART, 2025

Berdasarkan hasil inventarisasi emisi gas rumah kaca (GRK) Kota Magelang tahun 2024, setiap sektor memiliki kontribusi yang berbeda terhadap total emisi yang dihasilkan. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan aplikasi SIGN-SMART yang mengacu pada pedoman IPCC 2006, sehingga mencakup tiga jenis gas utama yaitu karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan dinitrogen oksida (N₂O). Rincian hasil perhitungan emisi dari masing-masing sektor disajikan dalam tabel berikut untuk memberikan gambaran yang lebih terstruktur mengenai sumber dan besaran emisi GRK di Kota Magelang.

Tabel 3. 2 Rincian Hasil Emisi Kota Magelang Tahun 2024

Kategori	Emisi (Gg/tahun)		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Energi	20.637,85	1,66	0,04
IPPU	0,00	0,00	0,00
Pertanian	0,01	0,06	0,00
Kehutanan	-1,85	0,00	0,00
Limbah	0,00	0,58	0,01

Sumber: Hasil kalkulasi emisi aplikasi SIGN-SMART, 2025

Berdasarkan Tabel 3.2 di atas, dapat dilihat bahwa sektor energi merupakan penyumbang emisi terbesar di Kota Magelang pada tahun 2024 dengan total emisi karbon dioksida (CO₂) sebesar 20.637,85 Gg/tahun, disertai emisi metana (CH₄) sebesar 1,66 Gg/tahun dan dinitrogen oksida (N₂O) sebesar 0,04 Gg/tahun. Angka ini menunjukkan dominasi aktivitas energi, seperti penggunaan bahan bakar fosil untuk transportasi, industri, dan rumah tangga, sebagai kontributor utama emisi gas rumah kaca di wilayah ini. Sementara itu, sektor pertanian memberikan kontribusi relatif kecil, yaitu 0,01 Gg/tahun CO₂, 0,06 Gg/tahun CH₄, dan tidak terdapat emisi N₂O yang signifikan. Dari sektor kehutanan, tercatat nilai negatif untuk emisi CO₂ sebesar -1,85 Gg/tahun, yang menunjukkan adanya peran serapan karbon oleh vegetasi dan hutan yang berfungsi sebagai penyerap emisi (*carbon sink*). Adapun sektor limbah menghasilkan emisi CH₄ sebesar 0,58 Gg/tahun dan N₂O sebesar 0,01 Gg/tahun, tanpa adanya kontribusi CO₂. Sedangkan sektor IPPU (*Industrial Processes and Product Use*) tidak memberikan kontribusi emisi pada tahun 2024. Dengan demikian, hasil perhitungan ini menegaskan bahwa upaya mitigasi emisi di Kota Magelang perlu difokuskan pada sektor energi sebagai penyumbang terbesar, sembari mempertahankan fungsi serapan karbon pada sektor kehutanan serta mengendalikan emisi dari sektor limbah dan pertanian.

3.2 Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi

Energi merupakan salah satu pilar utama pembangunan yang tidak dapat dipisahkan dari dinamika kehidupan manusia. Setiap aktivitas ekonomi, sosial, maupun rumah tangga pada dasarnya membutuhkan energi, baik dalam bentuk listrik, bahan bakar cair, maupun sumber energi

lain. Seiring dengan pertumbuhan penduduk, urbanisasi, dan perkembangan sektor transportasi serta industri, kebutuhan energi menunjukkan kecenderungan terus meningkat dari waktu ke waktu. Tren ini tidak hanya terjadi pada skala global, tetapi juga nasional hingga daerah, termasuk di wilayah perkotaan yang relatif kecil namun padat.

Peningkatan konsumsi energi di satu sisi berkontribusi terhadap pertumbuhan ekonomi dan peningkatan kesejahteraan, namun di sisi lain membawa konsekuensi berupa bertambahnya emisi gas rumah kaca (GRK). Sektor energi menjadi penyumbang emisi terbesar secara global maupun nasional, mengingat sebagian besar sumber energi masih berasal dari bahan bakar fosil. Tingginya ketergantungan terhadap minyak bumi, gas, dan batu bara menjadikan sektor energi sangat rentan terhadap isu keberlanjutan, baik dari aspek ketersediaan pasokan maupun dampak lingkungan yang ditimbulkan.

IPCC Guidelines (2006) mengklasifikasikan emisi dari sektor energi menjadi tiga kelompok utama, yaitu: (1) pembakaran bahan bakar, (2) emisi fugitif dari proses produksi dan distribusi energi fosil, serta (3) emisi terkait dengan kegiatan penyimpanan karbon atau *Carbon Capture Storage* (CCS). Dari ketiga kelompok tersebut, pembakaran bahan bakar merupakan penyumbang emisi terbesar, karena hampir setiap proses konversi energi untuk kebutuhan listrik, transportasi, maupun rumah tangga menghasilkan gas buang. Gas utama yang dilepaskan adalah karbon dioksida (CO₂), diikuti oleh metana (CH₄) dan *dinitrogen oksida* (N₂O). CO₂ mendominasi karena merupakan hasil langsung dari pembakaran karbon, baik dari minyak bumi, gas, maupun batu bara.

Inventarisasi sektor energi mencakup dua ruang lingkup besar. Pertama adalah pengadaan energi, yang meliputi eksplorasi sumber energi primer, konversi energi primer menjadi energi sekunder yang siap pakai (misalnya pengolahan minyak mentah menjadi BBM atau konversi batu bara menjadi listrik), serta kegiatan distribusi energi hingga ke konsumen akhir. Kedua adalah penggunaan energi, yang mencakup konsumsi energi di berbagai sektor seperti rumah tangga, industri, komersial, dan transportasi.

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

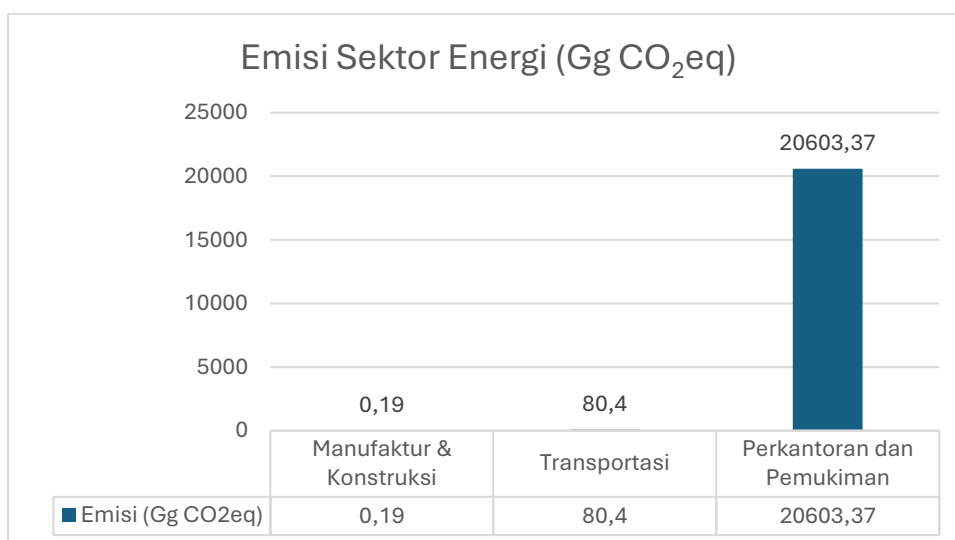
Selain itu terdapat kategori emisi *fugitif*, yang berasal dari kebocoran atau pelepasan gas pada proses penambangan minyak, gas, dan batu bara. Namun, kategori ini tidak relevan di semua wilayah, khususnya di daerah yang tidak memiliki aktivitas pertambangan energi fosil.

Di wilayah perkotaan seperti Kota Magelang, meskipun tidak terdapat aktivitas ekstraktif energi fosil, konsumsi energi tetap tinggi karena didorong oleh kebutuhan transportasi, aktivitas rumah tangga, dan industri. Dari ketiga kategori tersebut, transportasi menjadi kontributor yang cukup dominan dan termasuk ke dalam kategori kunci utama penyumbang emisi. Mengacu pada pedoman inventarisasi, kategori transportasi mencakup aktivitas penerbangan sipil, transportasi jalan, perkeretaapian, angkutan air, maupun moda transportasi lainnya. Akan tetapi, kondisi di Kota Magelang menunjukkan bahwa aktivitas transportasi yang ada hanya terbatas pada moda jalan raya. Sementara itu, penerbangan sipil, kereta api, angkutan air, dan moda transportasi lainnya tidak terdapat di wilayah ini sehingga tidak diperhitungkan dalam inventarisasi dan dinyatakan *Not Applicable*.

Tabel 3. 3 Emisi Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi Tahun 2024

Kategori	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Industri Manufaktur dan Konstruksi	0,19	0,00	0,00
Transportasi	78,60	0,03	0,00
Residential	20.559,06	1,63	0,03
Total	20.637,85	1,66	0,04

Sumber: Hasil Perhitungan SIGN SMART, 2025



Gambar 3. 2 Grafik Emisi Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi

3.2.1 Industri Energi

Dalam inventarisasi emisi gas rumah kaca, salah satu kategori dalam sektor energi adalah industri energi. Kategori ini mencakup seluruh kegiatan yang terkait dengan proses produksi energi, mulai dari konversi energi primer menjadi energi sekunder (misalnya pengolahan minyak mentah menjadi BBM, atau pembangkitan listrik dari batu bara dan gas), hingga kegiatan penyaluran dan distribusi energi. Dengan demikian, industri energi berfokus pada aktivitas yang menghasilkan energi siap pakai untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga, transportasi, industri, maupun sektor komersial.

Di Kota Magelang sendiri, kategori industri energi tidak memberikan kontribusi terhadap emisi GRK. Hal ini disebabkan karena wilayah Kota Magelang tidak memiliki fasilitas pembangkit listrik atau unit produksi energi lainnya. Keberadaan UP3D PLN di Kota Magelang hanya berfungsi sebagai unit distribusi listrik, bukan sebagai penyedia energi primer maupun sekunder. Kebutuhan energi listrik masyarakat Kota Magelang dipasok dari pembangkit yang berlokasi di Semarang, yang juga melayani daerah lain di sekitarnya. Jika emisi dari pembangkit di Semarang turut dihitung sebagai emisi Kota Magelang, maka akan terjadi duplikasi perhitungan dengan kota/kabupaten lain. Oleh karena itu, kontribusi emisi dari kategori industri energi di Kota Magelang ditetapkan bernilai nol.

3.2.2 Industri Manufaktur dan Konstruksi

Dalam klasifikasi sektor energi, industri manufaktur dan konstruksi merupakan kategori yang menghitung emisi gas rumah kaca (GRK) dari penggunaan bahan bakar pada aktivitas produksi maupun kegiatan konstruksi. Sumber emisi pada kategori ini terutama berasal dari konsumsi energi pada mesin, peralatan stasioner, maupun proses industri yang menggunakan bahan bakar fosil maupun gas.

Berdasarkan hasil inventarisasi di Kota Magelang, kontribusi emisi dari kategori ini relatif kecil. Total emisi yang dihasilkan hanya sebesar 0,19 GgCO₂eq, menjadikannya salah satu penyumbang emisi dengan proporsi paling rendah di sektor energi. Rendahnya kontribusi ini sejalan dengan

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

karakteristik Kota Magelang sebagai kota jasa, perdagangan, dan pemerintahan, yang tidak memiliki basis industri manufaktur berskala besar.

Adapun rincian konsumsi bahan bakar pada kategori ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. 4 Konsumsi Bahan Bakar Kategori Industri Manufaktur dan Konstruksi

Jenis Bahan Bakar	Jumlah Pemakaian	Satuan
Solar	1,009	Kilo Liter
Minyak Tanah	0,032	Kilo Liter
LPG	58	Ton

Sumber: Dinas Perdagangan Perindustrian Koperasi dan Usaha Mikro (DPPKUM), 2024

Dari data tersebut terlihat bahwa LPG mendominasi pemakaian energi di sektor industri manufaktur dan konstruksi, terutama untuk kebutuhan industri kecil dan menengah yang mengutamakan efisiensi serta kemudahan distribusi. Sementara itu, penggunaan solar dan minyak tanah relatif sangat kecil, kemungkinan hanya terbatas untuk operasional mesin tertentu atau konstruksi skala kecil.

Dengan demikian, hasil analisis memperlihatkan bahwa sektor industri manufaktur dan konstruksi di Kota Magelang belum menjadi sumber emisi GRK yang signifikan. Namun, pencatatan emisi pada kategori ini tetap penting dilakukan untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai kontribusi tiap sektor dalam total emisi GRK Kota Magelang, sekaligus sebagai dasar pemantauan apabila di masa mendatang terjadi perkembangan aktivitas industri yang lebih besar.

Tabel 3. 5 Faktor Emisi Industri Manufaktur dan Konstruksi

Jenis Bahan Bakar	Faktor Emisi (Kg/Tj)		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Premium	69.300	3	0,6
Solar	74.100	4	0,36
Minyak Diesel	74.100	3	0,6
Marine Fuel Oil	77.400	3	0,6
Kerosene	71.900	3	0,6

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

Jenis Bahan Bakar	Faktor Emisi (Kg/Tj)		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Gas Alam	56.100	1	0,1
LPG	63.100	1	0,1
Batu Bara	96.100	10	1,5
Biomass Lainnya	0	30	4,0

Sumber: IPCC Guidelines, 2006

Tabel 3. 6 Emisi GRK Industri Manufaktur Kota Magelang 2024

Parameter	Emisi (Gg)	Emisi (Ton)
CO ₂	0,19	190
CH ₄	0,00	0,00
N ₂ O	0,00	0,00
Total	0,19	190

Sumber: Hasil Perhitungan SIGN-SMART, 2025

Persamaan 20

$$\text{Emisi Gg CO}_2\text{eq} = (0,19 \times 1) + (0,00 \times 21) + (0,00 \times 310)$$

Emisi GRK sektor industri manufaktur dan konstruksi di Kota Magelang pada tahun 2024 tercatat relatif sama dengan tahun sebelumnya (2023), tanpa adanya peningkatan signifikan. Sumber utama emisi berasal dari penggunaan bahan bakar fosil seperti solar, minyak tanah, dan LPG yang digunakan dalam proses produksi maupun kegiatan operasional konstruksi. Secara umum, aktivitas industri manufaktur di Kota Magelang masih didominasi oleh skala kecil hingga menengah, antara lain industri tekstil, konveksi, batik, makanan-minuman, serta kerajinan yang tersebar di beberapa kawasan seperti Kramat Selatan, Tidar, dan Potrobangsari. Selain itu, kegiatan konstruksi yang cukup intensif, baik berupa pembangunan perumahan, fasilitas publik, maupun infrastruktur kota, turut menyumbang konsumsi energi fosil tersebut. Meskipun kontribusi emisinya relatif kecil dibandingkan sektor lain, keberadaan sektor industri manufaktur dan konstruksi tetap menjadi bagian penting dalam inventarisasi GRK Kota Magelang, sehingga pengendalian penggunaan bahan bakar pada sektor ini perlu tetap diperhatikan secara berkelanjutan.

3.2.3 Transportasi

Salah satu penyumbang emisi penting di Kota Magelang adalah sub-sektor transportasi. Hal ini berkaitan erat dengan tingginya mobilitas

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

masyarakat dalam mendukung aktivitas perkotaan, baik untuk bekerja, bersekolah, maupun kegiatan ekonomi lainnya. Dalam pedoman inventarisasi, kategori transportasi meliputi penerbangan sipil, transportasi jalan, kereta api, angkutan air, dan transportasi lainnya. Namun, kondisi di Kota Magelang berbeda karena moda transportasi yang dominan hanya berasal dari transportasi jalan raya, baik kendaraan pribadi maupun angkutan umum. Sementara itu, kegiatan transportasi penerbangan sipil, kereta api, maupun angkutan air tidak tersedia di wilayah Kota Magelang. Oleh karena itu, perhitungan emisi GRK sub-sektor transportasi di Kota Magelang hanya difokuskan pada transportasi jalan, sedangkan kategori lainnya tidak dihitung dan dikategorikan ke dalam NA (*Not Applicable*).

Tabel 3. 7 Faktor Emisi Bahan Bakar untuk Transportasi

Jenis Bahan Bakar	Faktor Emisi (Kg/Tj)		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Premium	69.300	33	3,2
Pertamax	69.300	33	3,2
Pertamax Plus	69.300	33	3,2
Solar	74.100	4	3,9
Bio Solar	74.100	4	3,9
Marine Fuel Oil	77.400	1	2
BBG	56.100	92	3
Avgas	69.300	1	2
Kerosine	71.900	1	2
Jet Kerosine	71.500	1	2
Bio Diesel	0	30	4

Sumber: IPCC Guidelines, 2006

Adapun rincian konsumsi bahan bakar pada kategori ini dan jumlah kendaraan bermotor serta jenis bahan bakar yang digunakan telah disajikan pada tabel berikut.

Tabel 3. 8 Konsumsi Bahan Bakar Transportasi

Jenis Bahan Bakar	Jumlah Pemakaian	Satuan
Pertalite	22.182,29	Kilo Liter
Pertamax	4.501,65	Kilo Liter
Pertamax Plus	164,77	Kilo Liter
Bio Solar	5.515,96	Kilo Liter
Dexlite	335,62	Kilo Liter

Sumber: Bagian Perekonomian Setda Kota Magelang

Tabel 3. 9 Jumlah Kendaraan Bermotor dan Jenis Bahan Bakar yang digunakan Kota Magelang Tahun 2024

No	Jenis Kendaraan Bermotor	Jumlah	Bensin	Solar
1	Sepeda Motor	84.843	84.843	-
2	Mobil Penumpang	33.214	16.754	510
3	Mobil Bus	907	-	907
4	Mobil Barang	5.274	-	5.274
5	Kendaraan Khusus	-	-	-
Total		108.288	101.597	6.691

Sumber: UPPD Kota Magelang Tahun 2024

Mengacu pada data yang tersedia, perhitungan emisi transportasi didasarkan pada jenis bahan bakar yang di konsumsi. Hasil perhitungan emisi sektor transportasi Kota Magelang sektor transportasi dengan mengaplikasikan data aktivitas dan faktor emisi dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. 10 Emisi GRK dari Kegiatan Transportasi

Parameter	Emisi (Gg)	Emisi (Ton)
CO ₂	78,60	78.600
CH ₄	0,03	30
N ₂ O	0,00	0
Total	80,40	80.400

Sumber: Hasil Perhitungan SIGN-SMART, 2025

Persamaan 21

$$\text{Emisi Gg CO}_2\text{eq} = (78,60 \times 1) + (0,03 \times 21) + (0,00 \times 310)$$

Emisi GRK dari sektor transportasi Kota Magelang pada tahun 2024 mengalami penurunan dibandingkan tahun 2023, khususnya untuk emisi CO₂ dan CH₄. Penurunan ini terutama disebabkan oleh berkurangnya konsumsi bahan bakar fosil dengan nilai emisi tinggi, terutama RON 90 yang turun signifikan dari 26.736 kiloliter pada tahun 2023 menjadi 22.182 kiloliter pada tahun 2024, serta Bio Solar yang menurun dari 8.988 kiloliter menjadi 5.516 kiloliter pada periode yang sama. Walaupun terdapat peningkatan konsumsi RON 92 (dari 3.932 menjadi 4.502 kiloliter), munculnya konsumsi RON 95 sebesar 165 kiloliter, serta peningkatan penggunaan Dexlite (dari 73 menjadi 336 kiloliter), perubahan komposisi ini tetap mengarah pada emisi yang lebih rendah karena terjadi pergeseran

konsumsi ke bahan bakar dengan kualitas lebih baik (RON lebih tinggi dan solar dengan kandungan sulfur lebih rendah). Selain itu, meskipun jumlah kendaraan bermotor pada tahun 2024 cukup tinggi, mayoritas berupa sepeda motor berbahan bakar bensin (84.843 unit) dengan efisiensi relatif lebih baik per liter bahan bakar dibanding kendaraan berbahan bakar solar. Faktor-faktor tersebut secara keseluruhan menjelaskan terjadinya penurunan emisi CO₂ dan CH₄ dari sub-sektor transportasi di Kota Magelang pada tahun 2024.

3.2.4 Residential

Penggunaan energi pada kategori residential di Kota Magelang merupakan salah satu penyumbang emisi gas rumah kaca dari aktivitas konsumsi energi rumah tangga. Sumber utama emisi berasal dari penggunaan listrik untuk kebutuhan sehari-hari, serta konsumsi LPG sebagai bahan bakar utama untuk memasak. Pola penggunaan energi rumah tangga yang cukup tinggi, seiring dengan padatnya jumlah penduduk di kawasan perkotaan, menjadikan sub-sektor ini tetap memberikan kontribusi signifikan terhadap emisi GRK di Kota Magelang.

Tabel 3. 11 Faktor Emisi Beberapa Jenis Bahan Bakar

Jenis Bahan Bakar	Faktor Emisi (Kg/Tj)		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Kerosene	71.900	10	0,6
LPG	63.100	5	0,1
Gas Alam	56.100	5	0,1

Sumber: IPCC Guidelines, 2006

Berdasarkan pada hasil perhitungan, emisi dari kegiatan komersial, institusi, dan residential dari penggunaan LPG yang didistribusikan oleh ESDM Provinsi Jawa Tengah dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. 12 Emisi GRK dari Residential Kota Magelang 2024

Parameter	Emisi (Gg)	Emisi (Ton)
CO ₂	20.559,06	20.559.060
CH ₄	1,63	1.630
N ₂ O	0,03	30
Total	20.603,37	20.603.370

Sumber: Hasil Perhitungan SIGN-SMART, 2025

Persamaan 22

$$\text{Emisi Gg CO}_2\text{eq} = (20.559,06 \times 1) + (1,63 \times 21) + (0,03 \times 310)$$

Emisi GRK dari sub-sektor residential di Kota Magelang pada tahun 2024 tercatat mengalami penurunan dibandingkan tahun 2023, baik untuk CO₂, CH₄, maupun N₂O. Penurunan ini erat kaitannya dengan menurunnya konsumsi LPG rumah tangga, dari 6.724.522 ton pada tahun 2023 menjadi 6.503.336 ton pada tahun 2024. LPG merupakan sumber energi utama di sektor rumah tangga, sehingga penurunan volume konsumsi berbanding lurus dengan berkurangnya jumlah emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran. Kondisi ini dapat mengindikasikan adanya peningkatan efisiensi penggunaan energi di rumah tangga, kemungkinan beralihnya sebagian kebutuhan energi ke listrik, serta meningkatnya kesadaran masyarakat dalam menggunakan energi secara lebih hemat. Dengan demikian, sub sektor residential memberikan kontribusi pada tren penurunan emisi GRK Kota Magelang tahun 2024.

3.2.5 Industri Lainnya, Batu Bara, dan Minyak Gas Bumi

Industri lainnya dikategorikan untuk kategori industri dengan kegiatan perikanan, pertanian, kehutanan, nelayan. Berdasarkan hasil perhitungan, emisi dari sub-sektor industri lainnya tercatat 0. Hal ini terjadi karena Kota Magelang merupakan wilayah perkotaan dengan luas wilayah terbatas dan tingkat urbanisasi tinggi. Dengan kondisi tersebut, kegiatan ekonomi yang berasal dari sub-sektor pertanian, kehutanan, perikanan, dan nelayan hampir tidak ada atau hanya berlangsung dalam skala rumah tangga kecil sehingga tidak memberikan kontribusi signifikan terhadap emisi GRK.

Pada sub sektor Batu Bara, nilai nol tercatat karena memang tidak ada konsumsi batu bara yang teridentifikasi. Tidak terdapat industri besar berbasis batu bara di Kota Magelang, sehingga energi utama yang digunakan masyarakat maupun industri adalah listrik, LPG, dan biomassa dalam skala terbatas.

Sementara itu, sub sektor Minyak & Gas Bumi juga bernilai nol karena Kota Magelang tidak memiliki kegiatan eksplorasi maupun pemrosesan migas, serta tidak tersedia jaringan distribusi gas bumi (PGN).

Penggunaan minyak bumi hanya terbatas pada bahan bakar transportasi, yang sudah dihitung pada sektor transportasi, bukan pada sub-sektor industri.

Dengan demikian, nilai emisi 0 pada ketiga sub-sektor ini mencerminkan kondisi nyata Kota Magelang, di mana tidak terdapat penggunaan batu bara, minyak dan gas bumi, maupun aktivitas industri lain (pertanian, kehutanan, perikanan) yang signifikan dalam menghasilkan emisi GRK.

3.3 Sektor IPPU (*Industrial Processes and Product Use*)

Emisi GRK dari kegiatan IPPU mencakup seluruh emisi GRK emisi GRK yang terjadi selama proses/reaksi kimiawi industri, penggunaan gas-gas kategori GRK di dalam produk, dan penggunaan karbon bahan bakar fosil untuk kegiatan (non-energi), yaitu bukan untuk penyediaan energi namun untuk kegiatan produksi. Sumber-sumber emisi dari sektor IPPU dalam inventarisasi emisi GRK pada dokumen ini dikelompokkan dalam beberapa item, yaitu :

- (a) industri mineral
- (b) industri kimia
- (c) industri logam
- (d) industri Non-Energi
- (e) Lainnya

Berdasarkan hasil pengolahan data dengan aplikasi SIGN SMART, sektor IPPU di Kota Magelang tercatat menghasilkan emisi 0. Kondisi ini sesuai dengan karakteristik wilayah Kota Magelang, yang didominasi oleh sektor jasa, perdagangan, pariwisata, serta industri kecil-menengah berbasis kerajinan, mebel, makanan, dan minuman. Kota Magelang tidak memiliki industri skala besar yang umumnya menjadi sumber emisi IPPU.

Dengan demikian, nilai 0 pada sektor IPPU mencerminkan kondisi riil wilayah, di mana kontribusi emisi dari proses industri dan penggunaan produk berbasis gas rumah kaca tidak signifikan di dalam batas administrasi Kota Magelang.

3.4 Sektor Pertanian

Emisi GRK dari sektor pertanian diduga dari emisi metana (CH_4) dari budidaya padi sawah karbon dioksida (CO_2) karena penambahan bahan kapur dan pupuk urea, dinitrogen oksida (N_2O) dari tanah, termasuk emisi N_2O tidak langsung dari penambahan N ke tanah karena penguapan/pengendapan dan pencucian, dan non- CO_2 dari biomassa yang dibakar pada aktivitas pertanian.

Hasil inventarisasi emisi gas rumah kaca (GRK) menunjukkan bahwa sektor pertanian turut menyumbang emisi GRK di Kota Magelang, meskipun kontribusinya relatif kecil dibanding sektor energi. Total emisi dari sektor ini selama periode 2020–2024 berkisar antara 1,79 hingga 3,91 Gg CO_2eq per tahun, dengan tren cenderung menurun sejalan dengan berkurangnya luas lahan sawah dan terbatasnya kegiatan budidaya pertanian di wilayah perkotaan.

Meskipun luas panen padi sawah di Kota Magelang menunjukkan tren menurun, data produksi dan produktivitas justru mengalami kenaikan. Kondisi ini mencerminkan adanya peningkatan produktivitas lahan. Adapun dapat melalui penerapan varietas unggul, teknik budidaya modern, dan perbaikan sistem irigasi. Konversi lahan umumnya terjadi pada sawah dengan produktivitas rendah, sehingga sawah yang masih dipertahankan merupakan lahan beririgasi baik dengan hasil panen lebih tinggi. Selain itu, intensitas tanam yang lebih tinggi memungkinkan petani memanen lebih dari satu kali dalam setahun, sehingga produksi total tetap meningkat meskipun luas lahan berkurang. Hal ini dibuktikan dengan meningkatnya hasil pertanian dari buah duku, durian, jambu air, jambu biji, pisang, rambutan, penggunaan NPK, luas panen jagung, serta produksi dan produktivitas padi sawah dibandingkan dengan tahun sebelumnya.

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

Adapun rincian hasil emisi pada sektor ini dapat dilihat pada tabel berikut.

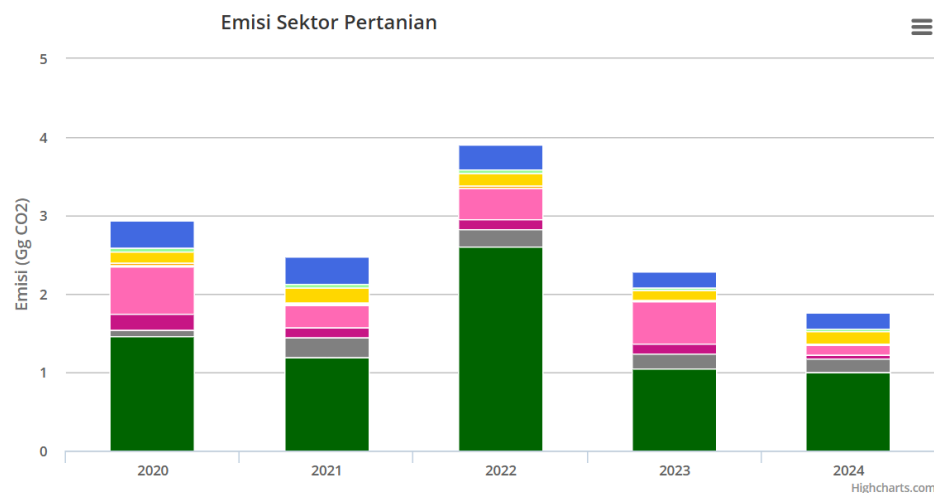
Tabel 3. 13 Emisi GRK Sektor Pertanian Kota Magelang

Kategori	Emisi GRK (CO _{2eq} Gg)				
	2020	2021	2022	2023	2024
Fermentasi Enterik	0,36	0,34	0,32	0,19	0,21
Emisi CH ₄ Langsung dari Pengolahan Kotoran Ternak	0,04	0,05	0,05	0,03	0,03
Emisi N ₂ O Langsung dari Pengolahan Kotoran Ternak	0,14	0,18	0,17	0,13	0,15
Pembakaran Biomassa pada Lahan Pertanian (<i>Cropland</i>)	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
Pembakaran Biomassa pada Lahan Padang Rumput (<i>Grassland</i>)	0	0	0	0	0
Penambahan Kapur (<i>Liming</i>)	0	0	0	0	0
Pemupukan Urea	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Emisi N ₂ O Langsung dari Tanah yang Dikelola	0,60	0,29	0,39	0,54	0,13
Emisi N ₂ O Tidak Langsung dari Tanah yang Dikelola	0,20	0,12	0,13	0,13	0,05

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

Kategori	Emisi GRK (CO _{2eq} Gg)				
	2020	2021	2022	2023	2024
Emisi N ₂ O Tidak Langsung dari Pengelolaan Kotoran Ternak	0,08	0,25	0,23	0,19	0,17
Budidaya Padi Sawah	1,46	1,20	2,60	1,50	1,01
Total	2,94	2,47	3,91	2,28	1,76

Sumber: Hasil Perhitungan SIGN-SMART, 2025



Gambar 3. 3 Emisi per Kategori Sektor Pertanian 2020-2024

Dari data inventarisasi Emisi GRK Kota Magelang didapatkan bahwa nilai emisi GRK tahun 2024 sebesar 2,44 Gg CO₂ nilai ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan emisi GRK apabila dibandingkan dengan tahun 2023, peningkatan sekitar 0,16 Gg CO₂. Meskipun mengalami kenaikan tahunan, angka emisi tahun 2024 ini masih jauh rendah dibandingkan puncak emisi historis yang terjadi pada periode 2020-2024, ketika total emisi sektor pertanian sempat mencapai 3,91 Gg CO_{2e}.

Sementara itu, Pembakaran Biomassa pada Lahan Padang Rumput (*Grassland Burning*) dan Penambahan Kapur (*Liming*) dalam sektor pertanian tidak menghasilkan emisi GRK di Kota Magelang (bernilai 0) sepanjang periode inventarisasi. Kondisi ini disebabkan oleh karakteristik wilayah Kota Magelang yang tidak memiliki padang rumput alami atau

lahan penggembalaan berskala besar yang biasanya menjadi sumber emisi dari pembakaran biomassa, serta minimnya praktik pengapuran lahan pertanian. Nilai nol pada kedua kategori tersebut menunjukkan bahwa aktivitas yang berpotensi menghasilkan emisi GRK dari sumber ini memang tidak signifikan atau bahkan tidak terjadi di Kota Magelang.

3.4.1 Fermentasi Enterik

Fermentasi enterik merupakan salah satu sumber emisi dalam sektor pertanian, yaitu proses pencernaan yang terjadi pada ternak ruminansia (memamah biak) ketika mikroorganisme di dalam rumen memecah bahan pakan berserat. Proses ini menghasilkan gas metana (CH₄) yang dilepaskan ke atmosfer melalui sendawa atau pernapasan hewan. Di Kota Magelang, kontribusi emisi dari fermentasi enterik tergolong kecil karena populasi ternak ruminansia relatif terbatas di wilayah perkotaan. Meski demikian, emisi ini tetap dihitung karena metana memiliki potensi pemanasan global yang jauh lebih tinggi dibanding CO₂ sehingga peningkatan efisiensi pakan, perbaikan manajemen peternakan, dan pengaturan populasi ternak tetap penting untuk menekan emisi sub sektor ini.

**Tabel 3. 14 Emisi GRK Kegiatan Fermentasi Enterik di Kota
Magelang 2024**

Parameter	Emisi (Gg)	Emisi (Ton)
	2024	
CO ₂	0,00	0,00
CH ₄	0,01	10
N ₂ O	0,00	0,00
Total (CO₂ eq)	0,21	210

Sumber: SIGN SMART, 2025

Persamaan 23

$$\text{Emisi Gg CO}_2\text{eq} = (0,01 \times 21)$$

Perhitungan emisi di atas menunjukkan hasil dari kegiatan fermentasi enterik yaitu sebesar 0,21 Gg CO₂eq (210 Ton CO₂eq) pada tahun 2024.

3.4.2 Fermentasi Emisi CH₄ Langsung dari Pengolahan Kotoran Ternak

Kegiatan pengelolaan kotoran ternak biasanya menghasilkan emisi GRK berupa CH₄ dan N₂O baik langsung maupun tidak langsung. N₂O

langsung merupakan emisi dari penguapan dalam bentuk N₂O, sedangkan N₂O tidak langsung bersumber dari penguapan dalam bentuk NH₃.

**Tabel 3. 15 Emisi GRK Fermentasi Emisi CH₄ Langsung dari
Pengolahan Kotoran Ternak di Kota Magelang 2024**

Parameter	Emisi (Gg)	Emisi (Ton)
	2024	
CO ₂	0,00	0,00
CH ₄	0,00	0,00
N ₂ O	0,00	0,00
Total (CO₂ eq)	0,03	30

Sumber: SIGN SMART, 2025

Persamaan 24

$$\text{Emisi Gg CO}_2 \text{ eq} = (0,00 \times 21)$$

Emisi yang dihasilkan dari fermentasi emisi CH₄ langsung dari pengolahan kotoran ternak dihitung menggunakan rumus perhitungan total emisi CH₄ 0,01 x 21 hingga didapatkan hasil sebesar 0,03 Gg CO₂eq (30 CO₂eq).

3.4.3 Emisi N₂O Langsung dari Pengolahan Kotoran Ternak

Emisi dinitrogen oksida (N₂O) langsung dari pengelolaan kotoran ternak timbul akibat proses nitrifikasi dan denitrifikasi nitrogen yang terdapat dalam kotoran hewan selama penyimpanan atau pengolahan. Nitrogen dalam bentuk amonia dan senyawa organik pada kotoran mengalami oksidasi dan reduksi oleh mikroorganisme sehingga menghasilkan gas N₂O.

**Tabel 3. 16 Emisi GRK Fermentasi Emisi N₂O Langsung dari
Pengolahan Kotoran Ternak di Kota Magelang 2024**

Parameter	Emisi (Gg)	Emisi (Ton)
	2024	
CO ₂	0,00	0,00
CH ₄	0,00	0,00
N ₂ O	0,00	0,00
Total (CO₂ eq)	0,15	150

Sumber: SIGN SMART, 2025

Persamaan 25

$$\text{Emisi Gg CO}_2 \text{ eq} = (0,00 \times 310)$$

Emisi N₂O Langsung yang dihasilkan dari dari Pengolahan Kotoran Ternak menggunakan rumus perhitungan total emisi N₂O 0,00 x 310 hingga didapatkan hasil sebesar 0,15 Gg CO₂eq (150 Ton CO₂eq).

3.4.4 Pembakaran Biomassa pada Lahan Pertanian (*Cropland*)

Pembakaran biomassa pada lahan pertanian merupakan sumber emisi gas rumah kaca (GRK) yang berasal dari pembakaran sisa-sisa tanaman seperti jerami padi, batang jagung, atau limbah pertanian lainnya setelah proses panen. Praktik pembakaran dilakukan untuk membersihkan lahan dengan cepat sebelum masa tanam berikutnya, namun proses ini melepaskan berbagai gas seperti karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan dinitrogen oksida (N₂O) ke atmosfer.

**Tabel 3. 17 Emisi GRK Pembakaran Biomassa pada Lahan Pertanian
(*Cropland*) di Kota Magelang 2024**

Parameter	Emisi (Gg)	Emisi (Ton)
	2024	
CO ₂	0,00	0,00
CH ₄	0,00	0,00
N ₂ O	0,00	0,00
Total (CO₂ eq)	0,01	10

Sumber: SIGN SMART, 2025

Persamaan 26

$$\text{Emisi Gg CO}_2 \text{ eq} = (0,00 \times 21) + (0,00 \times 310)$$

3.4.5 Pemupukan Urea

Kegiatan penggunaan pupuk urea pada budidaya pertanian menyebabkan lepasnya CO₂ yang diikat selama proses pembuatan pupuk. Pupuk urea (CO(NH₂)₂) diubah menjadi Amonium (NH₄⁺), ion Hidroksil (OH⁻), dan Bikarbonat (HCO₃⁻) dengan adanya air dan *enzim urease*. Reaksi aplikasi urea pada tanah terjadi seperti pada penambahan kapur. Bikarbonat yang terbentuk selanjutnya berkembang menjadi CO₂ dan air. Kategori ini dimasukkan karena pengambilan CO₂ dari atmosfer selama pembuatan urea diperhitungkan di sektor industri.

Tabel 3. 18 Emisi GRK Pemupukan Urea di Kota Magelang 2024

Parameter	Emisi (Gg)	Emisi (Ton)
	2024	
CO ₂	0,01	10
CH ₄	0,00	0,00
N ₂ O	0,00	0,00
Total (CO₂ eq)	0,01	10

Sumber: SIGN SMART, 2025

Persamaan 27
Emisi Gg CO ₂ eq = (0,01 x 1)

Hasil perhitungan emisi gas rumah kaca pada kegiatan penggunaan pupuk tahun 2024 didapatkan sebesar 0,01 Gg CO₂eq (10 Ton CO₂ eq). Jika dibandingkan dengan tahun lalu, emisi yang dihasilkan pada tahun 2024 ini tidak mengalami perubahan.

3.4.6 Emisi N₂O Langsung dari Tanah yang Dikelola

Emisi dinitrogen oksida (N₂O) langsung dari tanah yang dikelola timbul akibat proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang terjadi pada tanah pertanian ketika nitrogen dari pupuk buatan, pupuk kandang, atau sisa tanaman mengalami transformasi biologis. Penambahan nitrogen ke tanah baik melalui pemupukan urea, penggunaan pupuk anorganik, maupun pengembalian sisa tanaman meningkatkan kandungan nitrogen yang kemudian diubah oleh mikroorganisme menjadi N₂O.

**Tabel 3. 19 Emisi N₂O Langsung dari Tanah yang Dikelola di Kota
Magelang 2024**

Parameter	Emisi (Gg)	Emisi (Ton)
	2024	
CO ₂	0,00	0,00
CH ₄	0,00	0,00
N ₂ O	0,00	0,00
Total (CO₂ eq)	0,13	130

Sumber: SIGN SMART, 2025

Persamaan 28
Emisi Gg CO ₂ eq = (0,00 x 310)

3.4.7 Emisi N₂O Tidak Langsung dari Tanah yang Dikelola

Emisi dinitrogen oksida (N₂O) tidak langsung dari tanah yang dikelola terjadi ketika nitrogen yang diberikan ke lahan pertanian tidak seluruhnya diserap tanaman dan sebagian hilang ke lingkungan. Di Kota Magelang, sumber emisi ini berasal dari penggunaan pupuk kimia (misalnya urea) maupun pupuk organik yang diaplikasikan pada lahan sawah dan hortikultura.

Tabel 3. 20 Emisi N₂O Tidak Langsung dari Tanah yang Dikelola di Kota Magelang 2024

Parameter	Emisi (Gg)	Emisi (Ton)
	2024	
CO ₂	0,00	0,00
CH ₄	0,00	0,00
N ₂ O	0,00	0,00
Total (CO₂ eq)	0,05	50

Sumber: SIGN SMART, 2025

Persamaan 29
Emisi Gg CO ₂ eq = (0,00 x 310)

Hasil dari perhitungan di atas diperoleh hasil emisi N₂O tidak langsung sebesar 0,05 Gg CO₂ eq (160 Ton CO₂ eq).

3.4.8 Emisi N₂O Tidak Langsung dari Pengelolaan Kotoran Ternak

Emisi dinitrogen oksida (N₂O) tidak langsung dari pengelolaan kotoran ternak terjadi ketika nitrogen yang terkandung dalam kotoran hewan terlepas ke lingkungan melalui proses volatilisasi (penguapan amonia/NO_x) atau pencucian (*leaching*) selama penyimpanan, penumpukan, atau pengolahan. Nitrogen yang hilang ini kemudian mengalami reaksi kimia dan biologis di udara atau perairan sehingga menghasilkan gas N₂O yang dilepaskan ke atmosfer.

Tabel 3. 21 Emisi N₂O Tidak Langsung dari Pengelolaan Kotoran Ternak di Kota Magelang 2024

Parameter	Emisi (Gg)	Emisi (Ton)
	2024	
CO ₂	0,00	0,00
CH ₄	0,00	0,00
N ₂ O	0,00	0,00

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

Parameter	Emisi (Gg)	Emisi (Ton)
	2024	
Total (CO₂ eq)	0,17	170

Sumber: SIGN SMART, 2025

Persamaan 30
Emisi Gg CO ₂ eq = (0,00 x 310)

Hasil dari perhitungan di atas diperoleh hasil emisi N₂O tidak langsung sebesar 0,17 Gg CO₂ eq (160 Ton CO₂ eq).

3.4.9 Budidaya Padi Sawah

Di Kota Magelang, aktivitas pertanian padi sawah masih dijalankan meskipun luas lahan pertanian mengalami penurunan setiap tahunnya akibat alih fungsi lahan, di mana pada tahun 2013 luas lahan sawah Magelang seluas 210,7 Ha namun terus menurun hingga pada tahun 2023 menjadi seluas 105,54 Ha data ini di dapatkan dari DIKPLHD Kota Magelang. Data inventarisasi emisi GRK tahun 2024 menunjukkan bahwa emisi dari budidaya padi sawah masih menjadi salah satu kontributor penting dalam sub-sektor pertanian. Meskipun demikian, total emisi tahun 2024 tercatat lebih rendah dibandingkan tahun 2022, sejalan dengan tren penurunan luas panen, meskipun produktivitas padi meningkat.

Tabel 3. 22 Emisi dari Budidaya Padi Sawah di Kota Magelang 2024

Parameter	Emisi (Gg)	Emisi (Ton)
	2024	
CO ₂	0,00	0,00
CH ₄	0,05	5
N ₂ O	0,00	0,00
Total (CO₂ eq)	1,01	101

Sumber: SIGN SMART, 2025

Emisi yang dihasilkan dari budidaya padi sawah emisi dihitung menggunakan rumus perhitungan total emisi CH₄ 0,05 x 21 hingga didapatkan hasil sebesar 1,01 Gg CO₂eq (101 CO₂eq). Total emisi pada tahun 2024 ini tercatat dengan nilai terendah dari periode 5 tahun sebelumnya.

3.5 Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

Emisi GRK dari sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya ditinjau dari emisi/serapan dari setiap kategori penggunaan lahan diduga dari perubahan biomassa atau tampungan karbon untuk lahan yang tetap/tersisa dalam kategori penggunaan lahan yang sama dan lahan yang berubah ke penggunaan lahan tersebut dari penggunaan lahan lain. Untuk menghitung emisi atau serapan dari setiap perubahan kondisi atau jenis tutupan hutan perlu didukung oleh informasi luas perubahan tutupan (*activity data*) dan faktor emisi atau serapan. Berdasarkan SNI 7465:2010 tentang Klasifikasi Penutup Lahan, berikut ini adalah kriteria kelas penutupan lahan:

Tabel 3. 23 Kelas Tutupan Lahan

No	Kelas	Kode	Keterangan
1	Hutan lahan kering primer	HP / 2001	Seluruh kenampakan hutan dataran rendah, perbukitan dan pegunungan (dataran tinggi dan sub alpin) yang belum menampakkan bekas penebangan termasuk hutan kerdil, hutan kerangas, hutan di atas batu kapur, hutan di atas batuan ultra basa, hutan daun jarum, hutan luruh daun dan hutan lumut.
2	Hutan kering lahan sekunder/bekas tebangan	Hs / 2002	Seluruh kenampakan hutan dataran rendah, perbukitan dan pegunungan yang telah menampakkan bekas penebangan kenampakan alur dan bercak bekas tebangan. Termasuk hutan kerdil, hutan kerangas, hutan di atas batuan kapur, hutan di atas batuan ultra basa, hutan daun jarum, hutan luruh daun dan hutan lumut. Daerah berhutan bekas tebas bakar daun dan hutan lumut. Daerah berhutan bekas tebas bakar yang

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

No	Kelas	Kode	Keterangan
			ditinggalkan, bekas kebakaran atau yang tumbuh kembali dari bekas tanah terdegradasi juga tumbuh kembali dari bekas tanah terdegradasi juga dimasukkan dalam kelas ini. Bekas tebangan parah bukan areal HTI, perkebunan atau pertanian dimasukkan savanna, semak belukar atau lahan terbuka.
3	Hutan rawa primer	Hrp / 2005	Seluruh kenampakan hutan didaerah berawa, termasuk rawa payau dan rawa gambut yang belum menampakkan bekas penebangan termasuk hutan sagu.
4	Hutan rawa sekunder/ bekas tebangan	Hrs / 20051	Seluruh kenampakan hutan di daerah berawa termasuk rawa payau dan rawa gambut yang telah kenampakan bekas penebangan termasuk hutan sagu dan hutan rawa bekas terbakar. Bekas tebangan parah jika tidak memperlihatkan tanda genangan (lautan air) digolongkan tanah terbuka. Sedangkan jika memperlihatkan bekas tebangan atau tergenang digolongkan tubuh air (rawa)
5	Hutan <i>mangrove</i> primer	Hmp/2004	Hutan bakau, nipah dan nibung yang berasa di sekitar pantai yang belum menampakkan bekas penebangan. Pada beberapa lokasi hutan <i>mangrove</i> berasa lebih kepedalaman.

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

No	Kelas	Kode	Keterangan
6	Hutan mangrove sekunder/bekas tebangan	Hms/ 20041	Hutan bakau, nipah dan nibung yang berada di sekitar pantai yang telah memperlihatkan bekas penebangan dengan pola alur, bercak, dan genangan atau bekas terbakar. Khusus untuk bekas tebangan yang telah berubah fungsi menjadi tambak/sawah digolongkan menjadi tambak/sawah, sedangkan yang tidak memperlihatkan pola dan masih tergenang digolongkan tubuh air (rawa).
7	Hutan tanaman	Ht / 2006	Seluruh kawasan hutan tanaman yang sudah ditanami, termasuk hutan tanaman untuk reboisasi. Identifikasi lokasi dapat diperoleh dengan Peta Persebaran Hutan Tanaman. Catatan: Lokasi hutan tanaman yang di dalamnya adalah tanah terbuka dan atau semak belukar maka didelineasi sesuai dengan kondisi tersebut dan diberi kode sesuai dengan kondisi tersebut misalnya tanah terbuka (2014) dan semak-belukar (2007).
8	Perkebunan/ Kebun	Pk / 2010	Seluruh kawasan perkebunan yang sudah ditanami. Identifikasi lokasi dapat diperoleh dengan Peta Persebaran Perkebunan. Perkebunan rakyat yang biasanya berukuran kecil atau sulit diidentifikasi dari citra maupun peta persebaran, sehingga memerlukan informasi lain, termasuk data lapangan.

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

No	Kelas	Kode	Keterangan
			Catatan: Lokasi perkebunan/kebun yang di dalamnya adalah tanah terbuka dan atau semak-belukar, maka didelineasi sesuai dengan kondisi tersebut dan diberi kode sesuai dengan kondisi tersebut, misalnya tanah terbuka (2014) dan semak-belukar (2007).
9	Semak belukar	B / 2007	Kawasan bekas hutan lahan kering yang telah tumbuh kembali atau kawasan dengan liputan pohon jarang (alami) atau kawasan dengan dominasi vegetasi rendah (alami). Kawasan ini biasanya tidak menampakkan lagi bekas/bercak tebangan
10	Semak belukar rawa	Br/ 20071	Kawasan bekas hutan rawa/ <i>mangrove</i> yang telah tumbuh kembali atau kawasan dengan liputan pohon jarang (alami) atau kawasan dengan dominasi vegetasi rendah (alami). Kawasan ini biasanya tidak menampakkan lagi bekas/bercak tebangan
11	Savana/padang rumput	S / 3000	Kenampakan non-hutan alami berupa padang rumput, kadang-kadang dengan sedikit semak atau pohon. Kenampakan ini merupakan kenampakan alami di sebagian Sulawesi Tenggara, Nusa Tenggara Timur dan bagian Selatan Papua. Kenampakan ini dapat terjadi pada lahan kering ataupun rawa (rumput rawa).

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

No	Kelas	Kode	Keterangan
12	Pertanian lahan kering	Ph / 20091	Semua aktivitas pertanian di lahan kering seperti tegalan, kebun campuran dan ladang
13	Pertanian lahan kering campur semak / kebun campur	Pc / 20092	Semua jenis pertanian lahan kering yang berselang seling dengan semak, belukar dan hutan bekas tebangan. Sering muncul pada areal perladangan berpindah, dan rotasi tanam
14	Sawah	Sw / 20093	Semua aktivitas pertanian lahan basah yang dicirikan oleh pola pematang. Yang perlu diperhatikan oleh penafsir adalah fase rotasi tanam yang terdiri atas fase penggenangan, fase tanaman muda, fase tanaman tua dan fase bera. Kelas ini juga memasukkan sawah musiman, sawah tadah hujan, sawah irigasi. Khusus untuk sawah musiman di daerah rawa membutuhkan informasi tambahan dari lapangan
15	Tambak	Tm / 20094	Aktivitas perikanan darat (ikan/udang) atau penggaraman yang tampak dengan pola pematang (biasanya) di sekitar pantai
16	Pemukiman / Lahan terbangun	Pm / 2012	Kawasan permukiman, baik perkotaan, perdesaan, <i>industry</i> dll. Yang memperlihatkan pola alur rapat.
17	Transmigrasi	Tr / 20122	Kawasan permukiman transmigrasi beserta pekarangan di sekitarnya. Kawasan pertanian atau perkebunan di sekitarnya yang teridentifikasi

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

No	Kelas	Kode	Keterangan
			jelas sebaiknya dikelaskan menurut pertanian atau perkebunan. Kawasan transmigrasi yang telah berkembang sehingga polanya menjadi kurang teratur dikelaskan menjadi permukiman perdesaan.
18	Lahan Terbuka	T / 2014	Seluruh kenampakan lahan terbuka tanpa vegetasi (singkapan batuan puncak gunung, puncak bersalju, kawah vulkan, gosong pasir, pasir pantai, endapan sungai), dan lahan terbuka bekas kebakaran. Kenampakan lahan terbuka untuk pertambangan dikelaskan pertambangan, sedangkan lahan terbuka bekas pembersihan lahan- <i>land clearing</i> dimasukkan kelas lahan terbuka. Lahan terbuka dalam kerangka rotasi tanam sawah / tambak tetap dikelaskan sawah/tambak
19	Pertambangan	Tb / 20141	Lahan terbuka yang digunakan untuk aktivitas pertambangan terbuka-open pit (spt: batubara, timah, tembaga dll.), serta lahan pertambangan tertutup skala besar yang dapat diidentifikasi dari citra berdasar asosiasi kenampakan objeknya, termasuk <i>tailing ground</i> (penimbunan limbah penambangan). Lahan pertambangan tertutup skala kecil atau yang tidak teridentifikasi

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

No	Kelas	Kode	Keterangan
			dikelaskan menurut kenampakan permukaannya
20	Tubuh air	A / 5001	Semua kenampakan perairan, termasuk laut, sungai, danau, waduk, terumbu karang, padang lamun dll. Kenampakan tambak, sawah dan rawa-rawa telah digolongkan tersendiri
21	Rawa	Rw / 50011	Kenampakan lahan rawa yang sudah tidak berhutan
22	Awan	Aw / 2500	Kenampakan awan yang menutupi lahan suatu kawasan dengan ukuran lebih dari 4 cm ² pada skala penyajian. Jika liputan awan tipis masih memperlihatkan kenampakan di bawahnya dan memungkinkan ditafsir tetap didelineasi.
23	Bandara / Pelabuhan	Bdr/Plb/ 20121	Kenampakan bandara dan pelabuhan yang berukuran besar dan memungkinkan untuk didelineasi tersendiri

Perhitungan emisi sektor kehutanan membutuhkan data di antaranya matriks transisi perubahan tutupan lahan pada tanah mineral, matriks transisi perubahan tutupan lahan pada tanah gambut, data produksi kayu, dan data luas kebakaran lahan gambut. Namun di Kota Magelang tidak terdapat lahan gambut, sehingga tidak tersedia (*Not Applicable*) data matriks transisi perubahan tutupan lahan pada tanah gambut dan data luas kebakaran lahan gambut. Berikut ini adalah luasan tutupan lahan di Kota Magelang pada tahun 2024:

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

Tabel 3. 24 Luasan Tutupan Lahan di Kota Magelang Tahun 2024

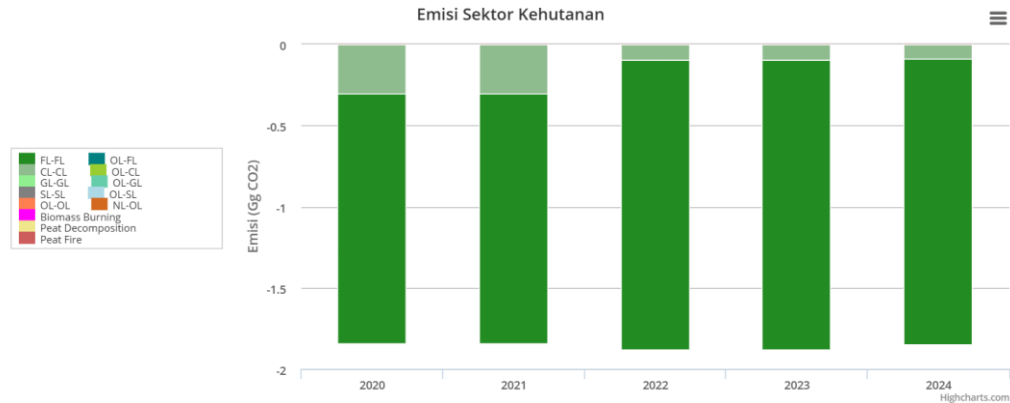
No	Kelas	2024
1	Hutan lahan kering primer (Hp)	-
2	Hutan lahan kering sekunder/bekas tebangan (Hs)	-
3	Hutan rawa primer (Hrp)	-
4	Hutan rawa sekunder/ bekas tebangan (Hrs)	-
5	Hutan mangrove primer (Hmp)	-
6	Hutan mangrove sekunder/bekas tebangan (Hms)	-
7	Hutan tanaman (Ht)	77,58
8	Perkebunan/Kebun (Pk)	-
9	Semak belukar (B)	-
10	Semak belukar rawa (Br)	-
11	Savana/padang rumput (S)	36,38
12	Pertanian lahan kering (Ph)	-
13	Pertanian lahan kering campur semak / kebun campur (Pc)	41,55
14	Sawah (Sw)	269,00
15	Tambak (Tm)	-
16	Pemukiman / Lahan tebangan (Pm)	1430,53
17	Transmigrasi (Tr)	-
18	Lahan Terbuka (T)	-
19	Pertambangan (Tb)	-
20	Tubuh air (A)	0,78
21	Rawa (Rw)	-
22	Awan (Aw)	-
23	Bandara / Pelabuhan (Bdr/Plb)	-

Sumber: Hasil perhitungan luas digital penutupan lahan tahun 2023 dan 2024 Kota Magelang (Sigap KLHK)

Emisi dari sektor kehutanan di Kota Magelang menggambarkan perubahan tutupan lahan yang berpotensi melepaskan atau menyerap karbon ke atmosfer. Sektor ini meliputi berbagai kategori perubahan penggunaan lahan seperti *Forest Land* (FL), *Cropland* (CL), *Grassland* (GL), *Settlement Land* (SL), dan lainnya, yang dianalisis berdasarkan pedoman *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* 2006. Perubahan antar kategori lahan (misalnya dari hutan menjadi lahan pertanian atau sebaliknya) menjadi faktor utama yang mempengaruhi besaran emisi

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

maupun serapan karbon tahunan. Analisis dilakukan untuk periode tahun 2020–2024 guna mengetahui tren dan kontribusi sektor kehutanan terhadap total emisi gas rumah kaca (GRK) di Kota Magelang.



**Gambar 3. 4 Grafik Sektor Kehutanan dan Lahan Lainnya Kota
Magelang 2020-2024**

Adapun data emisi sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya tahun 2020 hingga tahun 2024

**Tabel 3. 25 Emisi Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya
Tahun 2020-2024**

No.	ITEM	2020	2021	2022	2023	2024
1.	Forest Land (FL) - Forest Land (FL)	-1,54	-1,54	-1,79	-1,79	-1,76
2.	Cropland (CL) – Cropland (CL)	-0,30	-0,30	-0,09	-0,09	-0,09
Total		-1,84	-1,84	-1,88	-188	-1,85

Sumber: SIGN-SMART, 2025

Berdasarkan tabel di atas, terlihat bahwa sumber utama perubahan emisi di sektor kehutanan Kota Magelang berasal dari kategori FL-FL (*Forest Land to Forest Land*) dengan nilai serapan berkisar antara – 1,54 hingga -1,76 Gg CO₂eq sepanjang tahun 2020-2024. Nilai negatif menunjukkan bahwa kawasan hutan yang ada masih berfungsi sebagai penyerap karbon (*carbon sink*), meskipun luasannya terbatas. Penyerapan ini terjadi karena aktivitas fotosintesis vegetasi pohon pada kawasan hijau dan ruang terbuka publik yang masih terpelihara seperti hutan kota, taman kota, area Gunung Tidar, serta kawasan vegetasi di sekitar DAS Progo.

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

Kategori CL-CL (*Cropland to Cropland*) memiliki nilai sekitar -0,09 hingga -0,30 Gg CO₂eq, yang mencerminkan peran vegetasi pertanian tahunan seperti tanaman hortikultura dan pohon pelindung di area perkotaan dalam menyerap karbon. Sementara itu, kategori perubahan lahan lainnya seperti OL-FL, OL-CL, atau GL-GL menunjukkan nilai nol karena tidak terdapat perubahan penggunaan lahan yang signifikan dalam periode tersebut.

Selain itu, komponen *biomass burning*, *peat decomposition*, dan *peat fire* juga bernilai nol karena Kota Magelang tidak memiliki lahan gambut maupun aktivitas pembakaran biomassa berskala besar. Secara keseluruhan, total emisi sektor kehutanan Kota Magelang tetap negatif yaitu berkisar antara -1,84 hingga -1,85 GgCO₂eq menandakan bahwa sektor ini berfungsi sebagai penyerap karbon. Kondisi ini menggambarkan stabilitas ekosistem vegetasi dan efektivitas pengelolaan ruang terbuka hijau di wilayah perkotaan yang berperan mendukung target penurunan emisi daerah

Tabel 3. 26 Kalkulasi Emisi GRK Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya Tahun 2024

Kategori	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ eq (Gg)
3B. Forest and Other Land Use				
3B1a. Forest Remaining Forest	-1,76			-1,76
3B1b. Non-Forest to Forest	0			0
3B2a. Cropland Remaining Cropland	0			0
3B2b. Non-Cropland to Cropland	-0,09			-0,09
3B3a. Grassland Remaining Grassland	0			0
3B3b. Non-Grassland to Grassland	0			0
3B4a. Wetland Remaining Wetland	0			0
3B4b. Non-Wetland to Wetland	0			0
3B5a. Settlement Remaining Settlement	0			0
3B5b. Non-Settlement to Settlement	0			0
3B6a. Otherland Remaining Otherland	0			0
3B6b. Non-Otherland to Otherland	0			0

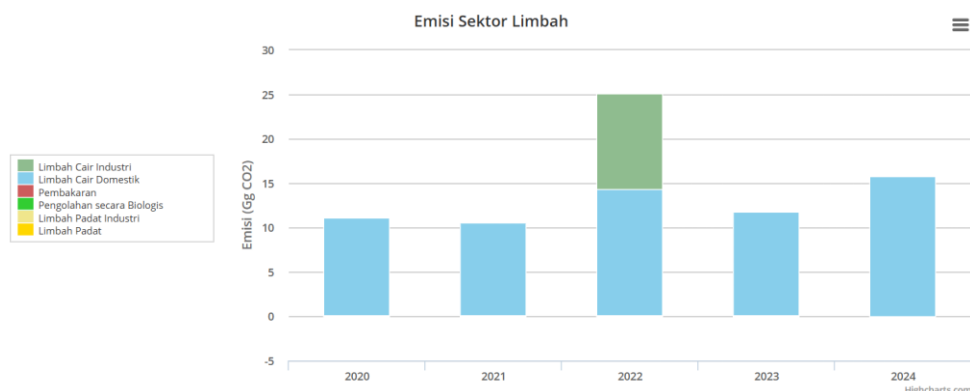
**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

Kategori	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ eq (Gg)
3C1. Biomass Burning	0			0
3C1a. Biomass Burning in Forest Land	0			0
3C1b. Biomass Burning in Crop Land	0			0
3C1c. Biomass Burning in Grass Land	0			0
Other: Peat Decomposition	0			0
Other: Peat Fire	0			0
TOTAL	-1,88			-1,85

Sumber: Hasil Perhitungan SIGN SMART, 2025

3.6 Sektor Pengelolaan Limbah

Sektor pengelolaan limbah di Kota Magelang merupakan salah satu sumber emisi gas rumah kaca yang signifikan, dengan kontribusi utama berasal dari limbah padat domestik, limbah cair domestik, dan limbah cair industri. Limbah padat domestik sebagian besar dihasilkan dari aktivitas rumah tangga dan pusat ekonomi, yang dalam penanganannya masih bergantung pada TPA. Limbah cair domestik terutama bersumber dari penggunaan tangki septik, cubluk, maupun IPAL komunal, sementara limbah cair industri muncul dari aktivitas produksi pada industri kecil hingga menengah, terutama di sektor makanan dan minuman. Ketiga kategori ini berpotensi menghasilkan emisi CH₄ dan N₂O melalui proses degradasi bahan organik yang belum sepenuhnya tertangani secara optimal.



Gambar 3. 5 Emisi Sektor Pengelolaan Limbah

Sumber: Aplikasi SIGN-SMART, 2025

Sektor pengelolaan limbah merupakan salah satu sumber emisi gas rumah kaca (GRK) di Kota Magelang. Kegiatan yang termasuk dalam sektor

ini meliputi pengelolaan limbah cair industri, limbah cair domestik, pembakaran, pengolahan secara biologis, serta pengelolaan limbah padat. Variasi emisi dari sektor ini dipengaruhi oleh pertumbuhan jumlah penduduk, peningkatan aktivitas ekonomi, serta efektivitas sistem pengelolaan limbah yang diterapkan oleh pemerintah daerah. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan aplikasi *SIGN-SMART*, diperoleh data mengenai emisi sektor pengelolaan limbah Kota Magelang selama periode tahun 2020 hingga 2024 sebagaimana disajikan pada tabel berikut.

Tabel 3. 27 Emisi Sektor Pengelolaan Limbah 2020-2024

No	Item	2020	2021	2022	2023	2024
1.	Limbah cair Industri	0,00	0,02	10,78	0,01	0,01
2.	Limbah cair Domestik	10,98	10,48	14,16	11,66	15,69
3.	Pembakaran	0,00	-0,01	0,08	0,00	0,00
4.	Pengolahan secara biologis	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
5.	Limbah padat	0,14	0,10	0,08	0,06	0,05
Total		11,14	10,60	25,10	11,73	15,75

Sumber: Aplikasi SIGN-SMART, 2025

Berdasarkan data pada tabel, diketahui bahwa total emisi dari sektor pengelolaan limbah di Kota Magelang mengalami fluktuasi selama periode 2020–2024. Peningkatan tertinggi terjadi pada tahun 2022 dengan total emisi mencapai 25,10 ton CO₂eq, yang terutama disebabkan oleh meningkatnya emisi dari limbah cair domestik dan limbah cair industri. Pada tahun 2023 terjadi penurunan emisi, namun kembali mengalami kenaikan pada tahun 2024 seiring dengan meningkatnya aktivitas domestik dan pertumbuhan jumlah penduduk. Secara umum, komponen penyumbang emisi terbesar berasal dari limbah cair domestik, sedangkan pembakaran dan pengolahan secara biologis memberikan kontribusi yang relatif kecil. Hasil ini menunjukkan bahwa pengendalian emisi dari sektor limbah cair, khususnya limbah domestik, perlu menjadi prioritas dalam upaya penurunan emisi GRK di Kota Magelang melalui peningkatan efektivitas sistem pengolahan air limbah dan penerapan teknologi ramah lingkungan.

3.6.1 Limbah Padat Domestik

Metode pengelolaan sampah sangat berpengaruh terhadap timbulan emisi CH₄ karena berkaitan dengan ketersediaan oksigen dalam proses

degradasi bahan organik. Di Kota Magelang pada tahun 2024, sebagian besar sampah yaitu sebesar 77,8% masih ditangani dengan cara diangkut ke TPA, yang berpotensi menghasilkan emisi metana cukup besar akibat kondisi anaerob di dalam timbunan sampah. Sebagian kecil sampah, yakni 0,03%, telah dimanfaatkan menjadi kompos, sementara 17,01% didaur ulang, yang relatif dapat menekan emisi. Namun demikian, masih terdapat 5,16% sampah yang dibuang ke kali atau parit tanpa pengelolaan memadai, sehingga berisiko menambah beban pencemaran sekaligus emisi GRK. Berdasarkan kondisi tersebut, emisi GRK dari pembuangan sampah padat di Kota Magelang dihitung sebagaimana ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 3. 28 Emisi CH₄ dari Pembuangan Sampah Kota Magelang 2024

Parameter	Emisi (Gg)	Emisi (Ton)
CO ₂	-	-
CH ₄	0,00	0,00
N ₂ O	-	-
Total	0,05	50

Sumber: Hasil Perhitungan SIGN-SMART, 2025

Persamaan 31

$$\text{Emisi Gg CO}_2\text{eq} = (0,00 \times 21)$$

Pada tahun 2024, kontribusi emisi GRK CH₄ dari limbah padat domestik di Kota Magelang menunjukkan tren penurunan dibandingkan tahun sebelumnya. Penurunan ini terutama dipengaruhi oleh berkurangnya proporsi sampah yang ditimbun di TPA, dari 78,57% pada 2023 menjadi 77,8% pada 2024, meskipun jumlah timbulan sampah meningkat dari 29.400,33 ton menjadi 29.515,00 ton. Sumber utama timbulan metana berasal dari sampah di TPA, sehingga pergeseran kecil dalam persentase dapat berdampak pada penurunan emisi. Selain itu, meningkatnya porsi sampah yang didaur ulang dari 14,01% menjadi 17,01% turut menekan potensi terbentuknya gas metana. Kondisi ini mengindikasikan adanya perbaikan dalam pola pengelolaan sampah yang lebih berorientasi pada pengurangan emisi.

3.6.2 Limbah Cair Domestik

Pengelolaan limbah cair domestik di Kota Magelang memberikan kontribusi terhadap timbulnya emisi gas rumah kaca yang bersumber dari sistem pembuangan air limbah masyarakat. Kondisi ini berkaitan erat dengan keberadaan sarana pembuangan yang digunakan, baik berupa tangki septik, cubluk, instalasi pengolahan air limbah (IPAL) terpusat, maupun pembuangan langsung ke badan air seperti sungai. Perbedaan jenis sarana tersebut memengaruhi besaran potensi emisi yang dihasilkan, terutama dari proses dekomposisi bahan organik dalam limbah cair. Data mengenai komposisi penggunaan sarana pembuangan air limbah ini menjadi dasar penting dalam menghitung dan memetakan kontribusi sektor pengelolaan limbah terhadap emisi di Kota Magelang.

Tabel 3. 29 Emisi GRK Limbah Cair Domestik Kota Magelang 2024

Parameter	Emisi (Gg)	Emisi (Ton)
CO ₂	-	-
CH ₄	0,58	580
N ₂ O	0,01	10
Total	15,69	15.690

Sumber: Hasil Perhitungan SIGN-SMART, 2025

Persamaan 32

$$\text{Emisi Gg CO}_2\text{eq} = (0,58 \times 21) + (0,01 \times 310)$$

Emisi gas rumah kaca (GRK) khususnya metana (CH₄) dari kategori limbah cair domestik di Kota Magelang mengalami peningkatan pada tahun 2024 dibandingkan dengan tahun sebelumnya. Kenaikan emisi ini dipengaruhi oleh pergeseran pola penggunaan sarana pembuangan air limbah masyarakat. Data menunjukkan bahwa proporsi penggunaan tangki septik meningkat dari 70,44% pada tahun 2023 menjadi 71,6% pada tahun 2024. Kondisi ini berkontribusi pada peningkatan potensi emisi CH₄, karena tangki septik merupakan sistem pembuangan tertutup dengan kondisi anaerobik yang mendukung terbentuknya gas metana. Sementara itu, penggunaan cubluk mengalami penurunan dari 20,09% menjadi 18,93%, dan proporsi IPAL terpusat serta pembuangan langsung ke sungai tidak mengalami perubahan signifikan. Dengan demikian, dominasi penggunaan

tangki septik yang semakin meningkat menjadi alasan utama naiknya emisi CH₄ dari sektor limbah cair domestik di Kota Magelang.

3.6.3 Limbah Cair Industri

Pengelolaan limbah cair industri di Kota Magelang menjadi salah satu sumber kontribusi emisi gas rumah kaca (GRK) yang dihitung dalam sektor limbah. Perhitungan emisi pada kategori ini menggunakan data produksi dari berbagai jenis industri yang beroperasi di Kota Magelang. Beberapa jenis industri tersebut meliputi industri *beer & malt*, kopi, produk susu (*dairy products*), pengolahan ikan, pengolahan daging dan unggas, minyak nabati (selain CPO), hortikultura, serta industri pengolahan sayur, buah, dan jus. Aktivitas produksi pada sektor-sektor tersebut menghasilkan limbah cair dengan karakteristik organik yang tinggi, yang dalam proses degradasi anaerobiknya berpotensi melepaskan emisi gas metana (CH₄) maupun dinitrogen oksida (N₂O). Oleh karena itu, kondisi pengelolaan limbah cair industri menjadi penting untuk dianalisis guna melihat kontribusinya terhadap total emisi GRK di Kota Magelang.

Tabel 3. 30 Emisi GRK Limbah Cair Industri Kota Magelang 2024

Parameter	Emisi (Gg)	Emisi (Ton)
CO ₂	-	-
CH ₄	0,00	0,00
N ₂ O	-	-
Total	0,01	10

Sumber: Hasil Perhitungan SIGN-SMART, 2025

Persamaan 33

$$\text{Emisi Gg CO}_2\text{eq} = (0,58 \times 21) + (0,01 \times 310)$$

Emisi GRK berupa metana (CH₄) dari kategori limbah cair industri di Kota Magelang pada tahun 2024 sama dengan tahun sebelumnya. Hal ini dikarenakan data yang diperoleh dari DPPKUM masih sama dengan tahun sebelumnya, mengingat pada tahun 2024 DPPKUM tidak melaksanakan kegiatan monitoring dan evaluasi (monev) industri. Data menunjukkan bahwa industri hortikultura tetap menjadi penyumbang emisi terbesar, yakni sebesar 253,2979 ton, diikuti oleh industri pengolahan daging dan unggas (15,64 ton), serta industri pengolahan ikan (3,3 ton).

Sementara itu, kontribusi dari sektor lainnya seperti kopi (1,207 ton), produk susu (0,85 ton), buah dan jus (4,21127 ton), *beer & malt* (0,045 ton), dan minyak nabati selain CPO (0,015 ton) relatif kecil. Industri dianggap sebagai penyumbang emisi karena proses pengolahan bahan baku pertanian, peternakan, maupun hasil laut menghasilkan limbah cair dengan kandungan organik tinggi. Limbah tersebut dalam kondisi anaerobik mengalami degradasi yang menghasilkan gas metana. Dengan tidak adanya perubahan besar pada kapasitas produksi maupun sistem pengolahan limbah, maka tingkat emisi yang dihasilkan pun cenderung konstan dari tahun sebelumnya.

3.7 Serapan Emisi Gas Rumah Kaca

Serapan emisi gas rumah kaca (GRK) merupakan salah satu komponen penting dalam inventarisasi karbon karena berperan sebagai penyeimbang terhadap jumlah emisi yang dilepaskan ke atmosfer. Proses serapan ini umumnya terjadi melalui aktivitas fotosintesis vegetasi, penyimpanan karbon dalam biomassa di atas dan bawah permukaan tanah, serta akumulasi bahan organik di tanah. Besarnya potensi serapan dipengaruhi oleh jenis ekosistem, kondisi iklim, tingkat kesuburan tanah, serta praktik pengelolaan lahan. Untuk memperoleh estimasi yang konsisten dan dapat dibandingkan secara internasional, *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* menyediakan nilai faktor serapan default Tier-1 yang dapat digunakan sebagai acuan awal dalam perhitungan. Faktor-faktor tersebut disajikan dalam bentuk kisaran nilai (*range*) serapan karbon per hektar per tahun sesuai dengan karakteristik ekosistem, sehingga dapat diaplikasikan secara umum di berbagai wilayah sebelum disesuaikan dengan kondisi lokal.

Berdasarkan pedoman tersebut, berikut disajikan tabel faktor serapan Tier-1 yang menunjukkan variasi potensi serapan karbon dari berbagai jenis ekosistem utama sebagaimana tercantum dalam *IPCC Guidelines 2006*.

Tabel 3. 31 Faktor Serapan Karbon Tier-1

No	Tipe Vegetasi/Ekosistem	Zona Iklim	<i>Net Biomass Growth Rate</i> (tC/ha/tahun)
1	Hutan boreal	Boreal	0,7-2,3
2	Hutan sedang (Temperate)	<i>Temperate</i>	1,6-4,2
3	Hutan tropis sekunder	Tropis lembap	2,0-11,0
4	<i>Savanna/Shrubland</i>	Tropis/subtropis	0,5-4,0
5	<i>Agroforestry/mixed tree system</i>	Tropis	1,0-5,0
6	<i>Grassland</i> (padang rumput)	Semua iklim	0,5-1,0
7	<i>Cropland</i> (sawah/ladang, non-perennial)	Semua iklim	0,1-0,5

Sumber: IPCC Guidelines 2006 (Volume 4, Forest Land)

Dalam metodologi perhitungan serapan emisi gas rumah kaca, *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* membedakan faktor serapan ke dalam tiga tingkat (*Tier*). *Tier 1* menggunakan nilai faktor serapan *default* yang telah ditetapkan secara internasional, sehingga dapat diterapkan pada berbagai wilayah meskipun tanpa data lokal yang detail. *Tier 2* memanfaatkan faktor serapan yang telah disesuaikan dengan kondisi nasional atau regional, umumnya bersumber dari penelitian dalam negeri yang lebih representatif. Sementara itu, *Tier 3* merupakan pendekatan paling rinci karena menggunakan model, inventarisasi lapangan, atau pengukuran langsung yang spesifik terhadap suatu wilayah.

Dalam Kota Magelang, penggunaan *Tier 1* dipandang sebagai pilihan yang paling relevan. Hal ini disebabkan keterbatasan ketersediaan data lokal terkait serapan karbon, baik dari sisi penelitian lapangan maupun basis data nasional yang mengakomodasi skala kota. Dengan demikian, pendekatan *Tier 1* memberikan dasar perhitungan yang konsisten, terstandardisasi, dan tetap dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah, sambil menunggu tersedianya kajian yang lebih detail untuk memungkinkan penerapan *Tier 2* atau *Tier 3* di masa mendatang.

Perhitungan serapan emisi gas rumah kaca pada dasarnya menggunakan pendekatan sederhana yang mengalikan antara luas tutupan

lahan dengan nilai faktor serapan karbon. Rumus umum yang direkomendasikan IPCC (2006) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Serapan GRK (tC/tahun)} = \text{Luas Lahan (ha)} \times \text{Faktor Serapan (tC/ha/tahun)}$$

Rumus ini memungkinkan estimasi jumlah karbon yang diserap oleh vegetasi atau ekosistem tertentu dalam satuan ton karbon per tahun. Luas lahan merepresentasikan besaran area yang memiliki tutupan vegetasi, sementara faktor serapan adalah angka rata-rata kemampuan suatu jenis hutan atau vegetasi dalam menyerap karbon, yang telah ditetapkan berdasarkan kajian ilmiah. Dengan pendekatan ini, perhitungan serapan GRK dapat dilakukan secara konsisten untuk berbagai kategori penggunaan lahan. Setelah diperoleh nilai serapan dalam bentuk ton karbon (tC), angka tersebut perlu dikonversi menjadi ton karbon dioksida ekuivalen (tCO₂e) agar konsisten dengan format inventarisasi emisi GRK secara internasional. Konversi dilakukan dengan mengalikan faktor 44/12, yang merupakan perbandingan massa molekul karbon dioksida (CO₂ = 44) terhadap massa atom karbon (C = 12).

Berdasarkan rumus tersebut, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan serapan karbon di Kota Magelang dengan mengalikan luas masing-masing kategori lahan dengan faktor serapan Tier-1 sesuai panduan IPCC 2006. Kota Magelang memiliki luasan lahan yang terbagi ke dalam beberapa kategori penggunaan lahan, seperti kawasan berhutan/bervegetasi lebat (contoh: Gunung Tidar dan hutan kota), kawasan *agroforestry* atau pepohonan campuran (taman kota, ruang terbuka hijau, pekarangan dengan pepohonan), serta lahan pertanian terbuka seperti sawah dan tegalan. Setiap kategori lahan tersebut mempunyai kapasitas serapan karbon yang berbeda sehingga perlu dihitung secara terpisah.

1. Kawasan berhutan/bervegetasi lebat

Diketahui:

Luas lahan = 113,96 ha

Faktor serapan = 2 – 11 tC/ha/tahun

Perhitungan:

$$\begin{aligned}\text{Serapan GRK (tC/tahun)} &= \text{Luas Lahan (ha)} \times \text{Faktor Serapan (tC/ha/tahun)} \\ &= 113,96 \text{ ha} \times 6 \text{ tC/ha/tahun} \\ &= 683,76 \text{ tC/thn} \times 44/12 \\ &= \mathbf{417,85 \text{ tCO}_2/\text{thn}}\end{aligned}$$

2. Kawasan *Agroforestry*/kebun campuran

Diketahui:

$$\text{Luas lahan} = 41,55 \text{ ha}$$

$$\text{Faktor serapan} = 1 - 5 \text{ tC/ha/tahun}$$

Perhitungan:

$$\begin{aligned}\text{Serapan GRK (tC/tahun)} &= \text{Luas Lahan (ha)} \times \text{Faktor Serapan (tC/ha/tahun)} \\ &= 41,55 \text{ ha} \times 3 \text{ tC/ha/tahun} \\ &= 124,65 \text{ tC/thn} \times 44/12 \\ &= \mathbf{457,05 \text{ tCO}_2/\text{thn}}\end{aligned}$$

3. Lahan pertanian terbuka

Diketahui:

$$\text{Luas lahan} = 269,00 \text{ ha}$$

$$\text{Faktor serapan} = 0,5 - 1 \text{ tC/ha/tahun}$$

Perhitungan:

$$\begin{aligned}\text{Serapan GRK (tC/tahun)} &= \text{Luas Lahan (ha)} \times \text{Faktor Serapan (tC/ha/tahun)} \\ &= 269,00 \text{ ha} \times 0,75 \text{ tC/ha/tahun} \\ &= 201,75 \text{ tC/thn} \times 44/12 \\ &= \mathbf{739,75 \text{ tCO}_2/\text{thn}}\end{aligned}$$

Total serapan emisi GRK Kota Magelang yaitu sebesar 1.614,65 tCO₂/thn

3.8 Analisis Ketidakpastian dan Kategori Kunci

3.8.1 Analisis Ketidakpastian

Ketidakpastian merupakan penilaian terhadap peluang terjadinya kesalahan dalam pendugaan dan perhitungan emisi Gas Rumah Kaca (GRK). *Uncertainty* tergantung pada tingkat pengetahuan analis dan akan berakhir pada kualitas dan besaran dari nilai serta pengetahuan terkait dari proses dan metode dalam pengukuran dan pengumpulan data. Analisis

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

ketidakpastian merupakan analisis untuk menilai sebesar apa kesalahan hasil dugaan emisi/serapan. Analisis dimulai dari konseptualisasi asumsi, pemilihan model dan *input* data serta asumsi-asumsinya. Sumber penyebab atau penyumbang terhadap besarnya tingkat ketidakpastian adalah data yang tidak tersedia atau tidak lengkap, bias dalam penggunaan model, data yang tidak terwakilkan, kesalahan acak, kesalahan pengukuran, kesalahan pelaporan atau klasifikasi, dan kehilangan data. Dalam perhitungan emisi GRK terdapat banyak sumber ketidakpastian, hal ini disebabkan karena parameter data aktivitas dan faktor emisi bukan merupakan besaran yang diketahui secara pasti. Oleh karena itu, nilai emisi GRK tidak dapat ditentukan secara absolut, artinya terdapat kemungkinan nilai emisi GRK tersebut tidaklah 100% benar. Konsekuensinya, nilai emisi GRK harus dihitung dengan tetap mempertimbangkan nilai ketidakpastiannya. Perhitungan ketidakpastian diperoleh dengan cara mencari tingkat ketidakpastian pada masing-masing sektor inventarisasi. Berikut hasil analisis ketidakpastian sumber emisi gas rumah kaca Kota Magelang Tahun 2024.

**Tabel 3. 32 Analisis Ketidakpastian Sumber Emisi GRK Sektoral Kota
Magelang Tahun 2024**

Sektor	Emisi Absolut Tahun Awal	Emisi Absolut Tahun Akhir	Ketidakpastian Emisi per Sektor
	Gg CO ₂ eq	Gg CO ₂ eq	%
Pengadaan dan Penggunaan Energi	7131,24	20683,96	23,74
Pertanian	3,66	1,76	1,08
Pengelolaan Limbah	0,55	15,75	2,11
Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya	-2,57	-1,85	0,10

Sumber: SIGN-SMART, 2025

Dapat dilihat pada tabel di atas bahwa semakin kecil persentase ketidakpastian maka semakin kecil juga ketidaksesuaian. Sedangkan penyebab persentase ketidakpastian semakin besar yaitu karena beberapa faktor seperti data yang kurang lengkap, banyaknya asumsi dan pendekatan dalam perhitungan.

3.8.2 Analisis Kategori Kunci

Kategori kunci (KC) merupakan sumber/rosot yang menjadi prioritas dalam sistem inventarisasi GRK karena besar emisi/serapan memiliki pengaruh besar terhadap total inventarisasi baik dari nilai mutlak, tren, dan tingkat ketidakpastiannya. Analisis kategori kunci ini diperlukan untuk :

1. Mengidentifikasi sumber/rosot yang perlu mendapat prioritas dalam pelaksanaan program perbaikan. Upaya perbaikan difokuskan pada sumber/rosot yang sudah diidentifikasi sebagai kategori kunci.
2. Mengidentifikasi sumber/rosot yang dalam perhitungan emisi/serapan perlu menggunakan metode dengan tingkat ketelitian yang lebih tinggi.
3. Mengidentifikasi sumber/rosot yang perlu mendapatkan perhatian utama terkait dengan upaya pembuatan sistem penjamin dan pengendalian mutu data (QA/QC).

Secara umum terdapat dua metode dalam analisis kategori kunci. Kedua pendekatan mengidentifikasi kategori kunci berdasarkan pada kontribusinya terhadap tingkat emisi/serapan nasional absolut dan tren dari emisi/serapan. Kategori kunci ialah semua sumber/rosot yang apabila dijumlahkan nilai absolut emisi/serapan yang nilainya sudah diurut dari terbesar ke terkecil, mencapai 95% dari nilai total. Karena emisi dan serapan dalam bentuk nilai absolut maka nilai total bisa lebih besar dari emisi bersih. Pendekatan untuk melakukan analisis kategori kunci adalah :

1. Berdasarkan hasil inventarisasi GRK satu tahun atau lebih dari satu tahun.
 - d. Apabila inventarisasi GRK hanya 1 tahun maka analisis kategori kunci dilakukan berdasarkan penilaian terhadap tingkat emisi (*Level Assessment*);
 - e. Apabila lebih dari satu tahun dilakukan berdasarkan penilaian terhadap tren emisi (*Trend Assessment*)

2. Berdasarkan nilai *Uncertainty*

Pada inventarisasi GRK, IPCC menentukan kategori kuncinya sendiri berhubungan dengan pelaporan hasil. Kategori ini digunakan secara umum dalam pelaporan GRK yaitu :

- a. Pengadaan dan penggunaan energi, terkait dengan kegiatan produksi energi maupun penggunaan atau konsumsinya dalam aktivitas sehari-hari.
- b. Proses industri dan penggunaan produk, terkait dengan emisi dari suatu proses industri atau entropinya serta emisi akibat penggunaan produk tertentu dalam proses produksi.
- c. Pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan lainnya, terkait dengan emisi akibat aktivitas pertanian dan lainnya (perkebunan, peternakan, pemupukan), emisi kehutanan (kebakaran lahan dan pengambilan kayu) serta emisi akibat fungsi lahan.
- d. Pengelolaan limbah, emisi yang dihasilkan oleh pembuangan limbah (industri, rumah tangga maupun sampah padat) dan pengelolaannya.

Kategori	Total Emisi Absolut (Gg CO ₂)	Persentase Kontribusi (%)
<i>Residential</i>	20.603,37	99,51
<i>Transportation</i>	80,40	0,39
<i>CH₄ Domestic Waste Water</i>	15,69	0,08
TOTAL		99,98

Sumber: Hasil Perhitungan SIGN-SMART, 2025

Berdasarkan hasil analisis kategori kunci, didapatkan 3 subsektor yang menjadi kategori kunci, yaitu:

1. Residensial dengan emisi GRK sebesar 20.603,37 Gg CO₂eq
2. Transportasi dengan emisi GRK sebesar 80,40 Gg CO₂eq
3. Limbah Cair Domestik dengan emisi GRK sebesar 15,69 Gg CO₂eq

Dari 3 Sub-sektor ini paling berkontribusi dalam menghasilkan emisi gas rumah kaca di Kota Magelang sehingga perlu dilakukan identifikasi lebih lanjut untuk menentukan upaya yang tepat dalam mengurangi emisi dari sub-sektor tersebut.

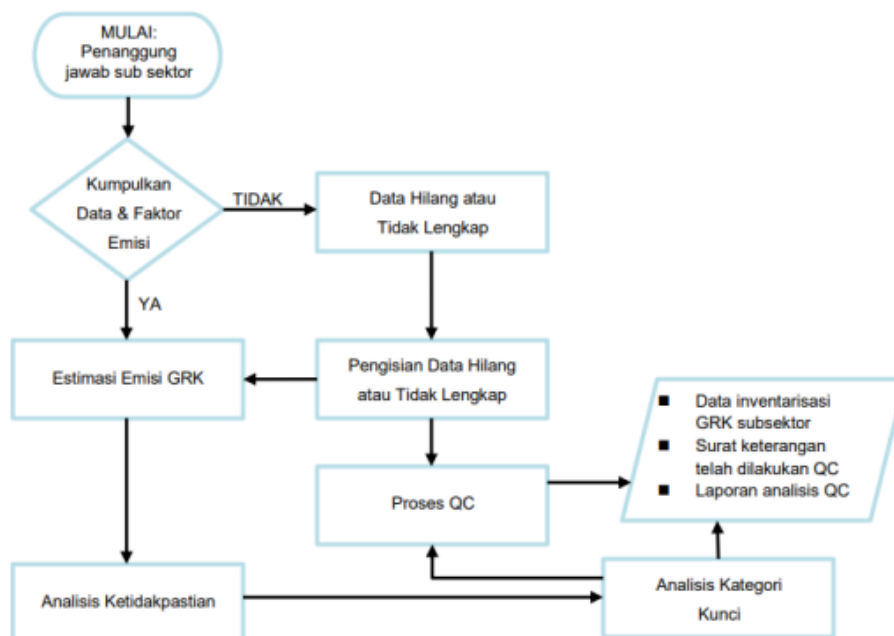
3.9 Pengendalian dan Penjaminan Mutu

Berdasarkan Peraturan Presiden No. 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi Yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca Dalam Pembangunan Nasional terdapat beberapa hal yang perlu dipahami dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK, salah satunya merupakan sistem Penjaminan dan Pengendalian mutu atau *Quality Assurance* (QA) / *Quality Control* (QC). Pengendalian mutu (QC) merupakan sistem pelaksanaan kegiatan rutin yang ditujukan untuk menilai dan memelihara kualitas dari data dan informasi yang dikumpulkan dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK. Kegiatan QC dilakukan oleh orang yang bertanggung jawab dalam pengumpulan data dan informasi tersebut. Penjaminan mutu (QA) merupakan suatu sistem yang dikembangkan untuk melakukan *review* yang dilaksanakan oleh seseorang secara langsung tidak terlibat dalam penyelenggaraan inventarisasi gas rumah kaca. Kegiatan *review* akan memverifikasi bahwa penyelenggaraan inventarisasi gas rumah kaca sudah sesuai prosedur dan standar yang berlaku dan menggunakan metode terbaik sesuai dengan perkembangan pengetahuan terkini dan ketersediaan data. Pengendalian mutu dirancang untuk :

1. Menyediakan mekanisme pengecekan rutin dan konsisten agar data yang dikumpulkan memiliki integritas, benar dan lengkap.
2. Mengidentifikasi dan mengatasi kesalahan dan kehilangan data.
3. Mendokumentasikan dan menyimpan semua data dan informasi untuk inventarisasi gas rumah kaca dan mencatat semua aktivitas pengendalian mutu yang dilakukan.

Tujuan dari kegiatan dan penjaminan mutu ini adalah meningkatkan transparansi, konsistensi, kompatibilitas, kelengkapan, akurasi, keyakinan dan ketepatan waktu dalam inventarisasi nasional. Alur tahapan pengendalian dan penjaminan mutu menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.73/Menlhk/Setjen/Kum.1/207 tentang Pedoman Penyelenggaraan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional dapat dilihat pada Gambar 3.5. Tahap pengendalian dan

penjaminan mutu secara umum berjalan dari masing-masing sub-sektor untuk mengumpulkan data aktivitas dan faktor emisi. Selanjutnya dapat dilakukan analisis ketidakpastian sehingga akan didapatkan kategori kunci.



Gambar 3. 6 Tahapan Pengendalian dan Penjaminan Mutu

Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2017

Pengendalian mutu secara internal dilakukan dengan penyelenggaraan rapat atau koordinasi antar personil tim inventarisasi termasuk di dalamnya *surveyor* secara berkala per minggunya. Pelaksanaan *Stakeholders Meeting* dengan instansi atau pihak pemilik data adalah untuk menggaransi penjaminan mutu data. Artinya data yang diperoleh nantinya merupakan benar data sekunder yang dimiliki, diketahui atau disediakan oleh pihak yang berkompeten. Kendali mutu secara eksternal dilakukan sebelum dan pasca perhitungan beban emisi GRK keseluruhan diselesaikan melalui *QA/QC Meeting* atau *Stakeholder Meeting*. *Stakeholder meeting I* merupakan pertemuan pembuka dengan pihak *stakeholder* yang berperan menyamakan visi dan misi terhadap pelaksanaan inventarisasi GRK. Pada *stakeholders meeting I* ini seluruh pihak pemilik data ikut hadir untuk ikut berkontribusi dalam penyampaian data yang dibutuhkan dalam penyusunan inventarisasi gas rumah kaca. Pada *stakeholders meeting I* juga dilakukan pengendalian mutu khususnya terhadap sumber-sumber emisi potensial.

Stakeholders meeting II dilaksanakan dengan kembali melibatkan pihak-pihak pemilik data. Tujuannya yaitu melakukan pengecekan silang terhadap data yang digunakan dan mengecek perhitungan beban emisi secara bersama-sama.

3.9.1 Prosedur Pelaksanaan Pengendalian dan Penjaminan Mutu

Prosedur pengendalian dan penjaminan mutu pada inventarisasi gas rumah kaca Kota Magelang dilakukan melalui prosedur-prosedur sebagai berikut.

**Tabel 3. 33 Prosedur Pengendalian dan Penjaminan Mutu
Inventarisasi Kota Magelang**

No	Kegiatan	Prosedur
PENGENDALIAN MUTU		
1	Pendokumentasian Data Kegiatan	• Cek ulang data, apakah sudah terdokumentasi atau hanya berdasarkan informasi lisan • Jika masih dalam informasi lisan, buat dokumentasi sesuai dengan format • Jika sudah terdokumentasi, cek apakah sesuai dengan Format Pelaporan Umum (<i>Common Reporting Format</i>) • Jika belum, pindahkan dalam Format Pelaporan Umum • Cek apakah satuan sudah sesuai dengan standar • Cantumkan sumber data untuk konfirmasi
2	Kelengkapan Data Berseri	• Cek apakah data hanya ada dalam tahun tunggal atau sudah jamak • Jika hanya tahun tunggal, buat pendugaan tahun-tahun sebelumnya

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

No	Kegiatan	Prosedur
		• Cek apakah satuan sudah selesai dengan standar - Cantumkan sumber data untuk konfirmasi
3	Penggunaan Asumsi Untuk Pendugaan	• Jika terdapat data yang tidak wajar atau data tidak tersedia, buat pendugaan • Pendugaan dibuat dengan asumsi-asumsi • Cek apakah asumsi dibuat logis dan menggunakan <i>analogi/prediktor</i> yang tepat • Cek apakah asumsi-asumsi yang dibuat konsisten sepanjang data berseri atau antar daerah • Jika menggunakan data <i>prediktor</i>, cek apakah data <i>prediktor</i> tersebut relevan dan wajar • Cek apakah data <i>prediktor</i> menggunakan satuan yang sesuai • Jika semua sudah dilakukan, masukkan data pendugaan ke dalam Format Pelaporan Umum
4	Pengecekan Satuan dan Konversi	• Cek apakah satuan yang digunakan sudah dimasukkan dengan baik dalam lembar kerja perhitungan • Cek bahwa satuan yang benar digunakan mulai dari awal sampai akhir perhitungan • Cek bahwa faktor konversi sudah benar

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

No	Kegiatan	Prosedur
		• Cek faktor penyesuaian baik temporal maupun spasial sudah digunakan dengan benar
5	Pengecekan Kepakaran	• Dalam menentukan data kegiatan yang tidak terdokumentasi dilakukan <i>expert judgment</i> • Cek apakah pakar sesuai dengan kriteria kepakaran • Cek apakah asumsi sudah dimasukkan dalam Format Pelaporan Umum • Cek apakah satuan sudah tepat • Cantumkan sumber dan metode pendugaan sebagai referensi
6	Pengecekan Kelengkapan	• Konfirmasi bahwa dugaan emisi dan serapan GRK sudah dilaporkan untuk semua kategori untuk semua tahun mulai dari tahun dasar sampai tahun inventarisasi terakhir • Untuk sub-kategori, konfirmasi bahwa semua kategori sudah tercakup • Berikan definisi yang jelas untuk kategori sumber/rosot GRK lain apabila data Cek bahwa gap data yang menghasilkan estimasi yang tidak lengkap didokumentasi termasuk evaluasi kualitatif tentang pentingnya sumbangan emisi dari kategori tersebut terhadap total emisi

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

No	Kegiatan	Prosedur
PENJAMINAN MUTU		
1	Pengecekan Kepakaran <i>Verifikator/Evaluator</i>	• Cek apakah pakar sesuai dengan kriteria kepakaran • Cek apakah <i>evaluator</i> bertindak sesuai dengan prosedur
2	Dokumentasi Hasil Evaluasi	• Cek apakah hasil evaluasi dicatat • Cek apakah catatan evaluasi memberikan rujukan yang tepat. Misalnya mencantumkan rujukan metode • Cek apakah dokumentasi hasil evaluasi didokumentasikan pada format yang sesuai • Cek apakah tim penyusun memahami rekomendasi <i>evaluator/auditor</i> • Pastikan dua pihak (<i>evaluator/auditor</i> dan tim penyusun) menyetujui rekomendasi yang dibuat <i>evaluator</i>

Sumber: Pedoman Inventarisasi GRK, 2012

BAB IV

**RENCANA PERBAIKAN PENYELENGGARAAN INVENTARISASI
EMISI GAS RUMAH KACA**

Upaya peningkatan kualitas Inventarisasi Gas Rumah Kaca (IGRK) di Kota Magelang merupakan langkah strategis untuk memastikan ketersediaan data emisi yang lebih akurat dan dapat dipertanggungjawabkan. IGRK tidak hanya berfungsi sebagai instrumen pencatatan emisi, tetapi juga menjadi dasar penting dalam perumusan kebijakan pembangunan rendah karbon yang sejalan dengan komitmen mitigasi perubahan iklim. Hasil inventarisasi yang telah dilaksanakan menunjukkan bahwa meskipun capaian awal sudah memberikan gambaran mengenai profil emisi Kota Magelang, masih terdapat sejumlah keterbatasan baik dari sisi ketersediaan data, kualitas informasi, maupun penerapan metode perhitungan yang digunakan.

Dalam proses inventarisasi sebelumnya, beberapa kendala utama yang teridentifikasi antara lain adalah keterbatasan data aktivitas di sektor tertentu, penggunaan faktor emisi generik yang belum sepenuhnya mencerminkan kondisi lokal, serta kurangnya integrasi antar-instansi dalam penyediaan data sektoral. Permasalahan ini berpotensi menurunkan ketepatan estimasi emisi GRK sehingga hasil perhitungan belum sepenuhnya dapat menggambarkan kondisi riil di lapangan.

Oleh karena itu, perlu dilakukan rencana perbaikan yang berkelanjutan. Upaya perbaikan ini mencakup penyempurnaan mekanisme pengumpulan data dengan memperkuat koordinasi lintas perangkat daerah, mendorong penyediaan data sektoral secara periodik, serta meningkatkan kapasitas sumber daya manusia yang terlibat dalam penyusunan inventarisasi. Selain itu, penerapan metode perhitungan berbasis *tier* yang lebih tinggi perlu dipertimbangkan, dengan cara memperbarui faktor emisi berdasarkan kajian lokal maupun data hasil penelitian yang relevan dengan karakteristik Kota Magelang.

Melalui langkah-langkah perbaikan tersebut, diharapkan inventarisasi GRK Kota Magelang dapat menghasilkan data yang lebih presisi, transparan, serta berdaya guna dalam mendukung proses perencanaan pembangunan rendah karbon. Ke depan, penyempurnaan inventarisasi juga diarahkan agar selaras dengan sistem

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

pelaporan nasional, sehingga data emisi Kota Magelang dapat berkontribusi secara optimal dalam pencapaian target penurunan emisi nasional sekaligus memperkuat posisi Kota Magelang sebagai kota yang adaptif dan responsif terhadap tantangan perubahan iklim.

Tabel 4. 1 Rencana Perbaikan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Kota Magelang

No	Sektor	Kondisi Saat Ini	Rencana Perbaikan	Detail Kegiatan
1	Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca	Pelaksanaan inventarisasi dilakukan setiap tahun yang bekerja sama dengan seluruh pihak terkait dan telah memiliki tim kerja khusus untuk Inventarisasi Gas Rumah Kaca	Mempertahankan konsistensi inventarisasi gas rumah kaca dengan berkoordinasi bersama instansi terkait setiap tahun	Menyediakan wadah untuk koleksi data, sehingga setiap tahun tanpa menunggu waktu penyusunan inventarisasi gas rumah kaca data sudah terkumpul setiap tahunnya
2	Pengadaan dan Penggunaan Energi	Pengumpulan data dari SPBU memerlukan proses waktu untuk pengumpulan karena beberapa faktor kemungkinan seperti: a. Data penggunaan atau distribusi bahan bakar di SPBU tidak tersedia secara terbuka sehingga membutuhkan koordinasi dan izin resmi dari pengelola SPBU b. Tidak semua SPBU memiliki sistem digital	Rencana perbaikan pengumpulan data bahan bakar dilakukan dengan mengurangi alur koordinasi yang selama ini melalui Bagian Perekonomian Setda dan masih bergantung pada SPBU di Kota Magelang. Ke depannya, data dapat diperoleh langsung dari instansi teknis yang berwenang seperti Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah yang secara rutin mencatat distribusi dan konsumsi bahan	Adapun contoh kegiatan yang dapat dilakukan untuk perbaikan ke depannya: a. Koordinasi awal dengan Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah/Pertamina untuk memperoleh akses data distribusi dan konsumsi bahan bakar secara resmi. b. Penyusunan mekanisme permintaan data periodik melalui perjanjian Kerja sama antar instansi.

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

No	Sektor	Kondisi Saat Ini	Rencana Perbaikan	Detail Kegiatan
		yang dapat langsung diakses. c. Beberapa data distribusi bahan bakar dianggap sensitif karena terkait aspek bisnis sehingga tidak dapat diberikan langsung dan perlu melewati prosedur formal permohonan data	bakar, serta melalui kerja sama formal dengan Pertamina agar data periodik lebih cepat, valid, dan terintegrasi dengan sistem informasi lingkungan hidup daerah	
3	Pertanian, Kehutanan, dan Penggunaan Lahan Lainnya	Tahun ini belum mendapatkan data luas tutupan lahan terbaru sampai dengan berakhirnya penyusunan dokumen	Memperkuat mekanisme pembaruan data tutupan lahan melalui koordinasi dengan instansi teknis di tingkat provinsi dan memanfaatkan sumber data spasial yang terbuka.	Melakukan koordinasi rutin dengan DLH Provinsi Jawa Tengah dan instansi teknis lain di daerah untuk memperoleh data pembaruan tutupan lahan
4	Pengelolaan Limbah	Pengumpulan data limbah cair di Kota Magelang masih menghadapi kendala perbedaan persepsi antar tahun, terutama dalam hal kriteria pengelompokan sarana pengolahan air	menyusun pedoman kategorisasi dan definisi teknis yang seragam mengenai sarana pengolahan air limbah domestik. Pedoman ini akan digunakan secara konsisten setiap tahun dalam kegiatan	Menyusun pedoman teknis mengenai klasifikasi tangki septik, IPAL terpusat, dan <i>cubluk</i> yang mengacu pada permen PUPR, permen LHK, atau pedoman nasional terkait.

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

No	Sektor	Kondisi Saat Ini	Rencana Perbaikan	Detail Kegiatan
		limbah domestik. Contohnya, definisi dan kategorisasi antara tangki septik, IPAL terpusat, dan <i>cubluk</i> tidak seragam, sehingga menimbulkan perbedaan hasil perhitungan dibandingkan dengan tahun sebelumnya. Kondisi ini berdampak pada keterbandingan data antar tahun dalam inventarisasi GRK sektor limbah.	survei maupun pengolahan data, sehingga hasil inventarisasi lebih akurat dan dapat dibandingkan antar periode. Selain itu, koordinasi dengan instansi terkait dan fasilitasi teknis kepada petugas lapangan akan diperkuat agar tidak terjadi perbedaan persepsi dalam proses pendataan.	

**BAB V
PENUTUP**

Penyusunan Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Magelang Tahun 2024 merupakan bagian dari komitmen Pemerintah Kota Magelang dalam mendukung agenda nasional pengendalian perubahan iklim. Seluruh proses inventarisasi, mulai dari pengumpulan data hingga analisis, telah dilaksanakan sesuai dengan ketentuan Peraturan Presiden Nomor 71 Tahun 2011 tentang Inventarisasi Emisi GRK Nasional. Hasil inventarisasi ini memberikan gambaran mengenai tingkat dan kecenderungan emisi GRK di berbagai sektor serta potensi penyerapan karbon di wilayah Kota Magelang. Informasi tersebut menjadi dasar penting bagi Pemerintah Kota dalam merumuskan kebijakan, strategi mitigasi, dan program pengelolaan lingkungan yang lebih terarah, sekaligus memperkuat kontribusi Kota Magelang terhadap pencapaian target penurunan emisi GRK secara nasional.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Magelang yang disusun sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 12 Tahun 2024, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Inventarisasi Gas Rumah Kaca Kota Magelang telah menghasilkan data emisi dan serapan Gas Rumah Kaca (GRK) tahun 2024 berdasarkan sektor, yaitu:
 - a. Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi menghasilkan emisi sebesar 20.683,96 Gg CO₂eq (20.683.690 Ton CO₂eq) dengan penyumbang terbesar berasal dari sub sektor 20.559,06 Gg CO₂eq.
 - b. Sektor Pertanian menghasilkan emisi sebesar 1,76 Gg CO₂eq (1.760 Ton CO₂eq) dengan penyumbang terbesar berasal dari Budidaya Padi Sawah 1,01 Gg CO₂eq.
 - c. Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan menghasilkan emisi sebesar – 1,85 Gg CO₂eq (-1.850 Ton CO₂eq) dengan serapan

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

karbon terbesar berasal dari FL-FL (*Forest Land to Forest Land*) yaitu – 1,54 Gg CO₂eq.

- d. Sektor Pengelolaan Limbah menghasilkan emisi sebesar 15,75 Gg CO₂eq (15.750 Ton CO₂eq) dengan penyumbang terbesar berasal dari Limbah Cair Domestik 15,69 Gg CO₂eq
2. Sumber-sumber utama emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Kota Magelang telah teridentifikasi berdasarkan kategori utama IPCC, yang meliputi sektor pengadaan dan penggunaan energi, proses industri dan penggunaan produk, pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan, serta pengelolaan limbah, yang didukung oleh data aktivitas dari masing-masing sektor.
3. Hasil analisis menunjukkan tingkat, status, dan tren emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Magelang tahun 2024 mengalami penurunan sebesar 3,34% dibandingkan dengan tahun sebelumnya (berdasarkan data tahun 2023).
4. Hasil inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) ini dapat digunakan sebagai dasar evaluasi serta penyusunan dan penyempurnaan Rencana Aksi Daerah (RAD) dalam rangka mitigasi pengurangan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Kota Magelang sesuai dengan prioritas dan kapasitas daerah.
5. Dokumen inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Magelang telah tersusun dan siap digunakan sebagai bagian dari pelaporan emisi Gas Rumah Kaca yang terintegrasi dalam sistem nasional SIGN-SMART.

Berikut ini telah disajikan tabel hasil perhitungan emisi gas rumah kaca Kota Magelang dari tahun 2020 hingga tahun 2024.

**Tabel 5. 1 Hasil Perhitungan Emisi GRK Kota Magelang Tahun
2020-2024**

Sektor	Emisi Gg CO ₂ eq				
	2020	2021	2022	2023	2024
Pengadaan dan Penggunaan Energi	22.253,02	22.286,31	22.199,53	21.402,65	20.683,96
Proses Industri dan Penggunaan Produk	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

Sektor	Emisi Gg CO ₂ eq				
	2020	2021	2022	2023	2024
Pertanian	2,94	2,47	3,91	2,28	1,76
Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya	-1,84	-1,84	-1,88	-1,88	-1,85
Pengelolaan Limbah	11,14	10,60	25,10	11,73	15,75
Total Emisi	22.265,26	22.297,55	22.226,66	21.414,78	20.700,27

Sumber: Hasil Perhitungan SIGN-SMART, 2025

5.2 Rekomendasi

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang dilakukan dalam penyusunan Laporan Gas Rumah Kaca Kota Magelang Tahun Anggaran 2025, ada beberapa rekomendasi yang dapat dilaksanakan. Rekomendasi ini tidak hanya untuk menurunkan emisi GRK, namun dapat mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*SDGs*) khususnya *SDG 7* (Energi Bersih dan Terjangkau), *SDG 11* (Kota dan Permukiman Berkelanjutan), dan *SDG 13* (Penanganan Perubahan Iklim), serta selaras dengan prioritas pembangunan yang tertuang dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Kota Magelang:

1. Melakukan kolaborasi antar sektor untuk menurunkan jumlah emisi yang dihasilkan. Pemerintah Kota Magelang melalui DLH dapat berkolaborasi dengan Dinas Perhubungan untuk mendorong penggunaan transportasi umum yang ramah lingkungan hal ini selaras dengan *SDGs 11* (Kota Berkelanjutan). Selain itu, pemerintah kota juga dapat bekerja sama dengan Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (DPUPR) dalam membangun IPAL komunal dan septic tank sebagai standar kawasan padat penduduk untuk mengelola limbah cair domestik. Melalui kolaborasi lintas sektor ini, upaya penurunan emisi GRK dapat berjalan lebih terpadu, efektif, dan sejalan dengan target RPJMD.
2. Membuat skala prioritas untuk pelaksanaan upaya penurunan emisi berdasarkan kategori kunci. Hasil inventarisasi emisi gas rumah kaca Tahun Anggaran 2025, tiga sub sektor yang menjadi penyumbang emisi terbanyak berasal dari Residensial, Transportasi, dan Limbah cair domestik. Kebijakan dan program mitigasi harus difokuskan

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

pada ketiga sektor ini, dan pelaksanaannya harus disinkronkan dengan program strategis dan indikator kinerja utama yang telah ditetapkan dalam RPJMD Kota Magelang.

3. Peralihan dari kendaraan berbahan bakar fosil menjadi kendaraan listrik menjadi salah satu upaya untuk mengurangi emisi terutama gas karbon dioksida (CO₂). Pemerintah Kota Magelang juga perlu mendorong supaya penggunaan kendaraan listrik yang dapat dimulai dari instansi pemerintahan sebagai percontohan, serta mempersiapkan infrastruktur pendukung yang memadai.

**Tabel 5. 2 Pelaksana yang bertanggung Jawab dalam Penurunan
Emisi Gas Rumah Kaca di Kota Magelang**

No	Rekomendasi	Pelaksana Utama	Kolaborator
1.	Peningkatan Kolaborasi Lintas Sektor yang Terpadu dan Berkesinambungan	Dinas Lingkungan Hidup (DLH)	Dinas Perhubungan (Dishub), Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (DPUPR), Dinas Perumahan dan Permukiman (Disperkim).
	a. Mendorong penggunaan transportasi umum ramah lingkungan		Dishub, Satpol PP.
	b. Membangun IPAL komunal dan <i>septic tank</i>		Disperkim, DPUPR.

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

No	Rekomendasi	Pelaksana Utama	Kolaborator
	standar kawasan padat penduduk		
2.	Penentuan Skala Prioritas Berbasis Kategori Kunci dan Sinkronisasi RPJMD	Dinas Lingkungan Hidup (DLH)	Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda), Organisasi Perangkat Daerah (OPD) terkait Sektor Kunci (Residensial, Transportasi, Limbah cair domestik).
3.	Meningkatkan peralihan dari bahan bakar fosil menuju bahan bakar energi listrik untuk mengurangi emisi karbon	Dinas Lingkungan Hidup (DLH)	Dinas Perhubungan (Dishub), Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Provinsi (sebagai perwakilan energi), Bagian Umum Setda (untuk

**LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA
KOTA MAGELANG TAHUN 2025**

No	Rekomendasi	Pelaksana Utama	Kolaborator
			kendaraan dinas).

Dari hasil penyusunan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Tahun Anggaran 2025, dapat diajukan beberapa rencana atau rekomendasi aksi yang dapat dilaksanakan oleh Pemerintah Kota Magelang maupun dinas terkait dengan pembagian waktu berdasarkan jangka pendek, menengah, dan panjang sebagai berikut:

5.2.1 Jangka Pendek

1. Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca

- a. Pembentukan tim penyusun inventarisasi gas rumah kaca. Kota Magelang telah melaksanakan inventarisasi gas rumah kaca (GRK) setiap tahunnya. Berdasarkan berbagai kendala yang dihadapi selama proses penyusunan inventarisasi gas rumah kaca khususnya terkait koordinasi dengan dinas terkait serta pengumpulan data aktivitas, disarankan untuk membentuk sebuah tim koordinasi. Tim ini diharapkan terdiri atas perwakilan dari masing-masing instansi terkait guna mempermudah proses pengumpulan data yang dibutuhkan dalam penyusunan inventarisasi gas rumah kaca.

Pelaksana: Pemerintah Kota Magelang

- b. Melakukan penyusunan dokumen Rencana Aksi Daerah (RAD) penurunan emisi gas rumah kaca Kota Magelang. Dokumen RAD merupakan dokumen rencana kerja yang berisi berbagai kegiatan untuk menurunkan emisi gas rumah kaca sesuai dengan target yang telah ditetapkan di tingkat daerah. Dokumen ini dapat dijadikan pedoman untuk merencanakan, melaksanakan, memantau dan mengevaluasi upaya mitigasi perubahan iklim di wilayahnya.

Pelaksana: Pemerintah Kota Magelang

- c. Digitalisasi pengumpulan data. Proses pengumpulan data ini perlu dilakukan digitalisasi supaya data yang diperoleh akurat, cepat, dan terintegrasi. Proses manual sering kali menimbulkan keterlambatan, inkonsistensi, dan kesulitan koordinasi antar instansi. Oleh karena

itu, digitalisasi menjadi langkah strategis dalam memperkuat tata kelola inventarisasi GRK di Kota Magelang.

Pelaksana: Dinas Lingkungan Hidup Kota Magelang

2. Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi

- a. Pemerintah Kota Magelang dapat menjalin kerja sama dengan Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah maupun Pertamina untuk memperoleh data konsumsi bahan bakar sektor transportasi. Kolaborasi ini penting agar data yang digunakan lebih akurat dan ter-verifikasi, mengingat sektor transportasi menjadi salah satu penyumbang utama emisi GRK. Dengan adanya sinergi antar pihak, Kota Magelang dapat memiliki basis data energi yang lebih solid untuk perhitungan emisi sekaligus merumuskan strategi penurunan yang lebih tepat sasaran.

Pelaksana: Dinas Lingkungan Hidup Kota Magelang

- b. Sosialisasi penggunaan transportasi publik. Hal ini merupakan langkah penting dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Dengan meningkatkan kesadaran masyarakat tentang manfaat lingkungan, sosial, dan ekonomi dari penggunaan transportasi publik, dapat menciptakan sistem transportasi yang lebih berkelanjutan dan mendukung upaya global dalam mengatasi perubahan iklim.

Pelaksana: Dinas Perhubungan Kota Magelang

- c. Uji emisi secara berkala. Prosedur yang dilakukan untuk mengukur tingkat emisi gas buang kendaraan bermotor, guna memastikan bahwa kendaraan tersebut memenuhi standar emisi yang ditetapkan oleh Pemerintah. Hal ini juga merupakan salah satu upaya untuk mengurangi emisi gas rumah kaca.

Pelaksana: Dinas Perhubungan Kota Magelang

- d. Pengembangan sistem penerangan jalan umum menggunakan LED atau panel surya. Hal ini dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dengan menggantikan energi fosil dengan energi terbarukan dari matahari. Sistem ini mengurangi konsumsi listrik dari pembangkit

berbahan bakar fosil, mengurangi emisi karbon dioksida (CO₂), dan mendukung lingkungan yang lebih bersih serta berkelanjutan.

Pelaksana: Pemerintah Kota Magelang

- e. *Car Free Day/ Car Free Night*. Kegiatan ini dapat dilakukan pada hari tertentu yang bertujuan untuk membatasi penggunaan kendaraan pribadi serta memberikan akses lebih pada penggunaan transportasi publik maupun kendaraan non motor. Hal ini dapat mereduksi emisi gas rumah kaca pada sub sektor transportasi.

Pelaksana: Dinas Perhubungan Kota Magelang

- f. Efisiensi dan substitusi penggunaan LPG rumah tangga. Pemerintah Kota Magelang dapat mendorong pengurangan konsumsi LPG rumah tangga melalui sosialisasi penggunaan peralatan memasak hemat energi, peningkatan efisiensi penggunaan LPG, serta pemanfaatan energi alternatif yang lebih rendah emisi, seperti kompor listrik atau induksi pada rumah tangga tertentu. Upaya ini bertujuan menekan konsumsi LPG sekaligus menurunkan emisi gas rumah kaca dari sektor energi.

Pelaksana: Dinas Lingkungan Hidup Kota Magelang, Dinas
Perdagangan Perindustrian Koperasi dan Usaha Mikro

3. Sektor Pertanian, Kehutanan, dan Penggunaan Lahan Lainnya

- a. Pencatatan dan penyempurnaan basis data aktivitas. Data aktivitas untuk sektor kehutanan masih belum lengkap khususnya pada data perubahan lahan Kota Magelang yang menggunakan data citra satelit dari Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Tengah.
- b. Penerapan pertanian perkotaan ramah lingkungan. Mengembangkan praktik urban farming, hidroponik, dan pertanian organik skala rumah tangga maupun komunitas untuk menekan penggunaan pupuk kimia serta meningkatkan ketersediaan pangan lokal. Langkah ini juga dapat berkontribusi dalam mengurangi emisi GRK dari penggunaan bahan kimia pertanian.

Pelaksana: Dinas Pertanian dan Pangan Kota Magelang

- c. Pemanfaatan limbah organik pertanian sebagai kompos dan energi alternatif. Limbah organik pertanian dapat diolah menjadi kompos atau biogas sederhana, sehingga mengurangi emisi metana dari pembuangan terbuka sekaligus menghasilkan produk yang bermanfaat.

Pelaksana: Dinas Pertanian dan Pangan dan DLH Kota Magelang

4. Sektor Pengelolaan Limbah

- a. Harmonisasi data sarana pengolahan air limbah domestik. Perbedaan persepsi dalam klasifikasi tangki septik, cubluk, dan IPAL terpusat menyebabkan data emisi kurang konsisten. Diperlukan pedoman teknis dan format pendataan yang seragam agar inventarisasi emisi GRK dari limbah cair lebih akurat dan dapat dibandingkan setiap tahun.

Pelaksana: Dinas Lingkungan Hidup Kota Magelang, Dinas
Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang

- b. Penguatan program pengelolaan sampah berbasis masyarakat. Mendorong optimalisasi TPS3R, bank sampah, dan gerakan pemilahan sampah rumah tangga untuk mengurangi timbunan sampah yang berakhir di TPA. Dengan peningkatan daur ulang dan pemanfaatan kembali, emisi metana dari sektor limbah dapat ditekan.
- c. Penerapan teknologi RDF (*Refuse Derived Fuel*). Sampah kering yang tidak bisa didaur ulang maupun diolah menjadi kompos dapat diproses menjadi bahan bakar alternatif (RDF) untuk industri semen atau pembangkit listrik. Dengan cara ini, volume sampah yang ditimbun di TPA dapat berkurang signifikan sekaligus mendukung pemanfaatan energi terbarukan.

Pelaksana: DLH Kota Magelang dan Industri penggunaan RDF dan pemerintah provinsi

- d. Peningkatan daur ulang plastik dan sampah anorganik. Sampah plastik dan anorganik lainnya masih mendominasi timbunan di perkotaan. Dengan memperkuat rantai daur ulang, melibatkan bank

sampah, pengepul, serta industri pengolahan plastik, emisi dari sampah anorganik dapat ditekan sekaligus meningkatkan nilai ekonomi sirkular.

Pelaksana: DLH Kota Magelang bersama komunitas bank sampah dan pihak swasta

- e. Pengurasan Lumpur Tinja Berkala. Mewajibkan pengurasan lumpur tinja dari tangki septik secara rutin dan terjadwal (misalnya, setiap 3-5 tahun) oleh Layanan Lumpur Tinja Terjadwal (LLTT). Pengurasan bertujuan untuk mencegah penumpukan bahan organik yang terlalu lama karena hal ini dapat mengakibatkan produksi CH_4 yang tinggi.
- f. Peningkatan cakupan IPAL Komunal dan IPAL terpusat. Peningkatan jumlah sambungan rumah ke IPAL komunal dan IPAL terpusat perlu dilakukan secara bertahap untuk mengurangi ketergantungan pada sistem pengolahan setempat. Dalam konteks SIGN-SMART, peningkatan porsi IPAL komunal akan menurunkan kontribusi emisi metana dibandingkan sistem cubluk dan tangki septik sederhana.

Pelaksana: DPUPR dan Dinas Lingkungan Hidup Kota Magelang

5.2.2 Jangka Menengah

1. Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca

- a. Integrasi Inventarisasi Gas Rumah Kaca dengan perencanaan pembangunan daerah jangka panjang. Penyusunan inventarisasi gas rumah kaca (GRK) yang konsisten akan memberikan informasi dan prediksi tren dari hasil yang diperoleh selama periode panjang. Pemerintah Kota Magelang dapat menggunakan hasil inventarisasi GRK untuk menyusun rencana pembangunan daerah, memastikan bahwa pengurangan emisi GRK dimasukkan sebagai bagian dari perencanaan pembangunan jangka panjang.

Pelaksana: Pemerintah Kota Magelang

- b. Digitalisasi koleksi data. Digitalisasi data inventarisasi memungkinkan data yang terkumpul lebih terorganisir dan

terdokumentasi dengan baik. Hal ini dapat dilakukan dengan membuat aplikasi terintegrasi yang memudahkan akses oleh seluruh instansi terkait dalam pengelolaan data inventarisasi gas rumah kaca.

Pelaksana: Pemerintah Kota Magelang

2. Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi

- a. Peningkatan energi terbarukan. Mendorong peralihan dari sumber energi fosil ke energi terbarukan seperti matahari, angin, atau biomassa. Dapat dimulai dengan membangun lebih banyak fasilitas panel surya di gedung-gedung pemerintahan dan fasilitas publik.
- b. Pengembangan infrastruktur pengisian kendaraan Listrik. Memfasilitasi transisi ke kendaraan listrik sebagai bagian dari pengurangan emisi di sektor transportasi. Membangun lebih banyak stasiun pengisian kendaraan listrik di area publik dan pusat-pusat perbelanjaan.
- c. Pengadaan transportasi umum *Bus Rapid Transit* (BRT). Transportasi umum ini dapat membantu penggunaan kendaraan pribadi karena sumber emisi gas rumah kaca paling banyak dihasilkan dari penggunaan bahan bakar transportasi.

Pelaksana: Dinas Perhubungan Kota Magelang

3. Sektor Pertanian, Kehutanan, dan Penggunaan Lahan Lainnya

- a. Reforestasi dan Penghijauan. Meningkatkan kegiatan reforestasi dan penghijauan di lahan-lahan yang gundul atau terdegradasi, serta memperluas kawasan hutan kota dan taman-taman hijau untuk meningkatkan penyerapan karbon.

Pelaksana: Bapperida, Dinas Pertanian dan Pangan Kota Magelang

- b. Pengembangan pertanian urban berkelanjutan. Mendorong penerapan pertanian perkotaan (*urban farming*) yang ramah lingkungan dengan teknik hidroponik, vertikultur, dan pemanfaatan lahan sempit. Selain meningkatkan ketahanan pangan, praktik ini mengurangi tekanan perubahan lahan dan mendukung penyerap karbon lokal.

Pelaksana: Dinas Pertanian dan Pangan, DLH Kota Magelang

- c. Rehabilitasi Ruang Terbuka Hijau (RTH) dan penghijauan kawasan kritis. Memperluas program penanaman pohon di RTH, bantaran sungai, serta kawasan rawan erosi untuk meningkatkan cadangan karbon. Kegiatan ini juga memperbaiki kualitas lingkungan perkotaan dan mengurangi risiko bencana hidrometeorologi.

Pelaksana: DLH Kota Magelang dan Dinas Pekerjaan Umum.

- d. Pengembangan dan optimalisasi Ruang Terbuka Biru (RTB). Mengintegrasikan fungsi ekosistem perairan seperti sungai, embung, dan kolam retensi ke dalam strategi penurunan emisi dan adaptasi perubahan iklim. RTB dapat meningkatkan serapan karbon melalui vegetasi di bantaran, mengurangi efek pulau panas perkotaan, sekaligus memperbaiki kualitas tata air. Program ini juga dapat dikombinasikan dengan edukasi masyarakat tentang pentingnya menjaga sungai dan kawasan perairan sebagai bagian dari RTH alternatif di wilayah perkotaan padat.

Pelaksana: DLH Kota Magelang dan Dinas Pekerjaan Umum.

- e. Edukasi dan pemberdayaan petani. Memberikan pelatihan berkelanjutan kepada petani terkait praktik ramah lingkungan seperti penggunaan pupuk organik, pengendalian hama terpadu, dan sistem pertanian konservasi. Langkah ini mengurangi emisi dari pupuk kimia dan menjaga kesehatan tanah.

Pelaksana: Dinas Pertanian dan Pangan Kota Magelang

4. Sektor Pengelolaan Limbah

- a. Optimalisasi pengurangan sampah dari sumber. Memperluas penerapan pemilahan sampah rumah tangga, sekolah, perkantoran, dan kawasan komersial dengan dukungan regulasi daerah serta penyediaan sarana pemilahan sederhana.
- b. Peningkatan kapasitas TPS 3R dan Bank Sampah. Mengaktifkan kembali TPS3R agar mampu mengolah sampah organik (kompos, maggot, bio-enzim) serta memperkuat jaringan bank sampah untuk menyalurkan sampah anorganik ke sektor daur ulang.

Pelaksana: DLH Kota Magelang, kelurahan, sekolah, komunitas masyarakat

- c. Pemanfaatan teknologi alternatif pengolahan sampah. Mengembangkan opsi *waste to energy* skala kecil, seperti RDF untuk industri, pirolisis plastik, atau *incinerator* mini ramah lingkungan di titik tertentu, sehingga volume residu yang dibuang ke TPA dapat ditekan.

Pelaksana: DLH Kota Magelang dan sektor swasta

- d. Penguatan kemitraan dengan pihak ketiga. Menjalinkan kerja sama dengan swasta, komunitas, hingga perguruan tinggi untuk inovasi teknologi pengelolaan sampah, serta memperluas pasar daur ulang agar sampah bernilai ekonomi.

Pelaksana: DLH Kota Magelang

- e. Edukasi dan perubahan perilaku masyarakat. Melaksanakan kampanye berkelanjutan mengenai pengurangan plastik sekali pakai, gaya hidup minim sampah, serta partisipasi aktif dalam program pemilahan dan daur ulang.

Pelaksana: DLH Kota Magelang

- f. Pembangunan IPAL Komunal. Membangun IPAL komunal yang melayani beberapa rumah tangga atau satu kawasan. Tujuan pembangunan IPAL Komunal adalah untuk mengendalikan, mengurangi, dan memanfaatkan produksi gas CH₄ menjadi biogas yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan contohnya memasak.

5.2.3 Jangka Panjang

1. Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi

- a. Transisi energi bersih perkotaan. Mendorong penggunaan energi terbarukan di fasilitas publik (panel surya atap gedung pemerintahan, sekolah, dan rumah sakit).
- b. Transportasi rendah emisi. Pengembangan sistem transportasi umum ramah lingkungan (bus listrik, sepeda kota, pedestrianisasi) yang terintegrasi dengan pengendalian emisi transportasi pribadi.

- c. *Green Building*. Penerapan standar bangunan hemat energi (*green building*) untuk fasilitas pemerintah, komersial, dan perumahan baru.

2. Sektor Pertanian, Kehutanan, dan Penggunaan Lahan Lainnya

- a. Peningkatan kualitas dan kuantitas RTH/Ruang Terbuka Biru. Memaksimalkan lahan perkotaan yang terbatas untuk taman kota, jalur hijau, hutan kota vertikal, dan koridor sungai sebagai penyerap karbon.
- b. Pertanian perkotaan berkelanjutan. Pengembangan urban farming dan hidroponik yang efisien lahan untuk menjaga ketahanan pangan sekaligus menyerap karbon.
- c. Konservasi dan restorasi bantaran sungai. Menata bantaran dengan vegetasi lokal untuk memperkuat daya serap karbon, mencegah erosi, dan menjaga kualitas air.
- d. Integrasi AFOLU ke rencana tata ruang. Menetapkan peta jalan jangka panjang pemanfaatan ruang untuk menjaga keseimbangan antara pembangunan dan konservasi.

3. Sektor Pengelolaan Limbah

- a. Sistem pengolahan limbah terpadu. Pengembangan fasilitas regional atau kerja sama antar kota/kabupaten untuk mengatasi keterbatasan lahan TPA di Kota Magelang.
- b. Teknologi pengolahan lanjutan. Investasi jangka panjang pada *waste to energy* skala besar atau fasilitas RDF regional sebagai solusi pengolahan residu.
- c. Ekonomi sirkular kota. Mendorong rantai daur ulang formal yang berkelanjutan, melibatkan industri, koperasi, dan UMKM dalam pengelolaan material daur ulang.
- d. Pengelolaan air limbah domestik dilakukan secara terintegrasi melalui pembangunan IPAL komunal dan peningkatan cakupan layanan pengolahan air limbah rumah tangga hingga mencakup seluruh wilayah kota. IPAL komunal yang dibangun diarahkan untuk dilengkapi sistem penangkap gas metana agar gas yang

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

dihasilkan dapat ditangkap dan dimanfaatkan serta tidak terlepas ke udara bebas sebagai emisi gas rumah kaca.

- e. Pembangunan jaringan sewerage dilakukan untuk menggantikan tangki septik individual dengan sistem perpipaan menuju IPAL terpusat. IPAL terpusat diarahkan menggunakan teknologi pengolahan berbasis proses aerobik serta pengelolaan lumpur secara terkendali guna mencegah terbentuknya emisi gas metana.

5.3 Target Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca Pada Tahun 2025-2030

Berikut merupakan target untuk menurunkan emisi GRK di Kota Magelang pada tahun 2025-2030.

No	Tahun	Emisi (Ton CO ₂ eq)
1.	2025	34.978,84
2.	2026	114.342,81
3.	2027	193.706,78
4.	2028	273.070,75
5.	2029	352.434,72
6.	2030	431.798,69

Sumber: RPJMD Kota Magelang Tahun 2026-2029

DAFTAR PUSTAKA

- Arinaldo, D., & Adiatma, J. C. (2019). *Indonesia's coal dynamics: Toward a just energy transition*. Institute for Essential Services Reform.
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Kota Magelang dalam Angka 2024*. Badan Pusat Statistik Kota Magelang.
- Chelu, M., Chesler, P., Hornoiu, C., Anastasescu, M., Calderon-Moreno, J. M., Mitrea, D., Brasoveanu, C., Moldovan, C., & Gartner, M. (2023, April 23). Chemiresistor dengan film sensitif berstruktur nano In_2O_3 yang digunakan untuk deteksi ozon pada suhu kamar. *Gel*.
- Dinas Lingkungan Hidup Kota Magelang. (2025). *Data aktivitas sektor energi, limbah, pertanian, kehutanan, dan penggunaan lahan lainnya Kota Magelang*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC.
- Irma, M. F., & Gusmira, E. (2024). Tingginya kenaikan suhu akibat peningkatan emisi gas rumah kaca di Indonesia. *JSSIT: Jurnal Sains dan Sains Terapan*, 2(1).
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2019). Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 22 Tahun 2019 tentang Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi dan Mitigasi Gas Rumah Kaca Bidang Energi. Jakarta: Kementerian ESDM.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2017). Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2024). Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Daerah. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2025). SIGN-SMART: Sistem Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. KLHK.
- Nicola, M., Zaid, A., Sohrabi, C., Kerwan, A., Al-Jabir, A., Iosifidis, C., Agha, M., & Agha, R. (2020). The socio-economic implications of the Coronavirus pandemic (COVID-19): A review. *International Journal of Surgery*, 78, 185–193.
- Patrianti, T., Shabana, A., & Tuti, R. W. (2020). Government risk communication on greenhouse gas emission reduction to tackle climate change. *Jurnal Penelitian Komunikasi dan Opini Publik*, 24(2), 156–170.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2021). Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2024 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca.
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional.
- Prasetyo, A. (2023). Perubahan iklim dan dampaknya terhadap sektor pertanian. *Jurnal Agrikultur Indonesia*, 12(3). Rachman, B. (2023). Transisi energi bersih: Tantangan dan peluang di Indonesia. *Jurnal Kebijakan Energi*, 5(2).
- Putri, A. R., Gunarto, T., Emalia, Z., & Murwiati, A. (2022). Pengaruh pertumbuhan ekonomi, pertumbuhan penduduk, dan konsumsi energi terhadap emisi CO₂ di Indonesia. *Jurnal Multidisiplin Ilmu*, 1(6), 1070–1080. <https://journal.mediapublikasi.id/index.php/bullet>

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI GAS RUMAH KACA KOTA MAGELANG TAHUN 2025

- Suryani, R. (2023). Dampak perubahan iklim dan upaya mitigasi di Indonesia. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 9(2).
- Syafitri, R. (2023). Dampak ketergantungan energi fosil terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 10(1).
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2023). National greenhouse gas inventory data. UNFCCC.
- Wicaksono, P. (2023). Prinsip-Prinsip Inventarisasi Gas Rumah Kaca dan Implementasinya di Indonesia. *Jurnal Lingkungan dan Perubahan Iklim*, 10(2), 45-60.
- Wicaksono, P. (2023). Prinsip-prinsip inventarisasi gas rumah kaca dan implementasinya di Indonesia. *Jurnal Lingkungan dan Perubahan Iklim*, 10(2), 45-60.