



**PEMERINTAH KOTA MAGELANG
DINAS LINGKUNGAN HIDUP**

2020

LAPORAN AKHIR

**INVENTARISASI GAS RUMAH KACA (GRK)
KOTA MAGELANG**



Disusun oleh :
Tim Penyusun Pendataan Kegiatan
Penghasil Gas Rumah Kaca Tahun 2021

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan Rahmat dan Kurnia-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan Laporan Akhir Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Magelang.

Penyusunan laporan ini bertujuan untuk memberikan informasi mengenai inventarisasi data sumber emisi dari aktivitas sektor penghasil GRK (energi, IPPU, pertanian, kehutanan dan limbah) di Kota Magelang selama tahun 2020. Data yang tercantum didalam dokumen ini digunakan dalam input Sistem Inventory GRK Nasional (SIGN-SMART). Kemudian hasil perhitungan emisi GRK dari aplikasi SIGN-SMART dicantumkan dan dianalisis dalam laporan ini. Hasil perhitungan tersebut diharapkan dapat dijadikan salah satu acuan dalam pengambilan kebijakan rencana aksi daerah dalam upaya menurunkan emisi gas rumah kaca di Kota Magelang.

Penyusun menyadari bahwa Laporan ini masih banyak hal yang harus terus dibenahi sebagai sebuah kajian teknis dan akademis, sehingga demi kesempurnaan laporan ini, kami mohon masukan dan saran kepada semua pihak yang terkait dengan kegiatan penyusunan **Dokumen Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) tahun 2020** ini.

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada seluruh pihak yang telah mendukung kegiatan ini sehingga laporan ini dapat selesai sesuai dengan waktu yang telah direncanakan.

Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) tahun 2020 Kota Magelang ini bermanfaat untuk semua pihak.

Magelang, 2021

Tim Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
RINGKASAN EKSEKUTIF.....	vii
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1. 1. Latar Belakang Informasi Inventarisasi GRK	I-1
1. 2. Pengaturan Kelembagaan dalam Penyelenggaraan Inventarisasi GRK.....	I-3
1. 3. Deskripsi Ringkasan Proses Persiapan Inventarisasi GRK.....	I-4
BAB II METODOLOGI DAN SUMBER DATA YANG DIGUNAKAN	II-1
2.1 Pengumpulan Data	II-1
2.2 Pengolahan Data	II-1
2.3 Metodologi Perhitungan Inventarisasi GRK	II-2
2.4 Analisis Ketidakpastian (<i>Uncertainty Analysis</i>).....	II-32
2.5 Analisis Kategori Kunci (<i>Key Category Analysis</i>)	II-33
2.6 Penjaminan dan Pengendalian Mutu	II-36
BAB III HASIL PERHITUNGAN EMISI DAN SERAPAN GRK	III-1
3.1. Tingkat, Status, dan Kecenderungan Emisi dan Serapan GRK	III-1
3.2. Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi	III-3
3.3. Sektor IPPU (Industrial Processes and Product Use).....	III-8
3.4. Sektor Pertanian	III-11
3.5. Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya	III-16
3.6. Sektor Limbah	III-24
BAB IV ANALISIS KETIDAKPASTIAN DAN KATEGORI KUNCI.....	IV-1
4.1 Analisis Ketidakpastian	IV-1

4.2 Kategori Kunci	IV-3
BAB V PENGENDALIAN DAN PENJAMINAN MUTU	V-1
BAB VI RENCANA PERBAIKAN PENYELENGGARAAN INVENTARISASI.....	VI-1
BAB VII PENUTUP	VII-1
7.1 Kesimpulan	VII-1
7.2 Rekomendasi.....	VII-2
DAFTAR PUSTAKA	Lampiran

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kebutuhan dan Sumber Data.....	II-1
Tabel 2. 2 Kategori Sumber Emisi dari Kegiatan Energi	II-4
Tabel 2. 3 Kategori Sumber Emisi GRK dari Proses Industri dan Penggunaan Produk	II-10
Tabel 2. 4 Kegiatan Pengelolaan Limbah	II-25
Tabel 3. 1 Jumlah Emisi Masing-Masing Sektor	III-3
Tabel 3. 2 Kalkulasi Emisi Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi Tahun 2020	III-4
Tabel 3. 3 Kalkulasi Emisi GRK Sektor Proses Industri dan Penggunaan Produk	III-9
Tabel 3. 4 Kalkulasi Emisi GRK Sektor Pertanian Tahun 2020	III-11
Tabel 3. 5 Kelas Penutupan Lahan	III-16
Tabel 3. 6 Luasan Tutupan Lahan di Kota Magelang Tahun 2020	III-20
Tabel 3. 7 Kalkulasi Emisi GRK Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya Tahun 2020	III-22
Tabel 3. 8 Kalkulasi Emisi GRK Sektor Pengelolaan Limbah Tahun 2020	III-25
Tabel 3. 9 Sarana Pembuangan Air Limbah Domestik	III-30
Tabel 5. 1 Prosedur Pengendalian dan Penjaminan Mutu Inventarisi GRK Kota Magelang	V-2
Tabel 6. 1 Rencana Perbaikan Inventarisasi GRK Kota Magelang	VI-1
Tabel 7. 1 Rekomendasi Upaya Pengendalian per Kategori.....	VII-2

DAFTAR GAMBAR

Gambar. 1 Presentase Emisi Gas Rumah Kaca Kota Magelang	viii
Gambar 1. 1 Mekanisme Pelaporan Inventarisasi GRK.....	I-4
Gambar 2. 1 Struktur Generik Analisis <i>Uncertainty</i>	II-33
Gambar 2. 2 Pohon Pengambilan Keputusan dalam Penentuan Kategori Kunci	II-34
Gambar 3. 1 Tren Emisi Gas Rumah Kaca Kota Magelang Tahun 2012-2020	III-2
Gambar 3. 2 Grafik Emisi Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi	III-5
Gambar 3. 3 Presentase Emisi Sektor Energi Kota Magelang Tahun 2020	III-7
Gambar 3. 4 Tren Emisi GRK Sektor Energi Berdasarkan Jenis Gas.....	III-8
Gambar 3. 5 Grafik Emisi Sektor Proses Industri dan Penggunaan Produk	III-10
Gambar 3. 6 Grafik Emisi GRK Sektor Pertanian.....	III-13
Gambar 3. 7 Presentase Emisi GRK Sektor Pertanian berdasarkan Jenis Gas	III-14
Gambar 3. 8 Tren Emisi GRK Sektor Pertanian Berdasarkan Jenis Gas	III-15
Gambar 3. 9 Grafik Emisi GRK Sektor Kehutanan dan Penggunaan lahan Lainnya ...	III-23
Gambar 3. 10 Tren Emisi GRK Sektor Kehutanan.....	III-23
Gambar 3. 11 Grafik Emisi GRK Sektor Pengelolaan Limbah.....	III-26
Gambar 3. 12 Presentase Emisi GRK Sektor Limbah Berdasarkan Jenis Gas	III-27
Gambar 3. 13 Tren Emisi GRK Sektor Limbah Berdasarkan Jenis Gas	III-28

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Tabel Laporan Ringkasan Emisi dan Serapan Gas Rumah Kaca
- Lampiran 2. Tabel Basis Data Kegiatan Pengadaan dan Penggunaan Energi
- Lampiran 3. Tabel Basis Data Kegiatan Pertanian, Kehutanan, dan Penggunaan Lahan Lainnya (AFOLU)
- Lampiran 4. Tabel Basis Data Kegiatan Pengelolaan Limbah

RINGKASAN EKSEKUTIF

Peningkatan penggunaan energi dari bahan bakar fosil untuk berbagai kegiatan manusia terutama dalam transportasi dan proses-proses industri serta rumah tangga, timbunan limbah padat dan cair, kegiatan pembukaan hutan untuk keperluan pembangunan, dan intensifikasi budi daya tanaman serta berbagai proses yang terkait dengan aktivitas peternakan, telah menyebabkan emisi gas rumah kaca (GRK) mengalami peningkatan. Emisi yang dilepaskan sebagian diserap kembali oleh lautan dan daratan. Namun demikian kemampuan lautan dan daratan dalam menyerap kembali CO₂ tidak banyak mengalami perubahan. Dengan demikian, terjadinya peningkatan laju emisi menyebabkan konsentrasi CO₂ di atmosfer meningkat.

Perubahan iklim global telah mendorong Pemerintah Republik Indonesia berkomitmen untuk berperan aktif dalam upaya mengurangi emisi Gas Rumah Kaca melalui program aksi secara nasional. Berdasarkan Peraturan Presiden No. 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca dan Peraturan Presiden No. 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional, pemerintah provinsi dan kabupaten/kota memiliki kewajiban untuk menyusun inventarisasi GRK, termasuk Kota Magelang. Sehingga dilakukan penyusunan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Magelang 2020.

Inventarisasi GRK yang mencakup status dan kecenderungan GRK di Kota Magelang ini akan dipantau secara berkala untuk mengetahui efektivitas upaya mitigasi yang dilakukan. Berdasarkan perhitungan emisi GRK (CO₂e) maka dapat diketahui emisi GRK Kota Magelang Tahun 2020 adalah sebagai berikut:

Tabel 1

Hasil Inventarisasi GRK Kota Magelang Tahun 2016-2020

No	Sumber Emisi	Emisi CO ₂ e (Gg)				
		2016	2017	2018	2019	2020
1	Pengadaan dan Penggunaan Energi	7.131,24	6.796,57	7.348,37	16.305,88	22.252,36
2	Proses Industri dan Penggunaan Produk	0	0	0	0	0
3	Pertanian	3,66	3,68	3,46	2,60	2,94
4	Kehutanan	-2,57	1,50	-2,31	-1,86	-1,84
5	Pengelolaan Limbah	0,55	11,13	11,16	11,27	11,09
Total		7.132,88	6.812,88	7.360,69	16.317,90	22.264,54

Sumber: Hasil kalkulasi aplikasi SIGN-SMART, 2021

Hasil perhitungan inventarisasi GRK Kota Magelang berdasarkan kalkulasi dengan aplikasi SIGN-SMART menunjukkan tingkat emisi GRK di tahun 2020 menjadi sebesar **22.264,54 Gg CO₂e**.



Gambar. 1 Presentase Emisi Gas Rumah Kaca Kota Magelang

Sumber: Hasil kalkulasi aplikasi SIGN-SMART, 2021

Sektor pengadaan dan penggunaan energi berkontribusi terbesar terhadap emisi GRK pada tahun 2020 yaitu sebesar 22.264,54 Gg CO₂e. Kemudian kontribusi terbesar kedua setelah sektor pengadaan dan penggunaan energi adalah sektor pengelolaan limbah yaitu sebesar 11,09 Gg CO₂e. Emisi GRK dari sektor pengelolaan limbah menunjukkan tren yang meningkat dari tahun 2016 hingga 2019, namun mengalami penurunan pada tahun 2020. Berbeda dengan sektor pengelolaan limbah, emisi GRK dari sektor pertanian mengalami fluktuasi dari tahun 2016, namun data emisi menunjukkan kecenderungan menurun dari tahun 2018 dan 2019, serta mengalami peningkatan pada tahun 2020. Kemudian untuk sektor kehutanan, pada tahun 2020 mampu menyerap emisi GRK sebesar -1,84 Gg CO₂e.

BAB I

PENDAHULUAN

1. 1. Latar Belakang Informasi Inventarisasi GRK

Peningkatan penggunaan energi dari bahan bakar fosil untuk berbagai kegiatan manusia terutama dalam transportasi dan proses-proses industri serta rumah tangga, timbulan limbah padat dan cair, kegiatan pembukaan hutan untuk keperluan pembangunan, dan intensifikasi budi daya tanaman serta berbagai proses yang terkait dengan aktivitas peternakan, telah menyebabkan emisi gas rumah kaca (GRK) mengalami peningkatan. Emisi yang dilepaskan ini sebagian diserap kembali oleh lautan dan daratan. Namun demikian kemampuan lautan dan daratan dalam menyerap kembali CO₂ tidak banyak mengalami perubahan. Dengan demikian, terjadinya peningkatan laju emisi menyebabkan konsentrasi CO₂ di atmosfer menjadi meningkat dari waktu ke waktu.

Pemanasan global dan perubahan iklim adalah sebuah fenomena meningkatnya konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK) di atmosfer. Fenomena tersebut disebabkan oleh aktifitas manusia, seperti penggunaan bahan bakar fosil, perubahan tata guna lahan dan hutan, serta kegiatan pertanian dan peternakan. Salah satu gas rumah kaca yang mempunyai kontribusi terbesar terhadap pemanasan global dan perubahan iklim adalah CO₂. Beberapa faktor yang dapat memicu peningkatan GRK antara lain: meningkatnya jumlah penduduk dan kerusakan lingkungan.

Hal tersebut diatas telah mendorong Pemerintah Republik Indonesia berkomitmen untuk berperan aktif dalam upaya mengurangi emisi Gas Rumah Kaca melalui program aksi secara nasional dalam penanggulangan permasalahan perubahan iklim global dengan mengupayakan penurunan

emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sebesar 26% (dengan upaya sendiri) dan 41% (dengan bantuan internasional), sedang periode pasca 2020, telah meningkat menjadi 29%. Ratifikasi *Paris Agreement* melalui UU No.16/2016 merupakan ajang penekanan kembali komitmen nasional terhadap pembangunan berkelanjutan berketahanan iklim dan rendah karbon, serta mengatasi dan mengendalikan suhu bumi. Hal ini menjadi bagian penting dalam perjalanan membatasi kenaikan suhu global “di bawah 2°C”

Menindaklanjuti komitmen tersebut, disusunlah Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi GRK yang tertuang dalam Peraturan Presiden (Perpres) No 61 tahun 2011 yang berisi tentang Dokumen Rencana Kerja untuk pelaksanaan berbagai kegiatan yang secara langsung dan tidak langsung menurunkan emisi GRK nasional sesuai dengan target pembangunan nasional. Dalam pasal 6 Perpres 61/2011, disebutkan bahwa untuk menurunkan emisi GRK di masing-masing wilayah provinsi, gubernur harus menyusun Rencana Aksi Daerah (RAD) GRK. Sebelum menyusun rencana aksi, maka penting untuk mengetahui status emisi maupun serapan GRK dari sumber-sumber potensial yang ada di daerah. Hal ini kemudian dituangkan dalam Perpres No 71 tahun 2011 mengenai Penyelenggaraan Inventarisasi GRK Nasional.

Pemerintah Provinsi Jawa Tengah menindaklanjuti Peraturan Presiden Nomor 71 Tahun 2011, juga mempunyai komitmen yang sama dalam upaya menurunkan emisi GRK dengan menerbitkan Keputusan Gubernur Jawa Tengah Nomor 050/17 Tahun 2012 tanggal 8 Maret 2012 tentang Pembentukan Tim Koordinasi Penyusunan Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca Provinsi Jawa Tengah Tahun 2010-2020 dan Keputusan Sekretaris Daerah Provinsi Jawa Tengah selaku Ketua Tim Koordinasi Penyusunan Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca Nomor 050/011601 tanggal 20 Maret 2012 tentang Pembentukan Kelompok Kerja Penyusunan Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca, serta telah menyusun Rencana Aksi

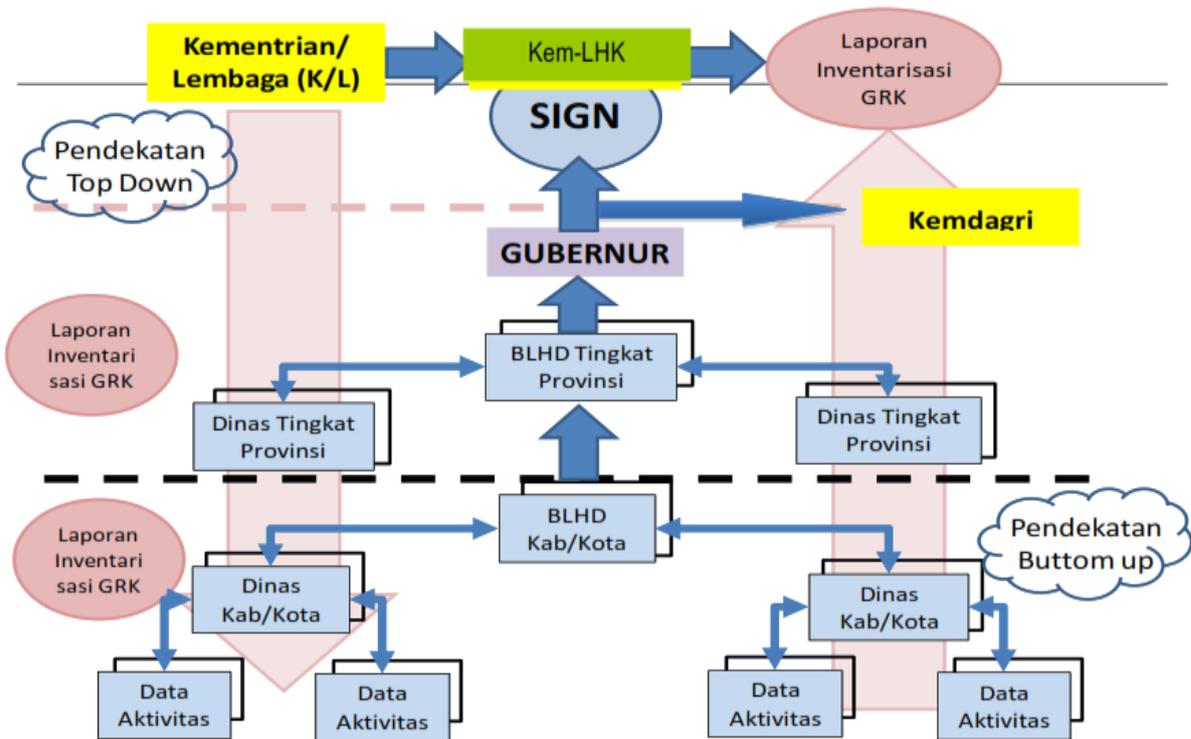
Daerah (RAD) penurunan emisi gas rumah kaca Provinsi Jawa Tengah tahun 2010-2020 melalui Peraturan Gubernur Jawa Tengah Nomor 43 tahun 2012.

Kota Magelang berkontribusi dalam menghasilkan emisi gas rumah kaca dari berbagai aktivitas yang ada di dalamnya seperti kegiatan penggunaan energi, industri, pertanian, peternakan, kehutanan dan pengelolaan limbah. Oleh karena itu, dilakukan penyusunan inventarisasi GRK Kota Magelang untuk mengetahui tingkat, status, kecenderungan emisi GRK, sehingga dapat menyusun upaya mitigasi penurunan GRK sebagai salah satu bentuk upaya tindak lanjut dari laporan inventarisasi GRK tersebut.

1. 2. Pengaturan Kelembagaan dalam Penyelenggaraan Inventarisasi GRK

Sesuai dengan Perpres No. 71 Tahun 2011, lembaga teknis yang membidangi lingkungan hidup menjadi lembaga yang bertanggungjawab untuk mengkoordinasikan penyelenggaraan inventarisasi GRK. Dinas Lingkungan Hidup Kota Magelang menjadi koordinator dalam penyusunan inventarisasi GRK sebagai bagian tugas pokok dan fungsinya. Sebagai koordinator, DLH Kota Magelang mendefinisikan peran penting dalam inventarisasi GRK melalui dua pendekatan. Secara horisontal, DLH Kota Magelang mengkoordinasikan, menyampaikan dan menerima data serta informasi tentang sumber-sumber emisi dari OPD lainnya. Upaya ini melibatkan OPD yang terkait emisi GRK. Secara vertikal, DLH mengkoordinasikan dan menyampaikan, hasil inventarisasi emisi GRK ke Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Provinsi Jawa Tengah.

Sistem kelembagaan inventarisasi GRK ini akan terhubung dengan sistem inventarisasi GRK Nasional (SIGN-SMART). SIGN-SMART bertujuan untuk memperkuat kapasitas sektor-sektor dan daerah dalam rangka meningkatkan kualitas inventarisasi GRK pengembangan sistem manajemen inventarisasi yang berkelanjutan.



Gambar 1. 1 Mekanisme Pelaporan Inventarisasi GRK

Sumber: Pedoman Inventarisasi GRK Nasional Buku I, 2012

1. 3. Deskripsi Ringkasan Proses Persiapan Inventarisasi GRK

Penyelenggaraan inventarisasi GRK merupakan suatu proses yang berkesinambungan untuk memperoleh data dan informasi mengenai tingkat, status, dan kecenderungan perubahan emisi GRK secara berkala dari berbagai sumber emisi, penyerapnya serta simpanan karbon.

Kegiatan inventarisasi emisi pada dasarnya merupakan kegiatan identifikasi emisi suatu wilayah yang meliputi pada sumber dan asumsi nilainya. Dasar penentuan beban emisi adalah data aktivitas sumber-sumber emisi. Data aktivitas berasal dari pengumpulan secara langsung atau data primer baik berupa wawancara, kuisisioner, dan pendataan, ataupun pengumpulan data sekunder yaitu melalui dokumen data aktivitas yang disediakan pemerintah dan swasta.

Terdapat 4 komponen utama dalam inventarisasi emisi yaitu: sumber emisi, data aktivitas emisi, faktor emisi (emission factor) dan parameter/variabel emisi diinventarisasi. Sumber emisi adalah kegiatan atau aktivitas utama masyarakat yang potensial berkontribusi emisi, terutama dalam jumlah yang besar dan menjadi aktivitas khas dalam suatu wilayah.

Penyelenggaraan Inventarisasi emisi GRK merujuk Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) Nasional sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.73/MENLHK/SETJEN/KUM.1/12/2017 tentang Pedoman Penyelenggaraan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional yang telah mengadopsi "*GHG Inventory IPCC 2006 Guidelines*".

Kegiatan inventarisasi GRK pada dasarnya akan mempersiapkan dan menentukan hal-hal sebagai berikut:

- a. Area dan waktu penelitian, *base line year* data apabila menggunakan pendekatan *top down*;
- b. Penentuan sumber emisi yang akan diinventarisasi, berdasarkan pertimbangan karakteristik wilayah, ketersediaan sumber daya dan waktu pelaksanaan;
- c. Penyusunan daftar kebutuhan data aktivitas yang akan diinventarisasi dari masing masing sumber emisi;
- d. Penginputan data ke dalam aplikasi SIGN-SMART, dilanjutkan dengan penghitungan/kalkulasi emisi serta pembuatan grafik emisi tiap sektor oleh aplikasi tersebut;
- e. Penyusunan Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca berdasarkan hasil perhitungan emisi GRK dari aplikasi SIGN-SMART.

BAB II

METODOLOGI DAN SUMBER DATA YANG DIGUNAKAN

2.1 Pengumpulan Data

Data yang diperlukan untuk Inventarisasi Gas Rumah Kaca merupakan data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait di Kota Magelang. Adapun data yang di butuhkan sebagai berikut:

Tabel 2. 1
Kebutuhan dan Sumber Data

No	Jenis Data	Sumber Data
1	Data bahan bakar untuk transportasi, industri, dan rumah tangga	Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kota Magelang, Bagian Perekonomian Setda Kota Magelang, PLN Kota Magelang
2	Data Pertanian	Dinas Pertanian dan Pangan Kota Magelang
3	Data Kehutanan	BPKH Wilayah XI, Yogyakarta
4	Kependudukan	Data GO Kota Magelang
5	Data Sampah	Dinas Lingkungan Hidup Kota Magelang
6	Sarana Pembuangan Air Limbah Domestik	Dinas Perumahan dan Kawasan Permukiman Kota Magelang

Sumber: Dinas Lingkungan Hidup, 2021

2.2 Pengolahan Data

Pada tahap ini data yang terkumpul akan disesuaikan terlebih dahulu dengan format data dan satuan yang dibutuhkan karena tidak semua data yang didapat sesuai dengan format yang dibutuhkan dalam aplikasi SIGN-SMART. Langkah selanjutnya adalah data yang sudah disesuaikan tersebut diinput kedalam aplikasi SIGN-SMART kemudian dilakukan kalkulasi emisi dan pembuatan grafik emisi oleh aplikasi

tersebut. Pada tahap selanjutnya adalah tahap analisis emisi GRK yang telah dikalkulasi.

2.3 Metodologi Perhitungan Inventarisasi GRK

2.3.1 Metodologi Umum

Secara umum, metodologi yang digunakan pada perhitungan emisi GRK mengacu pada metode yang ditetapkan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines* dalam *IPCC Guidelines* 2006. Penerapan metode ini telah ditetapkan dalam Peraturan Menteri LHK Nomor P.73/MenLHK/Setjen/Kum.1/12/2017 tanggal 29 Desember 2017 tentang Pedoman Penyelenggaraan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca.

Perhitungan emisi/serapan GRK diperoleh melalui perkalian data aktifitas dengan faktor emisi, atau dengan persamaan sederhana berikut;

$$\text{Emisi/Penyerapan GRK} = \text{AD} \times \text{FE}$$

Keterangan :

AD = Data Aktifitas

FE = Faktor Emisi

1. Data Aktivitas (AD)

Data aktivitas adalah segala tipe data yang berasal dari informasi detail kegiatan dengan potensi emisi GRK. Kegiatan inventarisasi GRK Kota Magelang menggunakan pendekatan koleksi data top down. Dimana keseluruhan atau setidaknya mayoritas data aktivitas yang digunakan adalah data sekunder. Hal ini membatasi pengumpulan (koleksi) data primer, menyesuaikan dengan ketersediaan sumber daya dan waktu kegiatan. Data sekunder yang dimaksud adalah data-data yang bersumber dari lembaga resmi pemerintah atau badan nasional dan lainnya.

2. Faktor Emisi (FE)

Faktor emisi (FE) merupakan koefisiensi atau rasio polutan yang dihasilkan atau diemisikan dari sumber emisi tertentu yang

nilainya ditentukan oleh beragam variabel khusus seperti berat bahan bakar, berat biomassa, proses, dll. Faktor emisi biasanya telah memiliki nilai atau ketentuan tertentu.

Pemilihan metodologi Inventarisasi GRK dilakukan menurut tingkat ketelitian (*Tier*), semakin tinggi kedalaman metode yang dipergunakan maka hasil perhitungan emisi/serapan GRK yang dihasilkan semakin rinci dan akurat. Meskipun demikian, fakta bahwa data aktivitas kerap kali terbatas dan tidak terakses, khususnya pada metode koleksi top down menyebabkan pilihan Tier menjadi terbatas pada level-level awal. Berdasarkan IPCC 2006 GL, ketelitian perhitungan emisi GRK dikelompokkan dalam 3 tingkat ketelitian. Dalam kegiatan inventarisasi GRK, tingkat ketelitian perhitungan dikenal dengan istilah "Tier". Tingkat ketelitian perhitungan terkait dengan data dan metoda perhitungan yang digunakan sebagaimana dijelaskan berikut ini :

a. Tier 1

Metode perhitungan emisi dan serapan menggunakan persamaan dasar (*basic equation*), data aktivitas yang digunakan sebagian bersumber dari sumber data global, dan menggunakan faktor emisi *default* (nilai faktor emisi yang disediakan dalam IPCC Guideline).

b. Tier 2

Metode perhitungan emisi dan serapan menggunakan persamaan yang lebih rinci, data aktivitas berasal dari sumber data nasional dan/atau daerah, dan menggunakan faktor emisi lokal yang diperoleh dari hasil pengukuran langsung.

c. Tier 3

Metode perhitungan emisi dan serapan menggunakan persamaan paling rinci (dengan pendekatan modeling dan sampling). Melalui pendekatan modeling, faktor emisi lokal dapat divariasikan sesuai

dengan keberagaman kondisi yang ada sehingga emisi dan serapan akan memiliki tingkat kesalahan lebih rendah.

2.3.2 Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi

Energi merupakan salah satu sektor penting dalam inventarisasi emisi gas rumah kaca (GRK). Cakupan inventarisasi meliputi kegiatan penyediaan dan penggunaan energi. Penyediaan energi meliputi kegiatan-kegiatan: (I) eksplorasi dan eksploitasi sumber-sumber energi primer (misal minyak mentah, batubara), (II) konversi energi primer menjadi energi sekunder yaitu energi yang siap pakai (konversi minyak mentah menjadi BBM di kilang minyak, konversi batubara menjadi tenaga listrik di pembangkit tenaga listrik), dan (III) kegiatan penyaluran dan distribusi energi. Kegiatan penggunaan energi meliputi : (I) penggunaan bahan bakar di peralatan-peralatan stasioner (di industri, komersial, dan rumah tangga), dan (II) peralatan-peralatan yang bergerak (transportasi).

Berdasarkan IPCC Guideline 2006, sumber emisi GRK dari kegiatan energi diklasifikasikan ke dalam tiga kategori utama, yaitu : (I) Fuel Combustion (Pembakaran bahan bakar); (II) Fugitive Emission from Fuels (Emisi fugitive dari kegiatan produksi dan penyaluran bahan bakar, dan (III) CO₂ Transport dan Storage (Penyimpanan CO₂). Berikut Cakupan sumber-sumber emisi untuk ketiga kategori sumber utama emisi GRK dari kegiatan energi :

Tabel 2. 2

Kategori Sumber Emisi dari Kegiatan Energi

Kode	Kategori	Cakupan Kategori
1	Energi	
1A	Kegiatan Pembakaran Bahan Bakar (Fuel Combustion Activities)	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 sector

Kode	Kategori	Cakupan Kategori
		<p>kegiatan, diantaranya industry, transportasi, komersial, dan rumah tangga.</p> <p>Penggunaan bahan bakar di Industri yang bukan untuk keperluan energi namun sebagai bahan baku proses (misal menggunakan gas bumi pada proses produksi pupuk atau pada proses prouksi besi baja) atau sebagai produk (misal penggunaan hidrokarbon sebagai pelarut) tidak termasuk dalam kategori aktivitas energi.</p>
IB	Emisi Fugitive (Fugitive Emissions from Fuels)	<p>Emisi GRK yang secara tidak sengaja terlepas pada kegiatan produksi dan penyediaan energi. Emisi fugitive terjadi di kegiatan produksi dan penyaluran migas dan batubara diantaranya di lapangan migas, kilang minyak, tambang batubara, dan lain-lain.</p> <p>Pada sistem migas emisi fugitive terjadi pada operasi flaring dan venting, serta kebocoran-kebocoran pada pipa-pipa dan peralatan-peralatan pengolahan dan penggunaan migas. Di sistem batubara emisi fugitive terjadi dari lepasnya seam gas (gas yang semula terperangkap dalam lapisan batubara) pada saat penambangan dan pengangkutan.</p>
IC	CO2 Transport & Storage	Emisi GRK dari kegiatan pengangkutan dan injeksi CO2 pada kegiatan penyimpanan CO2 di formasi geologi.

Sumber : Permen LHK No. 73 Tahun 2017

Sumber emisi GRK hasil pembakaran bahan bakar dikelompokkan ke dalam 2 (dua) kategori utama, yaitu sumber tidak bergerak (stationer) dan sumber bergerak. Sumber emisi yang stationer dibedakan dari sumber emisi bergerak karena faktor emisi GRK, khususnya GRK yang non-CO₂, bergantung kepada jenis bahan bakar dan teknologi penggunaan bahan bakar tersebut.

1. Perhitungan Emisi GRK dari Pembakaran Bahan Bakar pada Sumber Stasioner

Gas Rumah Kaca yang diemisikan oleh pembakaran bahan bakar pada sumber stasioner adalah CO₂, CH₄, dan N₂O. Besarnya emisi GRK hasil pembakaran bahan bakar fosil bergantung pada banyak dan jenis bahan bakar yang dibakar. Banyaknya bahan bakar direpresentasikan sebagai data aktivitas sedangkan jenis bahan bakar direpresentasikan oleh faktor emisi.

Persamaan umum yang digunakan untuk estimasi emisi GRK dari pembakaran bahan bakar adalah sebagai berikut :

Emisi Hasil Pembakaran Bahan Bakar
$\text{Emisi GRK } \left(\frac{kg}{thn}\right) = \text{Konsumsi energi } \left(\frac{TJ}{thn}\right) \times \text{Faktor Emisi } \left(\frac{kg}{TJ}\right)$

Sumber : Permen LHK No. 73 Tahun 2017

Faktor emisi menurut default IPCC dinyatakan dalam satuan emisi per unit energi yang dikonsumsi (kg GRK/TJ). Di sisi lain data konsumsi energi yang tersedia umumnya dalam satuan fisik (ton batubara, kilo liter minyak diesel dll). Oleh karena itu, sebelum digunakan, data konsumsi energi harus dikonversi terlebih dahulu ke dalam satuan energi TJ (Terra Joule), seperti pada contoh berikut :

Konversi dari satuan fisik ke Terra Joule
$\text{Konsumsi Energi (TJ)} = \text{Konsumsi energi (Sat. Fisik)} \times \text{Nilai Kalor } \left\{ \frac{TJ}{\text{Sat. Fisik}} \right\}$

Sumber : Permen LHK No. 73 Tahun 2017

2. Perhitungan Emisi GRK dari Pembakaran Bahan Bakar pada Sumber Bergerak

Emisi GRK dari pembakaran bahan bakar pada sumber bergerak adalah emisi GRK dari kegiatan transportasi, meliputi transportasi darat (jalan raya, off road, kereta api), transportasi melalui air (sungai atau laut) dan transportasi melalui udara (pesawat terbang). Gas Rumah Kaca

yang diemisikan oleh pembakaran bahan bakar di sektor transportasi adalah CO₂, CH₄, N₂O.

Dalam hal ini, Kota Magelang hanya berfokus pada perhitungan emisi GRK dari kegiatan transportasi darat karena Kota Magelang tidak memiliki fasilitas transportasi melalui air dan udara.

a. Transportasi Jalan Raya

Sumber emisi dari transportasi jalan raya meliputi mobil pribadi, kendaraan niaga dan sepeda motor.

➤ Estimasi Emisi CO₂

Estimasi emisi CO₂ dari transportasi jalan raya dapat dilakukan dengan Tier-1 atau Tier-2

TIER	Data Aktivitas	Faktor Emisi
TIER 1	Konsumsi bahan bakar berdasarkan jenis bahan bakar	Kandungan karbon berdasarkan jenis bahan bakar
TIER 2	Konsumsi bahan bakar berdasarkan jenis bahan bakar	Kandungan karbon berdasarkan jenis bahan bakar yang digunakan di Indonesia.

Sumber : Permen LHK No. 73 Tahun 2017

1. Metode Tier-1

Berdasarkan Tier-1 emisi CO₂ dihitung dengan persamaan :

Emisi CO ₂ dari Transportasi Jalan Raya
$\text{Emisi} = \sum \text{Konsumsi } BB_a \times \text{Faktor Emisi}_a$

Sumber : Permen LHK No. 73 Tahun 2017

Keterangan :

- | | |
|---------------------------|---|
| Emisi | : Emisi CO ₂ |
| Konsumsi BB _a | : Bahan bakar dikonsumsi = dijual |
| Faktor Emisi _a | : Faktor emisi CO ₂ menurut jenis bahan bakar (kg gas/TJ), default IPCC 2006 |
| a | : Jenis bahan bakar (premium, solar) |

2. Metode Tier-2

Estimasi emisi CO₂ dengan Tier-2 pada dasarnya sama dengan Tier-1 namun dengan faktor emisi masing-masing jenis bahan bakar yang spesifik bagi Indonesia

➤ Emisi CH₄ dan N₂O

Emisi CH₄ dan N₂O pada pembakaran bahan bakar dipengaruhi oleh teknologi dan sistem pengendalian emisi pada kendaraan. Estimasi emisi CH₄ dan N₂O dapat dilakukan berdasarkan Tier-1, Tier-2 atau Tier-3.

TIER	Data Aktivitas	Faktor Emisi
TIER 1	Konsumsi bahan bakar berdasarkan jenis bahan bakar	Faktor emisi berdasarkan jenis bahan bakar
TIER 2	Konsumsi bahan bakar berdasarkan jenis bahan bakar	Faktor emisi berdasarkan jenis bahan bakar, sub kategori kendaraan
TIER 3	Jarak yang ditempuh	Faktor emisi berdasarkan sub-kategori kendaraan

Sumber : Permen LHK No. 73 Tahun 2017

1. Metode Tier-1

Berdasarkan Tier-1 emisi CO₂ dihitung dengan persamaan :

Emisi CH ₄ dan N ₂ O dari Transportasi Jalan Raya
$\text{Emisi} = \sum_a \text{Konsumsi } BB_a \times \text{Faktor Emisi}_a$

Sumber : Permen LHK No. 73 Tahun 2017

Keterangan :

- Emisi : Emisi CH₄ atau N₂O
- Konsumsi BB_a : Bahan bakar dikonsumsi = dijual
- Faktor Emisi_a : Faktor emisi CH₄ atau N₂O menurut jenis bahan bakar (kg gas/TJ), default IPCC 2006
- a : Jenis bahan bakar (premium, solar)

2. Metode Tier-2

Estimasi emisi CH₄ dan N₂O suatu kendaraan bergantung pada jenis bahan bakar dan jenis teknologi pengendalian pembakaran. Oleh karena itu pada Tier-2, estimasi CH₄ dan N₂O memperhitungkan jenis kendaraan dan teknologi pengendalian.

Persamaan yang digunakan untuk estimasi CH₄ dan N₂O menurut Tier-2 adalah sebagai berikut :

Emisi CH ₄ dan N ₂ O dari Transportasi Jalan Raya
$\text{Emisi} = \sum \text{Konsumsi BB}_{a,b,c} \times \text{Faktor Emisi}_{a,b,c}$

Sumber : Permen LHK No. 73 Tahun 2017

Keterangan :

- Emisi : Emisi CH₄ atau N₂O
- Konsumsi BB_{a,b,c} : Bahan bakar dikonsumsi = dijual
- Faktor Emisi_{a,b,c} : Faktor emisi CH₄ atau N₂O menurut jenis bahan bakar (kg gas/TJ)
- a : Jenis bahan bakar (premium, solar)
- b : Tipe kendaraan
- c : Peralatan pengendalian emisi

3. Metode Tier-3

Pada Tier-3 selain faktor-faktor yang telah disampaikan pada Tier-1 dan 2, faktor jarak tempuh kendaraan dan emisi pada saat start-up juga diperhitungkan.

Persamaan Tier-3 estimasi emisi CH₄ dan CO₂ adalah sebagai berikut:

Emisi CH ₄ dan N ₂ O dari Transportasi Jalan Raya
$\text{Emisi} = \sum_{a,b,c,d} (\text{Jarak Tempuh}_{a,b,c} \times \text{Faktor Emisi}_{a,b,c,d}) + \sum C_{a,b,c,d}$

Sumber : Permen LHK No. 73 Tahun 2017

Keterangan :

- Emisi : Emisi CH₄ atau N₂O, kg

- Jarak Tempuh_{a,b,c,d} : Jarak tempuh kendaraan, km
- Faktor Emisi_{a,b,c,d} : Faktor emisi CH₄ atau N₂O (kg gas/km)
- C : Emisi pada saat pemanasaan kendaraan, kg
- a : Jenis bahan bakar (premium, solar)
- b : Tipe kendaraan
- c : Teknologi pengendalian pencemaran
- d : Kondisi operasi (kualitas jalan kota, desa dll)

2.3.3 Sektor Proses Industri dan Penggunaan Produk

Pada bagian ini disampaikan sumber-sumber utama emisi GRK yang tercakup di dalam inventarisasi emisi GRK kegiatan terkait proses industri dan penggunaan pupuk (Industri processes and production use, IPPU). Emisi GRK dari kegiatan IPPU mencakup (I) emisi GRK yang terjadi selama proses/reaksi kimia di Industri, (II) penggunaan gas-gas kategori GRK di dalam prosuk, dan (III) penggunaan karbon bahan bakar fosil untuk kegiatan (non-energi), yaitu bukan untuk penyediaan energi namun untuk kegiatan produksi. Kategori sumber emisi GRK dari proses Industri dan Penggunaan Produk (IPPU), sebagaimana disajikan pada table berikut ini :

Tabel 2. 3
Kategori Sumber Emisi GRK dari Proses Industri dan Penggunaan Produk

Kode		Cakupan Kategori
2A	Industri Mineral	Produksi Semen, Kapur, Kaca, Proses lain yang menggunakan karbonat, Keramik, Penggunaan lain Soda Abu, Produksi Non Metalurgical Mg, dan lainnya
2B	Industri Kimia	Produksi Ammonia, Asam Nitrat, Asam Adipat, Caprolactam, Glyoxal & Glyoxylic Acid, Produksi Karbida, Titaniu Dioksida, Soda Abu, Petrokimia/arbon Black, Fluorochemical, dan lainnya
2C	Industri Logam	Produksi Besi dan Baja, Ferroalloys, Aluminium, Magnesium, Timbal, Produksi Seng, dan lainnya.

Kode		Cakupan Kategori
2D	Non-Energy Produk dari Bahan Bakar dan Penggunaan Solvent	Penggunaan Pelumas, Lilin Paraffin, Penggunaan Pelarut, dan Lainnya
2E	Industri Elektronik	Integrated Circuit/Semiconductor, TFT Flat Panel Display, Fotovoltaik, Heat Transfer Fluid, dan lainnya.
2F	Penggunaan Produk sebagai Bahan Peluruhan Lapisan Ozon	Refrigeran dan AC, Foam Blowing Agent, Alat Pemadam Kebakaran, Aerosols, Pelarut, dan Aplikasi lainnya
2G	Pembuatan Produk-produk lainnya dan penggunaannya	Peralatan Listrik, SF6/PFCs Penggunaan produk lain, N2O dari Penggunaan Produk, dan lainnya.
2H	Lainnya	Industri Pulp dan Kertas, Industri Makanan dan Minuman, dan lainnya

Sumber : Permen LHK No. 73 Tahun 2017

1. Perhitungan Kegiatan Proses Industri dan Penggunaan Produk

a. Pendekatan Umum Perhitungan Tingkat Emisi GRK

Penghitungan tingkat emisi GRK untuk kebutuhan inventarisasi emisi GRK pada dasarnya berbasir pada pendekatan umum sebagai persamaan berikut ini :

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

Data aktivitas (AD) adalah besaran kuantitatif / kegiatan manusia (*anthropogenic*) yang melepaskan emisi GRK. Pada kegiatan IPPU, besaran kuantitatif adalah besaran terkait jumlah bahan yang diproduksi atau yang dikonsumsi (misal penggunaan carbonate). Faktor emisi (EF) adalah faktor yang menunjukkan intensitas emisi per unit aktivitas yang bergantung kepada berbagai

parameter terkait proses kimia yang terjadi di masing-masing industri.

2.3.4 Sektor Pertanian, Kehutanan dan Perubahan Penggunaan Lahan

Metode perhitungan GRK yang ada pada pedoman IPPC berbeda dalam kompleksitas mulai dari metode sederhana Tier 1 yang didasarkan pada default faktor emisi/serapan global atau regional, Tier 2 metode berdasarkan faktor emisi/serapan local; dan Tier 3 metode yang melibatkan permodelan lebih rinci atau pendekatan berbasis inventarisasi.

Metode perhitungan yang diikuti dalam pedoman IPPC untuk menghitung emisi/serapan GRK adalah melalui perkalian antara informasi aktivitas manusia dalam jangka waktu tertentu (data aktivitas, DA) dengan emisi/serapan per unit aktivitas (faktor emisi/serapan, FE).

$$\text{Emisi/Serapan GRK} = \text{Data Aktivitas (AD)} \times \text{Faktor Emisi (EF)}$$

Keterangan :

- DA : Data aktivitas, yaitu informasi terhadap pelaksanaan suatu kegiatan yang melepaskan atau menyerap gas rumah kaca yang dipengaruhi oleh kegiatan manusia, sedangkan
- FE : Faktor emisi, yaitu besaran yang menunjukkan jumlah emisi gas rumah kaca yang akan dilepaskan atau diserap dari suatu aktivitas tertentu.

Emisi dan serapan GRK dari sector Pertanian, Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya (*Agriculture, Forestry and Other Land Use, AFOLU*) pada suatu ekosistem lahan berasal dari perubahan stok karbon daripada pool karbon dan dari emisi non-CO₂ berbagai sumber termasuk pembakaran biomassa, tanah, fermentasi enteric ternak, dan pengelolaan kotoran ternak (manure). Oleh karena itu, persamaan dasar di atas bisa dimodifikasi dengan menyertakan parameter estimasi lain dari faktor emisi

seperti perubahan stok karbon pada tampungan karbon dari AFOLU atau emisi on-CO₂.

a. Peternakan

Emisi GRK dari sector peternakan dihitung dari emisi metana yang berasal dari fermentasi enteric ternak, dan emisi metana dan dinitro 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**

Metana dihasilkan oleh hewan memamah biak (herbivora) sebagai hasil samping dari fermentasi enteric, suatu proses dimana karbohidrat dipecah menjadi molekul sederhana oleh mikroorganisma untuk diserap ke dalam aliran darah. Selain itu, emisi metana juga dihasilkan dari sistem pengelolaan kotoran ternak disamping gas dinitro oksida (N₂O). Estimasi emisi metana dari peternakan dihitung dengan menggunakan IPCC 2006. Metode untuk memperkirakan emisi CH₄ dan N₂O dari peternakan memerlukan informasi sub kategori ternak, populasi tahunan, dan untuk Tier lebih tinggi, konsumsi pakan dan karakteristik ternak.

Data aktivitas yang diperlukan untuk Tier 1 adalah populasi ternak dan faktor emisi fermentasi enteric untuk berbagai jenis ternak. Di Indonesia, jenis ternak yang menghasilkan gas metana adalah sapi pedaging, sapi perah, kerbau, domba, kambing, babi, ayam negeri (ras) dan kampung (buras), ayam petelur dan bebek. Berdasarkan struktur populasi tersebut diperoleh nilai faktor koreksi (k(T)) untuk sapi pedaging, sapi perah dan kerbau masing-masing 0.72, 0.75, dan 0.72. sehingga jumlah populasi dari ketiga jenis ternak tersebut dapat diasumsikan sebagai Animal Unit (AU) dengan persamaan dibawah ini:

$$N_{(T)} \text{ in Animal Unit} = N_{(x)} \times k_{(T)}$$

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

Keterangan :

N (T) = Jumlah ternak dalam Animal Unit

N (X) = Jumlah ternak dala ekor

K (T) = Faktor koreksi (sapi pedaging = 0.72, sapi perah = 0.75 dan kerbau = 0.72)

T = Jenis/kategori ternak (sapi pedaging, sapi perah dan kerbau)

Emisi metana dari fermentasi enteric dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{Emissions} = ER_{(T)} \times N_{(T)} \times 10^6$$

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

Keterangan :

Emissions = Emisi metana dari fermentasi enterik, Gg CH₄ yr-1

EF (T) = Faktor emisi untuk populasi jenis ternak tertentu, kg CH₄ head-1 yr-1

N (T) = Jumlah Populasi jenis/kategori ternak tertentu, 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:

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

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

dimana:

- $CH_4 \text{ manure}$ = Emisi metana dari pengelolaan kotoran ternak, Gg CH_4 yr-1
 $EF(T)$ = Faktor emisi untuk populasi jenis ternak tertentu, kg CH_4 head-1yr-1
 $N(T)$ = Jumlah populasi jenis/kategori ternak tertentu, *Animal Unit*
 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 N_2O Langsung dari Pengelolaan Kotoran Ternak

Perhitungan emisi langsung N_2O dari pengelolaan kotoran ternak dilakukan dengan persamaan berikut:

$$N_2O_{D(mm)} = [\sum_s [\sum_T (N(T) * N_{ex}(T) * MST_{s*})] * EF_{3(s)}] * 44/28$$

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

dimana:

$N_2O_{D(mm)}$	= Emisi langsung N_2O dari pengelolaan kotoran ternak, kgN_2O yr-1
$N_{(T)}$	= Jumlah populasi jenis/kategori ternak tertentu, <i>jumlah ternak</i>
$N_{ex(T)}$	= Rata-rata tahunan ekskresi N per ekor jenis/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 pengelolaankotoran ternak
$EF_{3(S)}$	= Faktor emisi langsung N_2O dari sistem pengelolaan kotoran tertentu S, kg N_2O-N/kg N
S	= Sistem pengelolaan kotoran ternak
T	= Jenis/kategori ternak
44/28	= Konversi emisi $(N_2O)-N(mm)$ ke dalam bentuk $N_2O(mm)$

$$N_{ex(T)} = N_{rate(T)} * TAM / 1000 * 365$$

$N_{ex(T)}$	= Eksresi N tahunan untuk jenis ternak T, kg N/ekor/tahun
$N_{rate(T)}$	= nilai default laju ekskresi N, kg N/1000 kg berat ternak/ hari
TAM	= berat ternak untuk jenis ternak T, $kg/ekor$

b. Pertanian

Emisi GRK dari sektor pertanian diduga dari emisi : (1) metana (CH_4) dari budidaya padi sawah (2) karbon dioksida (CO_2) karena penambahan bahan kapur dan pupuk urea, (3) dinitrogen oksida (N_2O) dari tanah, termasuk emisi N_2O tidak langsung dari penambahan N ke tanah karena penguapan/pengendapan dan pencucian, dan (4) non- CO_2 dari biomas yang dibakar pada aktivitas pertanian.

Untuk menghitung emisi dari sektor pertanian perlu disiapkan data aktivitas seperti luas tanam, luas pane, jenis tanah, dan data hasil penelitian seperti dosis pupuk dan kapur pertanian. Data aktivitas

tersebut bias diakses dari yang tidak tersedia dapat menggunakan expert judgement seperti proporsi lahan yang dibakar atau dosis pupuk dan kapur.

1. Emisi Metan dari Pengelolaan Padi Sawah

Dekomposisi bahan organik secara anaerobik pada lahan sawah mengemisikan gas metan 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. Emisi CH₄ dihitung dengan mengalikan faktor emisi harian dengan lama budidaya padi sawah dan luas panen dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$CH_4 \text{ Rice} = \sum_{ijk} (EF_{i,j,k} \times t_{i,j,k} \times A_{i,j,k} \times 10^6)$$

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

Keterangan :

CH₄Rice = emisi metan dari budidaya padi sawah, Gg CH₄ per tahun

EF_{i,j,k} = faktor emisi untuk kondisi I, j, dan k; kg CH₄ per hari

t_{i,j,k} = lama budidaya padi sawah untuk kondisi I, j, dan k; hari

A_{i,j,k} = luas panen padi sawah untuk kondisi I, j, dan k; ha per tahun

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

Jenis sawah dapat dikelompokkan menjadi tiga rejim air yaitu sawah irigasi (teknis, setengah teknis dan sederhana), sawah tadah hujan, dan sawah dataran tinggi. Hal ini perlu dipertimbangkan karena kondisi (i, j, k, dst.) mempengaruhi emisi CH₄. Emisi untuk masing-masing sub-unit (ekosistem) disesuaikan dengan mengalikan faktor emisi

default (Tier 1) dengan berbagai faktor skala. Tier 1 berlaku untuk negara-negara di mana emisi CH₄ dari budidaya padi bukan kategori kunci atau faktor emisi lokal tidak tersedia.

Persamaan untuk mengoreksi faktor emisi baseline ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$EF_i = (EF_c \times SF_w \times SF_p \times SF_o \times SF_{s,r})$$

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

Keterangan :

- EF_i = faktor emisi harian yang terkoreksi untuk luas panen tertentu, kg CH₄ per hari
- EF_c = faktor emisi baseline untuk padi sawah dengan irigasi terus - menerus dan tanpa pengembalian bahan organik
- SF_w = Faktor skala yang menjelaskan perbedaan rejim air selama periode budidaya.
- SF_p = Faktor skala yang menjelaskan perbedaan rejim air sebelum periode budidaya
- SF_o = Faktor skala yang menjelaskan jenis dan jumlah pengembalian bahan organik yang diterapkan pada periode budidaya padi sawah
- SF_{s,r} = Faktor skala untuk jenis tanah, varietas padi sawah dan lain- lain, jika tersedia.

2. Emisi Karbon Dioksida (CO₂) dari Pengapuran Tanah Pertanian

Penambahan kapur pertanian (pengapuran) bertujuan untuk mengurangi kemasaman tanah dan meningkatkan pertumbuhan tanaman khususnya pada lahan pertanian. Penambahan karbonat ke tanah dalam bentuk kapur, misalnya batu kapur [CaCO₃] atau dolomit [CaMg (CO₃)₂], menyebabkan emisi CO₂ karena kapur karbonat larut dan melepaskan bikarbonat (2HCO₃⁻), yang selanjutnya menjadi CO₂

dan air (H₂O). Emisi CO₂ dari penambahan kapur karbonat kedalam tanah dapat diperkirakan dengan persamaan berikut:

$$\mathbf{CO_2\text{-Emission} = [(M_{Limestones} \times EF_{Limestones}) + (M_{Dolomites} \times EF_{Dolomites})]}$$

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

Keterangan:

- CO₂-Emission = C tahunan dari aplikasi pengapuran, ton C per tahun.
 M = jumlah atau berat dari kapur Limestones (CaCO₃) dan Dolomites (CaMg (CO₃)₂) yang diaplikasikan, ton per tahun
 EF = Faktor emisi, ton C per (limestones atau dolomites). Default IPCC (Tier 1) faktor emisi untuk limestone adalah 0.12 dan 0.13 untuk dolomite

3. Emisi Karbon Dioksida (CO₂) dari Penggunaan Pupuk Urea

Penggunaan pupuk urea pada budidaya pertanian menyebabkan lepasnya CO₂ yang diikat selama proses pembuatan pupuk. Urea (CO(NH₂)₂) diubah menjadi amonium (NH₄⁺), ion hidroksil (OH⁻), dan bikarbonat (HCO₃⁻) dengan adanya air dan enzim urease. Mirip dengan reaksi tanah pada penambahan kapur, bikarbonat yang terbentuk selanjutnya berkembang menjadi CO₂ dan air. Kategori sumber ini perlu dimasukkan karena pengambilan (fiksasi) CO₂ dari atmosfer selama pembuatan urea diperhitungkan dalam sektor industri.

Emisi CO₂ dari penggunaan pupuk Urea dihitung dengan persamaan berikut.

$$\mathbf{CO_2\text{-Emission} = (M_{Urea} \times EF_{Urea})}$$

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

Keterangan:

CO₂-Emission = Emisi C tahunan dari aplikasi Urea, ton CO₂ per tahun.

Murea = jumlah pupuk Urea yang diaplikasikan, ton per tahun.

EFUrea = faktor emisi, ton C per (Urea). Default IPCC (Tier 1) untuk faktor emisi urea adalah 0.20 atau setara dengan kandungan karbon pada pupuk urea berdasarkan berat atom (20% dari CO(NH₂)₂).

4. Emisi Dinitrogen Oksida (N₂O) dari 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 pengendali utama dalam reaksi ini adalah ketersediaan N anorganik dalam tanah.

Perkiraan emisi N₂O menggunakan penambahan N kedalam tanah (misalnya, pupuk sintetis atau organik, deposit kotoran ternak, sisa tanaman, limbah lumpur), atau mineralisasi N dalam bahan organik tanah melalui drainase/pengelolaan tanah organik, atau budidaya/perubahan penggunaan lahan pada tanah mineral (misalnya, Forest Land/Grass Land/Settlement dikonversi menjadi lahan pertanian).

Emisi dari N₂O yang dihasilkan dari penambahan N antropogenik atau mineralisasi N dapat terjadi secara langsung (yaitu, langsung dari tanah dimana N ditambahkan/dilepaskan), dan tidak langsung melalui: (i) volatilisasi NH₃ dan NO_x dari tanah yang dikelola dan dari pembakaran bahan bakar fosil serta biomassa, yang kemudian gas-gas

ini berserta produknya NH_4^+ dan NO_3^- diendapkan kembali ke tanah dan air; dan (ii) pencucian dan run off dari N terutama sebagai NO_3^- dari tanah yang dikelola.

5. Emisi Non CO_2 dari Pembakaran Biomassa

Emisi Non- CO_2 dari biomas yang dibakar dibedakan dari pembakaran biomassa pada lahan pertanian (*cropland*) dan pembakaran biomassa dari padang rumput (*grass land*) dan perhitungannya dilakukan terpisah.

- Emisi Non CO_2 dari Pembakaran Biomasa pada Lahan Pertanian

Emisi Non- CO_2 dari biomas yang dibakar (terutama CH_4 , CO , NO_x and N_2O) umumnya berkaitan dengan sisa pertanian (jerami padi, tebu, dll) yang dibakar. Emisi CO_2 dari biomas yang dibakar tidak dihitung karena karbon yang dilepaskan selama proses pembakaran diasumsikan akan diserap kembali oleh tanaman pada musim berikutnya. Persentase sisa tanaman yang dibakar yang disebut sebagai massa bahan bakar yang tersedia, dihitung dengan terlebih mengurangi dengan fraksi tanaman yang digunakan sebagai pakan ternak, membusuk di lahan, atau digunakan oleh sektor lain (misalnya untuk biofuel, pakan ternak domestik, bahan bangunan, dll) untuk menghindari kemungkinan double counting

- Emisi non CO_2 dari Pembakaran Biomas pada Padang Rumput

Emisi Non- CO_2 dari pembakaran biomas padang rumput dapat diduga dari pertanian ladang berpindah. Sistem perladangan berpindah masih banyak ditemukan di luar Jawa dan biasanya untuk membuka lahan dilakukan dengan membakar lahan yang ditumbuhi rumput. Persamaan untuk menghitung emisi sama dengan persamaan untuk menghitung emisi Non- CO_2 dari pembakaran biomas pada lahan pertanian.

Persamaan untuk menghitung emisi non-CO₂ dari biomasa yang dibakar adalah :

$$L_{fire} = A \cdot M_B \cdot C_f \cdot G_{ef} \cdot 10^{-3}$$

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

- L_{fire} = jumlah emisi GRK dari pembakaran, ton CH₄, N₂O, CO dan NO_x.
- A = luas area yang dibakar, ha.
- M_B = massa bahan yang tersedia untuk pembakaran, ton/ha. (termasuk biomasa, serasah, dan kayu mati).
- C_f = Faktor pembakaran
- G_{ef} = Faktor emisi, g/kg bahan kering yang dibakar

c. Kehutanan

➤ Perhitungan Emisi Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

Emisi/Serapan dari setiap kategori penggunaan lahan diduga dari perubahan biomassa atau tampungan karbon untuk 1) lahan yang tetap/tersisa dalam kategori penggunaan lahan yang sama, dan 2) lahan yang berubah ke penggunaan lahan tersebut dari penggunaan lahan lain.

Perubahan simpanan karbon untuk setiap transisi dari kategori penggunaan lahan merupakan penjumlahan dari perubahan simpanan karbon dari biomassa hidup, biomassa mati, dan bahan organik tanah seperti ditunjukkan pada persamaan dibawah ini.

$$\Delta CLU_i = \Delta CAB + \Delta CBB + \Delta CDW + \Delta CLI + \Delta CSO + \Delta CHWP$$

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

Keterangan:

- ΔCLUi = Perubahan simpanan karbon untuk suatu strata dari kategori penggunaan lahan.
- ΔCAB = Perubahan simpanan karbon dari biomassa diatas permukaan tanah.
- ΔCBB = Perubahan simpanan karbon dari biomassa dibawah permukaan tanah.
- ΔCDW = Perubahan simpanan karbon dari kayu mati.
- ΔCLI = Perubahan simpanan karbon dari serasah.
- ΔCSO = Perubahan simpanan karbon dari bahan organik tanah.
- ΔCHWP = Perubahan simpanan karbon dari produk kayu yang dipanen

➤ **Pendugaan Perubahan Simpanan Karbon**

Emisi dan penyerapan CO₂ untuk sektor AFOLU, 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). Berikut simpanan karbon dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta\text{CAFOLU} = \Delta\text{CFL} + \Delta\text{CCL} + \Delta\text{CGL} + \Delta\text{CWL} + \Delta\text{CSL} + \Delta\text{COL}$$

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

Keterangan:

- ΔCAFOLU = Perubahan simpanan karbon pada lahan pertanian, kehutanan, dan penggunaan lain.
- FL = Forest Land.
- CL = Cropland.

GL	=	Grassland
WL	=	Wetlands.
SL	=	Settlement.
OL	=	Other Land.

Untuk masing-masing kategori penggunaan lahan, perubahan simpanan karbon diperkirakan untuk semua strata atau subdivisi lahan (contoh zona iklim, tipe ekosistem, jenis tanah dan rejim pengelolaan). Perubahan simpanan karbon untuk setiap strata dari kategori penggunaan lahan merupakan penjumlahan dari perubahan simpanan karbon dari biomassa hidup, biomassa mati, dan bahan organik tanah seperti ditunjukkan pada persamaan di bawah ini:

$$\Delta \text{CLU} = \Delta \text{CAB} + \Delta \text{CBB} + \Delta \text{CDW} + \Delta \text{CLI} + \Delta \text{CSO} + \Delta \text{CHWP}$$

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

Keterangan :

ΔCLU	=	Perubahan simpanan karbon untuk suatu strata dari kategori penggunaan lahan.
ΔCAB	=	Perubahan simpanan karbon dari biomassa diatas permukaan tanah.
ΔCBB	=	Perubahan simpanan karbon dari biomassa dibawah permukaan tanah.
ΔCDW	=	Perubahan sipanan karbon dari kayu mati.
ΔCLI	=	Perubahan simpanan karbon dari serasah.
$\Delta \text{C so}$	=	Perubahan simpanan karbon dari bahan organic tanah.
ΔCHWP	=	Perubahan simpanan karbon dari produk kayu yang dipanen

2.3.6 Sektor Kegiatan Pengelolaan Limbah

Sumber-sumber utama emisi GRK yang tercakup di dalam inventarisasi emisi GRK dari kegiatan pengelolaan limbah sesuai dengan kategori yang terdapat pada IPCC Guidline 2006, sebagaimana disajikan pada table berikut ini :

Tabel 2. 4
Kegiatan Pengelolaan Limbah

Kategori		Sub Kategori	
4A	Pembuangan Akhir Sampah Padat (Solid Waste Disposal)	4A1	TPA yang dikelola atau sanitary landfill (Managed Waste Disposal Sites)
		4A2	Tempat Pembuangan Sampah Padat yang tidak dikelola atau open dumping (Unmanaged Waste Disposal Sites)
		4A3	Tempat Pembuangan Sampah Padat yang tidak dapat dikategorikann(Uncategorised Waste Disposal Sites)
4B	Pengelolaan Limbah Padat secara Biologi : (Biological Treatment of Solid Wasted)		
4C	Pembakaran Sampah melalui Insinerator dan Pembakaran Sampah secara Terbuka (Incineration and Open Burning of Waste)	4C1	Pembakaran Sampah melalui Insinerator (Waste Incineration)
		4C2	Pembakaran Sampah secara Terbuka (Open Burning of Waste)
4D	Pengolahan dan Pembuangan Air Limbah (Wastewater Treatment and Discharge)	4D1	Pengolahan dan Pembuangan Air Limbah Rymah Tangga (Domestic Wastewater Treatment and Discharger)
		4D2	Pengolaha dan Pembuangan Air Limbah Industri (Industrial Wastewater Treatment and Discharge)
4E	Lainnya (Other)		

Sumber : Permen LHK No. 73 Tahun 2017

a. Pembuangan Akhir Sampah Padat (Solid Waste Disposal)

Pembentukan emisi GRK dari tumpukan sampah kota / MSW di TPA / SWDS secara umum berasal dari proses penguraian anaerobik komponen-komponen DOC (*degradable organic carbon compound*) di dalam sampah. Proses tersebut tidak hanya mengemisikan gas CH₄ namun juga as CO₂ dan gas-gas lainnya seperti CO, N₂, O₂, H₂, dan H₂O. Gas-gas ini umumnya disebut *landfill gas (LFG)*.

Gas CO₂ yang diemisikan dari pengolahan limbah secara biologi tidak termasuk dalam inventarisasi GRK dari penimbunan limbah padat di TPA karena dikategorikan *biogenic origin* dan dihitung sebagai *net emission* dari AFOLU. Gas-gas lainnya juga tidak termasuk dalam inventarisasi karena tidak signifikan jumlahnya. (*IPCC Guidelines, 2006*).

Pada sistem TPA yang dikelola, biogas yang terbentuk di *recovery* untuk dimanfaatkan sebagai pembangkitan listrik/panas atau dibakar untuk menghindari pelepasan CH₄. Dengan demikian, besaran emisi gas CH₄ adalah total as CH₄ yang terbentuk dikoreksi dengan besarnya gas CH₄ yang di *recovery* / dibakar.

Terdapat dua metode untuk penentuan emisi CH₄ dari TPA yaitu metode neraca massa dan metode *First Order Decay (FOD)*. Berdasarkan IPCC Guideline, 2006, **tingkat emisi GRK dari TPA ditentukan dengan metoda FOD dimana metoda neraca massa sangat tidak disarankan** dengan alasan metoda neraca massa tidak dapat dibandingkan dengan metoda FOD yang mempunyai hasil perhitungan emisi tahunan yang lebih akurat.

CH₄ yang diemisikan dari sampah padat kota yang dibuang di TPA untuk 1 tahun dapat diperkirakan dengan persamaan sebagai berikut :

Emisi CH ₄ pada tahun T, Ggram
$[\sum \text{CH}_4 \text{ generated } x, t - R t] \times (1 - O_{xt})$

Sumber : Pedoman Inventarisasi GRK Nasional, Buku II Vol. 4 – Pengelolaan Limbah, 2012

Keterangan :

T	: Tahun inventarisasi
X	: Tipe atau jenis limbah
R_T	: CH_4 yang di <i>recovery</i> untuk dimanfaatkan atau di <i>flare</i> pada tahun T, Ggram
OX_T	: Faktor oksidasi pada tahun T, fraksi
$CH_4 \text{ generated}_{x, T}$: CH_4 yang terbentuk pada tahun T hasil dekomposisi komponen organis jenis tertentu (x) yang tersimpan di dalam sampah (DDOC)
Emisi CH_4	: CH_4 yang diemisikan dari sampah padat di TPA untuk satu tahun.

Perlu dicatat bahwa gas CH_4 yang teroksidasi di permukaan timbulan sampah hanya mencakup CH_4 setelah *recovery*.

b. Pengelolaan Limbah Padat secara Biologi : (Biological Treatment of Solid Wasted

Sumber emisi GRK dari pengolahan limbah padat secara biologi pada dasarnya mencakup 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. Pengomposan (*anaerobic digester*) komponen organik limbah makanan, kebun/taman, *sludge*/lumpur memberikan keuntungan, yaitu:

- mengurangi volume material limbah,
- stabilisasi limbah menjadi produk pupuk,
- menghancurkan bakteri patogen dalam material limbah,
- memproduksi biogas untuk penggunaan energi.

- **Penghitungan tingkat emisi CH_4 dan N_2O**

Penghitungan emisi CH_4 dan N_2O dari sistem pengolahan secara biologi limbah padat menggunakan persamaan berikut:

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

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

Sumber : Pedoman Inventarisasi GRK Nasional, Buku II Vol. 4 – Pengelolaan Limbah, 2012

dimana:

Emisi CH₄ = CH₄ total pada tahun inventori, Ggram CH₄

Emisi N₂O = N₂O total pada tahun inventori, Ggram N₂O

M_i = Massa limbah organik yang diolah dengan pengolah biologi tipe *i*, Ggram

EF = Faktor emisi untuk pengolahan tipe *i*, g CH₄ atau N₂O/kg limbah yang diolah

i =Tipe pengolahan biologi (pengomposan atau digester anaerobik)

R = Jumlah CH₄ yang dapat direcovery dalam tahun inventori, Ggram CH₄

c. Pembakaran Sampah melalui Insinerator dan Pembakaran Sampah secara Terbuka (Incineration and Open Burning of Waste)

• Tingkat Emisi GRK Dari Penggunaan Energi Proses Insinerasi/Pembakaran Limbah

Penghitungan tingkat emisi GRK dari penggunaan energi sama seperti pada pembakaran bahan bakar fosil. Penghitungan emisi GRK proses insinerasi maupun penimbunan limbah padat mengikuti Tier-1 IPCC 2006 dan menggunakan faktor emisi *default*. Perhitungan tingkat emisi GRK insinerasi limbah padat menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Emisi CO}_2, \text{ Ggram/tahun} = \sum_i (\text{SW}_i * \text{dmi} * \text{FCFi} * \text{OF}_i) * 44/12$$

Sumber : Pedoman Inventarisasi GRK Nasional, Buku II Vol. 4 – Pengelolaan Limbah, 2012

dimana:

Swi = total berat (basah) limbah padat yang dibakar, Ggram/tahun

dmi = fraksi *dry matter* di dalam limbah (basis berat basah)

CFi = fraksi karbon di dalam *dry matter* (kandungan karbon total)

FCFi = fraksi karbon fosil di dalam karbon total

OFi = faktor oksidasi (fraksi)

4/12 = faktor konversi dari C menjadi CO₂

i = jenis limbah, yaitu ISW (*industrial solid waste*) yang meliputi limbah B3, *clinical waste*, dan lain-lain (limbah padat domestik tidak diinsinerasi tetapi di *landfill*)

- **Tingkat Emisi GRK dari Proses Insinerasi/Pembakaran Limbah**

Berdasarkan IPCC 2006 *Guidelines*, emisi GRK pembakaran limbah padat dengan insinerator dan pembakaran terbuka adalah CO₂ dengan tingkat emisi:

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

Sumber : Pedoman Inventarisasi GRK Nasional, Buku II Vol. 4 – Pengelolaan Limbah, 2012

dimana:

EmisiCO₂ = emisi-emisi CO₂ dalam tahun inventori, Ggram/th

MSW = jumlah total dari limbah padat perkotaan sebagai berat-basah insinerasi atau pembakaran terbuka, Ggram/th

WF_j = fraksi tipe limbah dari komponen j dalam MSW (berat-basah insinerasi atau pembakaran terbuka)

Dm_j = kandungan zat-kering dalam komponen j pada MSW insinerasi atau pembakaran terbuka, (fraksi)

CF_j = fraksi karbon dalam bahan kering (kandungan karbon) pada komponen j

- FCF_j = fraksi fosil karbon dalam total karbon pada komponen j
- O_{fj} = faktor oksidasi, (fraksi)
- 44/12 = faktor konversi dari C ke CO₂
- dengan
- 1 = $S_j W F_j$
- J = komponen dari MSW insinerasi/pembakaran terbuka (kertas/kardus, tekstil, sisa makanan, kayu, limbah kebun dan taman, diapers sekali pakai, karet, plastik, logam, kaca, limbah tak terbakar lain).

d. Pengolahan dan Pembuangan Air Limbah (Wastewater Treatment and Discharge)

- **Penghitungan Tingkat Emisi CH₄ dari Pengolahan Limbah Cair Domestik**

Emisi CH₄ dari Limbah Cair Kota dihitung dengan menggunakan formula berikut.

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

Sumber : Pedoman Inventarisasi GRK Nasional, Buku II Vol. 4 – Pengelolaan Limbah, 2012

dengan faktor emisi:

$$EF_j = B_o * MCF_j$$

dimana:

Emisi-emisi CH₄ = emisi-emisi CH₄ dalam tahun inventori, kg CH₄/th

TOW = total organik dalam limbah cair dalam tahun inventori, kg BOD/th

S = komponen organik diambil sebagai lumpur dalam tahun inventori, kg BOD/th

U_i = fraksi populasi dalam grup income i dalam tahun inventori

T_{i,j} = derajat pemanfaatan dari saluran atau sistem pengolahan/pembuan, j, untuk tiap fraksi grup pendapatan i dalam tahun inventori.

- i = grup pendapatan: perkotaan, pendapatan tinggi perkotaan dan pendapatan rendah perkotaan
- j = tiap saluran atau sistem pengolahan/ pembuangan
- E_{fj} = faktor emisi, kg CH₄ / kg BOD
- R = jumlah dari pemulihan CH₄ dalam tahun inventori, kg CH₄/th
- Bo = kapasitas maksimum produksi CH₄ (kg CH₄/kg BOD) dengan default maksimum kapasitas produksi CH₄ untuk limbah cair perkotaan 0.6 kg CH₄ /kg BOD atau 0.25 kg CH₄/kg COD
- MCF_j = faktor koreksi metan (fraksi).

- **Penghitungan Tingkat Emisi GRK dari Pengolahan Limbah Cair Industri**

Inventarisasi GRK pengolahan limbah cair industri mencakup CH₄ dan N₂O

- a. **Penghitungan emisi CH₄**

$$\text{Emisi CH}_4 = \sum_i [(TOW_i - S_i) EF_i - R_i]$$

$$EF_j = Bo * MCF_j$$

Sumber : Pedoman Inventarisasi GRK Nasional, Buku II Vol. 4 – Pengelolaan Limbah, 2012

dimana:

- Emisi CH₄ = CH₄ yang diemisikan dalam tahun inventori, kg CH₄ / tahun
- TOW = Senyawa organik total yang degradable dalam limbah cair industri i , kg COD/tahun
- S = Lumpur komponen organik yang dipisahkan pada tahun inventori, kg COD/tahun
- i = Sektor industri
- j = Tiap jenis sistem atau saluran pengolahan/pembuangan
- R = Jumlah CH₄ yang dapat diambil pada tahun inventori, kg CH₄/tahun

EF _j	= Faktor emisi per jenis system / saluran pembuangan / pengolahan, kg CH ₄ /kgBOD
MCF _j	= Faktor koreksi metana, fraksi
Bo	= Kapasitas produksi maksimum CH ₄ , kg CH ₄ /kg COD

$$\mathbf{TOW = Pi*Wi*COD}$$

dimana:

P_i = Produk industri total untuk sektor industry *i*, ton/tahun

W_i = Jumlah limbah cair yang dihasilkan, m³/ton produk

COD = Chemical oxygen demand (plant specific), /kg COD listrik netto x EF listrik grid)

Catatan: sampah organik terdiri dari sisa makanan dan sampah taman.

2.4 Analisis Ketidakpastian (*Uncertainty Analysis*)

Berdasarkan Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi GRK Nasional, 2012, menyatakan bahwa analisis ketidakpastian merupakan analisis untuk menilai sebesar apa kesalahan hasil dugaan emisi/serapan (tingkat *uncertainty*). Di dalam penyelenggaraan inventarisasi seringkali kita tidak bisa menghindari 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 GRK (misalnya satu nilai faktor emisi dianggap dapat mewakili seluruh wilayah dan seluruh kurun waktu inventarisasi), pemilihan metode dan lain-lain.

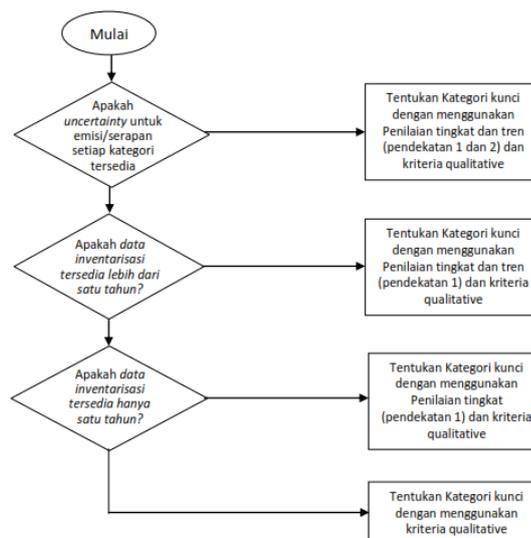
Jadi munculnya *uncertainty* dimulai dari (i) konseptualisasi asumsi, (ii) pemilihan model dan (iii) input data serta asumsi-asumsinya. Asumsi asumsi dan metode yang dipilih akan menentukan banyak dan jenis kebutuhan data dan informasi yang diperlukan. Bisa juga ada interaksi antara asumsi, data dan metode yang dipilih seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.3. Misalnya suatu kategori emisi bisa dipecah menjadi beberapa sub-kategori, sehingga diperlukan metodologi yang lebih rinci. Namun

- Membantu mengidentifikasi sumber/rosot mana yang perlu mendapatkan perhatian utama terkait dengan upaya pembuatan sistem penjamin dan pengendalian mutu data (QA/QC).

Penentuan kategori kunci dapat dilakukan menggunakan dua pendekatan. Kedua pendekatan mengidentifikasi kategori kunci berdasarkan kontribusinya terhadap tingkat emisi/serapan nasional absolute dan tren dari emisi/serapan.

- Pada pendekatan pertama, kategori kunci diidentifikasi dengan menggunakan nilai batas emisi kumulatif. 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 kedua digunakan apabila *uncertainty* dari emisi atau *uncertainty* parameter tersedia. Pada pendekatan kedua ini, kategori kunci diurut berdasarkan kontribusinya terhadap nilai *uncertainty*.

Berikut ini adalah skema yang menyajikan pohon pengambilan keputusan untuk metode mana yang akan digunakan dalam mengidentifikasi kategori kunci.



Gambar 2. 2 Pohon Pengambilan Keputusan dalam Penentuan Kategori Kunci

Sumber : IPCC, 2008

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 untuk *Level Assement* adalah dalam bentuk persamaan berikut:

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

$L_{x,t}$ = tingkat emisi atau serapan dari sumber atau rosot ke- x pada tahun inventarisasi ke- t ,

$|E_{x,t}|$ = nilai abosut emisi atau serapan dari sumber atau rosot ke- x pada untuk tahun ke- t dan

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

Sedangkan untuk *Trend Assessment* rumus yang digunakan adalah dalam bentukpersamaan berikut:

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

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

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

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

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

Apabila emisi pada tahun dasar bernilai 0, maka rumus *Trend Assessment* diganti menjadi:

$$T_{x,t} = \left| \frac{E_{x,t}}{\sum_y E_{y,0}} \right|$$

Pendekatan kedua digunakan untuk menentukan kategori kunci dari inventarisasi GRK yang informasi uncertainty tersedia, maka rumus untuk *Assessment* dan *Trend Assessment* di atas dimodifikasi menjadi bentuk berikut:

Level Assessment:

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

Trend Assessment

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

2.6 Penjaminan dan Pengendalian Mutu

Penyelenggaraan Inventarisasi GRK Nasional harus didukung dengan sistem Penjaminan dan pengendalian mutu atau *Quality Assurance/Quality Control (QA/QC)* sesuai amanat Peraturan Presiden Nomor 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi GRK Nasional. Pengembangan sistem penjaminan dan pengendalian mutu data tidak hanya bermanfaat untuk menghasilkan Inventarisasi GRK yang berkualitas, tetapi juga secara langsung akan menghasilkan data dan informasi pelaksanaan pembangunan yang lebih akurat dan dapat diandalkan. Keberadaan data dan informasi yang akurat sangat diperlukan bagi penyusunan perencanaan pembangunan selanjutnya.

Pengendalian Mutu (QC) merupakan suatu sistem pelaksanaan kegiatan rutin yang ditujukan untuk menilai dan memelihara kualitas dari data dan informasi yang dikumpulkan dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK. Pengendalian Mutu dilakukan oleh orang yang bertanggung jawab

dalam pengumpulan data dan informasi tersebut. Sistem pengendalian mutu biasanya dirancang untuk:

- (i) Menyediakan mekanisme pengecekan rutin dan konsisten agar data yang dikumpulkan memiliki integritas, benar dan lengkap.
- (ii) Mengidentifikasi dan mengatasi kesalahan dan kehilangan data;
- (iii) Mendokumentasikan dan menyimpan semua data dan informasi untuk inventarisasi GRK dan mencatat semua aktivitas pengendalian mutu yang dilakukan.

Aktivitas pengendalian mutu meliputi pelaksanaan pengecekan keakurasian dari akuisisi data dan perhitungan, penggunaan prosedur standar yang sudah disetujui dalam menghitung emisi dan serapan GRK atau pengukurannya, pendugaan *uncertainty*, penyimpanan data dan informasi serta pelaporan. Aktivitas pengendalian mutu (QC) juga meliputi review yang sifatnya teknis terhadap kategori sumber/roket, data aktivitas, factor emisi, parameter penduga dan metode-metode yang digunakan dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK.

Penjaminan Mutu (QA) adalah suatu sistem yang dikembangkan untuk melakukan review yang dilaksanakan oleh seseorang yang secara langsung **tidak** terlibat dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK. Oleh karena itu orang yang melakukan review seyogyanya pihak ketiga yang independen. Proses review dilakukan setelah inventarisasi GRK selesai dilaksanakan dan sudah melewati proses pengendalian mutu (QC). Kegiatan review ini akan memverifikasi bahwa penyelenggaraan inventarisasi GRK sudah mengikuti prosedur dan standar yang berlaku dan menggunakan metode terbaik sesuai dengan perkembangan pengetahuan terkini dan ketersediaan data dan didukung oleh program pengendalian mutu (QC) yang efektif. (Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi GRK Nasional, 2012).

BAB III

HASIL PERHITUNGAN EMISI DAN SERAPAN GRK

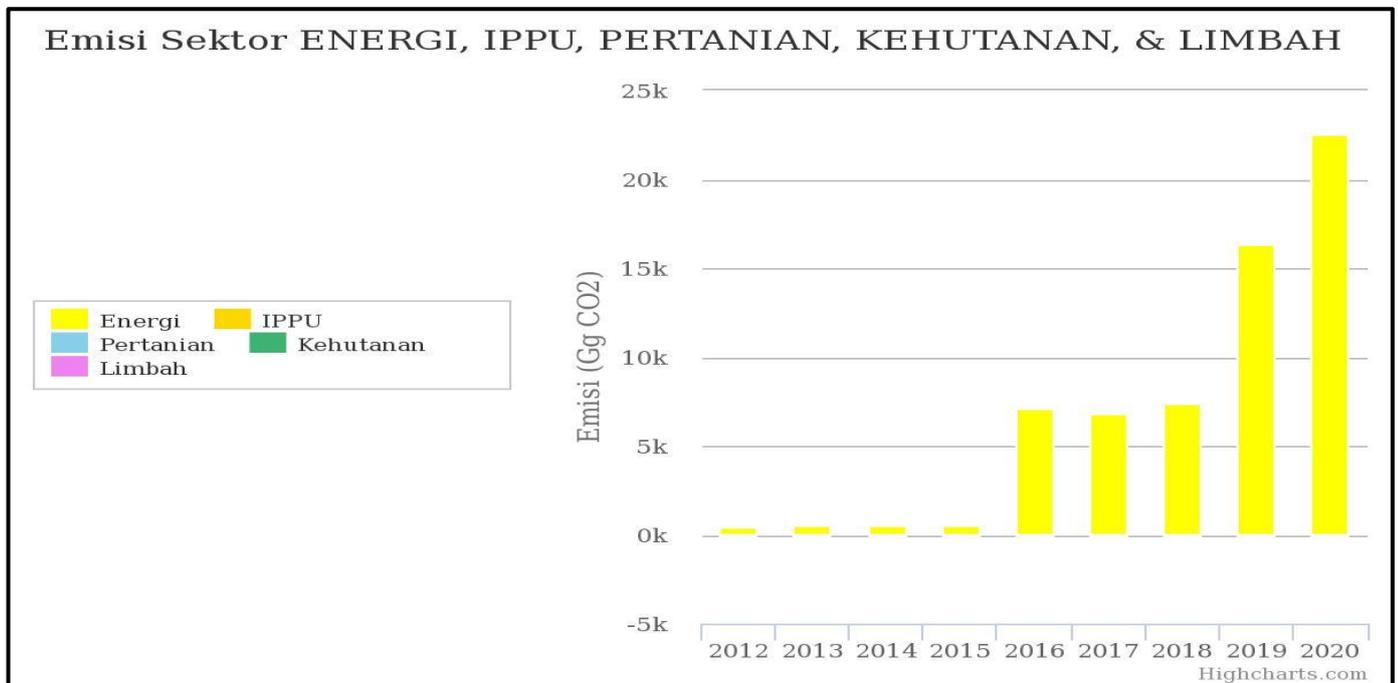
3.1. Tingkat, Status, dan Kecenderungan Emisi dan Serapan GRK

Emisi GRK di Kota Magelang dipengaruhi secara langsung oleh besaran konsumsi energi, proses industri dan penggunaan produk, perubahan pemanfaatan lahan, dan sistem pengolahan limbah. Faktor-faktor tersebut dipengaruhi oleh pertumbuhan penduduk, pertumbuhan ekonomi, perubahan fungsi lahan dari hutan menjadi fungsi lain dan faktor-faktor lainnya.

Emisi GRK di sektor pengadaan dan penggunaan energi akan terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan industri dan peningkatan permintaan energi. Sedangkan untuk emisi dari sektor peternakan, pertanian dan penggunaan lahan lainnya mengalami penurunan akibat menurunnya area pertanian dan aktivitas peternakan di Kota Magelang. Pada sektor pengolahan limbah, sistem pengolahan limbah dan volume timbulan sampah secara proporsional mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan jumlah penduduk.

Inventarisasi gas rumah kaca (GRK) merupakan kegiatan untuk memperoleh data dan informasi mengenai tingkat, status dan kecenderungan perubahan emisi GRK secara berkala dari berbagai sumber emisi dan penyerapannya termasuk simpanan karbon. Data dan informasi yang telah didapatkan, kemudian dilakukan perhitungan dengan rumus yang telah ditentukan.

Sehingga dari perhitungan tersebut didapatkan jumlah emisi yang berada di Kota Magelang. Perhitungan emisi dimulai dari tahun 2012-2020. Berikut adalah gambaran tren emisi gas rumah kaca (GRK) di Kota Magelang :



Gambar 3. 1 Tren Emisi Gas Rumah Kaca Kota Magelang Tahun 2012-2020

Sumber: Aplikasi SIGN-SMART, 2021

Berdasarkan Gambar 3.1 dapat diketahui bahwa besaran emisi GRK Kota Magelang tahun 2012-2020 cenderung mengalami peningkatan yang cukup signifikan pada periode tahun 2016 hingga 2020, hal tersebut dikarenakan pada tahun 2010-2015 tidak tersedia data konsumsi bahan bakar di sektor rumah tangga. Tingkat emisi terendah dihasilkan pada tahun 2012 dengan besaran emisi **455,81 Gg CO2e** dan tertinggi pada tahun 2020 sebesar ton **22.264,54 Gg CO2e**. Produksi emisi tersebut terdiri dari 5 sektor yaitu, sektor pengadaan dan penggunaan energi, sektor IPPU, sektor pertanian, sektor kehutanan dan sektor limbah. Kemudian produksi emisi masing-masing sektor disajikan dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 3. 1
Jumlah Emisi Masing-Masing Sektor

Sektor	Tahun (Gg CO2e)								
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Energi	452,14	505,00	513,59	522,84	7.131,24	6.796,57	7.348,37	16.305,88	22.252,36
IPPU	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pertanian	3,68	3,78	3,55	3,79	3,66	3,68	3,46	2,61	2,94
Kehutanan	0	0	0	0	-2,57	1,50	-2,31	-1,86	-1,84
Limbah	0	0,06	0	0	0,55	11,13	11,16	11,27	11,09
TOTAL	455,81	508,84	517,14	526,63	7.132,88	6.812,88	7.360,69	16.317,91	22.264,54

Sumber: Hasil kalkulasi aplikasi SIGN-SMART, 2021

3.2. Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi

Salah satu sektor penting dalam inventarisasi emisi gas rumah kaca (GRK) adalah pengadaan dan penggunaan energi. Cakupan dalam inventarisasi sektor energi meliputi kegiatan pengadaan/penyediaan energi dan penggunaan energi.

Pengadaan energi meliputi kegiatan-kegiatan sebagai berikut :

- a. Eksplorasi dan eksploitasi sumber-sumber energi primer (misalnya minyak mentah, batubara);
- b. Konversi energi primer menjadi energi sekunder yaitu energi yang siap pakai (konversi minyak mentah menjadi BBM di kilang minyak, konversi batubara yang menjadi tenaga listrik di pembangkit tenaga listrik); dan
- c. Kegiatan penyaluran dan distribusi energi.

Adapun penggunaan energi meliputi kegiatan-kegiatan sebagai berikut:

- a. Penggunaan bahan bakar untuk peralatan tidak bergerak atau stasioner (di industri, komersial dan rumah tangga), dan peralatan yang bergerak (transportasi)
- b. Kategori emisi fugitif yang bersumber dari penambangan bahan bakar padat, minyak dan gas bumi. Namun kegiatan ini tidak

terdapat di wilayah Kota Magelang sehingga tidak dilakukan pendugaan (*Not Applicable*).

Kemudian yang dimaksud sumber emisi dari sektor energi di Kota Magelang hanya berasal dari penggunaan bahan bakar di sektor transportasi, rumah tangga, dan industri.

Kategori transportasi juga menjadi salah satu penyumbang emisi penting di Kota Magelang dan termasuk kategori kunci yang utama. Dalam pedoman inventarisasi disebutkan bahwa yang termasuk dalam kategori transportasi adalah penerbangan sipil, transportasi jalan, kereta api, angkutan air, dan transportasi lainnya. Namun Kota Magelang hanya terdapat kegiatan transportasi jalan raya sedangkan kegiatan lainnya tidak tersedia. Transportasi penerbangan sipil, kereta api, angkutan air, dan lainnya tidak dilakukan perhitungan dan dikategorikan ke dalam tidak tersedia (*Not Applicable*).

Hasil kalkulasi emisi dari sektor pengadaan dan penggunaan energi adalah sebagai berikut:

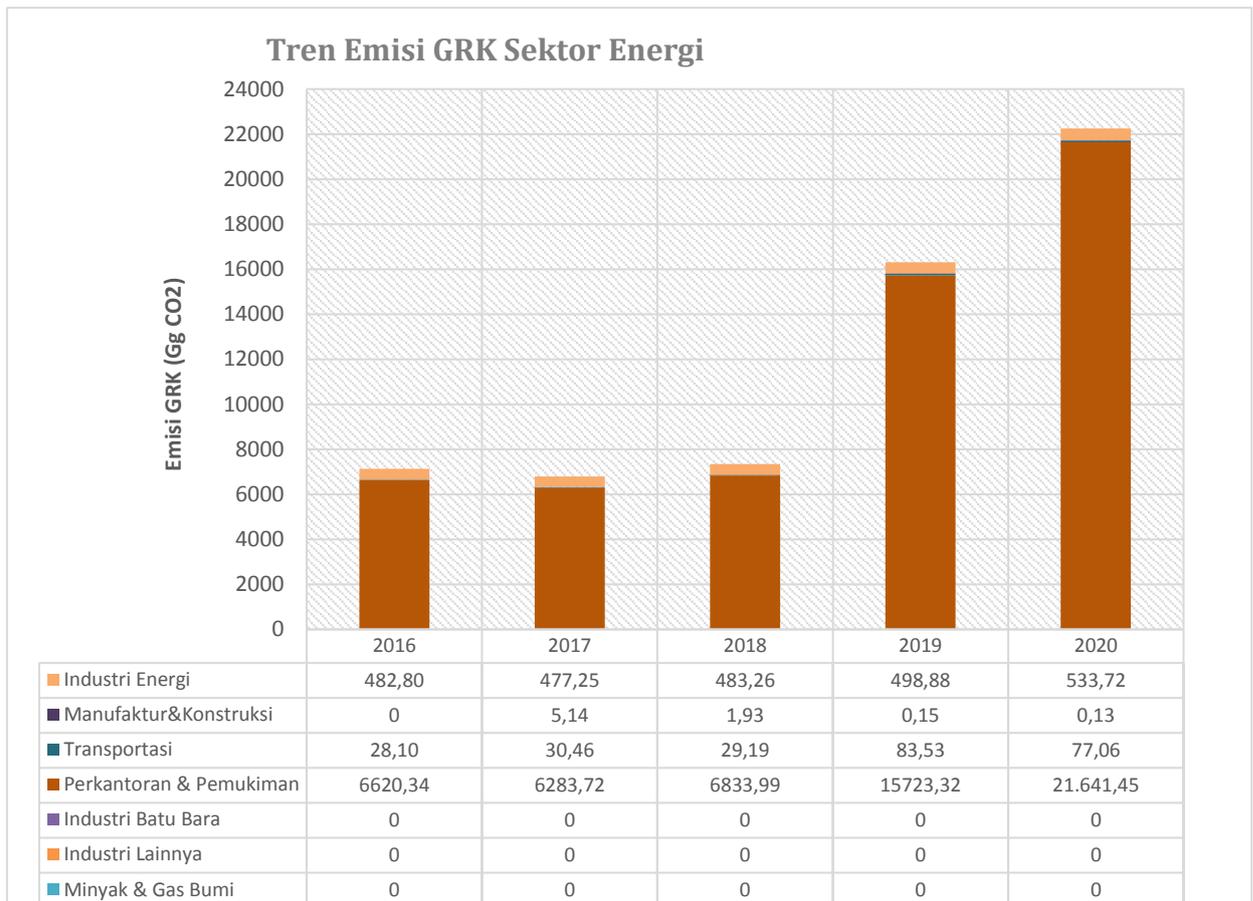
Tabel 3. 2

Kalkulasi Emisi Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi Tahun 2020

Kategori		CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ Eq (Gg)
1A. Fuel Combustion Activities					
	1A1a. Electricity and Heat Production	531,76	0,01	0,01	533,72
	1A1b. Oil and Gas Industries	0	0	0	0
	1A1c. Coal Processing	0	0	0	0
	1A2. Manufacturing Industries and Construction	0,12	0,00	0,00	0,13
	1A3. Transport	75,36	0,03	0,00	77,06
	1A4a. Commercial / Institutional	0	0	0	0
	1A4b. Residential	21.594,91	1,71	0,03	21.641,45
	1A5. Non-Specified	0	0	0	0
1B. Fugitive Emissions from Fuels					
	1B1. Solid Fuel		0		0

Kategori		CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ Eq (Gg)
	1B2a. Fugitive Emissions: Oil and Natural Gas	0	0	0	0
TOTAL		22.202,15	1,75	0,04	22.252,36

Sumber: Hasil kalkulasi aplikasi SIGN-SMART, 2021



Gambar 3. 2 Grafik Emisi Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi

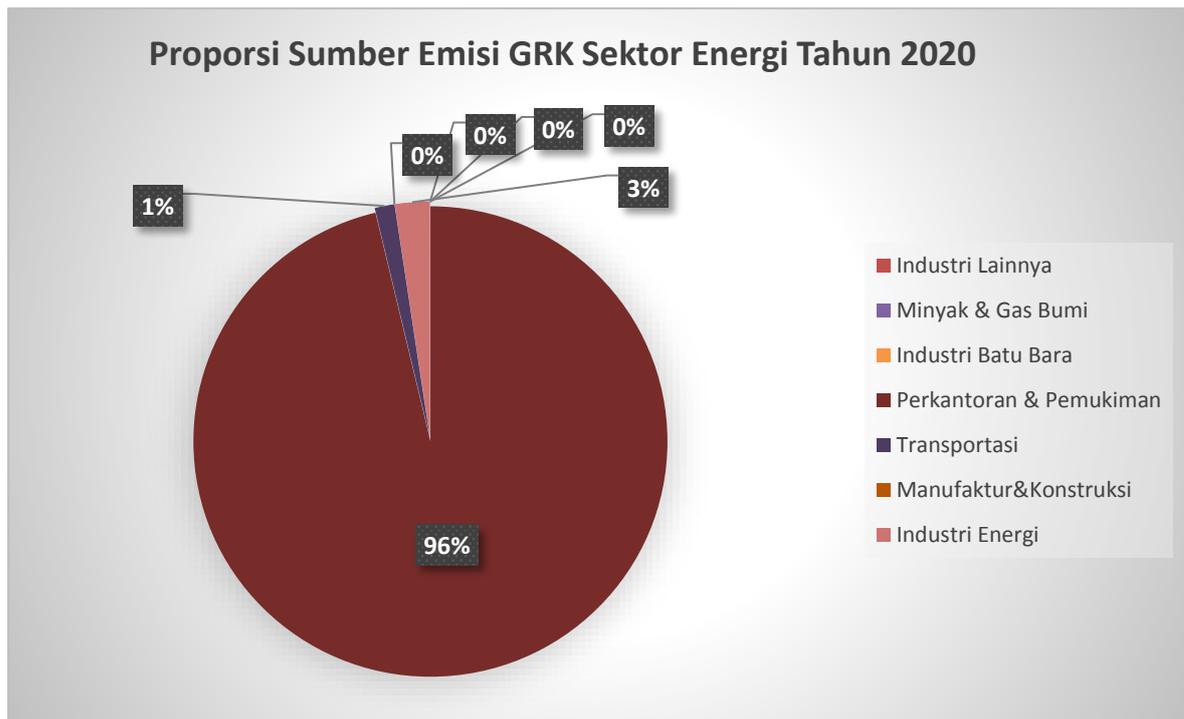
Sumber: Aplikasi SIGN-SMART, 2021

Grafik diatas menggambarkan emisi GRK dari sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi tahun 2016-2020. Pada sektor energi, emisi dari penggunaan bahan bakar di rumah tangga di Kota Magelang, didekati melalui angka penggunaan LPG per tahun. Sedangkan untuk penggunaan bahan bakar di bidang transportasi, jumlah emisi didekati melalui angka penggunaan bahan bakar untuk kendaraan per tahunnya. Kemudian untuk penggunaan bahan bakar di bidang industri, jumlah

emisi didekati melalui angka penggunaan bahan bakar di industri kecil antara lain minyak tanah, biomassa, bensin, solar dan LPG.

Berdasarkan Gambar 3.2 diketahui bahwa pada tahun 2016-2020 tercatat bahwa tingkat emisi dari sektor pengadaan dan penggunaan energi cenderung meningkat. Hal tersebut dikarenakan adanya peningkatan konsumsi bahan bakar di sektor rumah tangga, sehingga menyebabkan emisi dari sub sektor perkantoran dan permukiman mengalami peningkatan yang cukup signifikan pada tahun 2016-2020.

Berdasarkan data perhitungan emisi GRK dalam kurun waktu 5 tahun terakhir, emisi terendah dari sektor pengadaan dan penggunaan energi dihasilkan pada tahun 2016 dengan besaran emisi sebesar **6.796,57 Gg CO₂e**, dan cenderung mengalami peningkatan hingga tahun 2020 emisi yang dihasilkan dari sektor pengadaan dan penggunaan energi sebesar **22.252,36 Gg CO₂e**. Peningkatan emisi GRK dari sektor pengadaan dan penggunaan energi pada tahun 2020 ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah meningkatnya jumlah penggunaan LPG pada sektor rumah tangga dan kenaikan jumlah bahan bakar yang digunakan di sektor transportasi serta penggunaan bahan bakar pada industri energi untuk pembangkitan listrik juga turut berkontribusi dalam kenaikan emisi GRK di sektor pengadaan dan penggunaan energi. Hal tersebut erat kaitannya dengan kebutuhan masyarakat dan seiring dengan pertumbuhan penduduk di Kota Magelang.

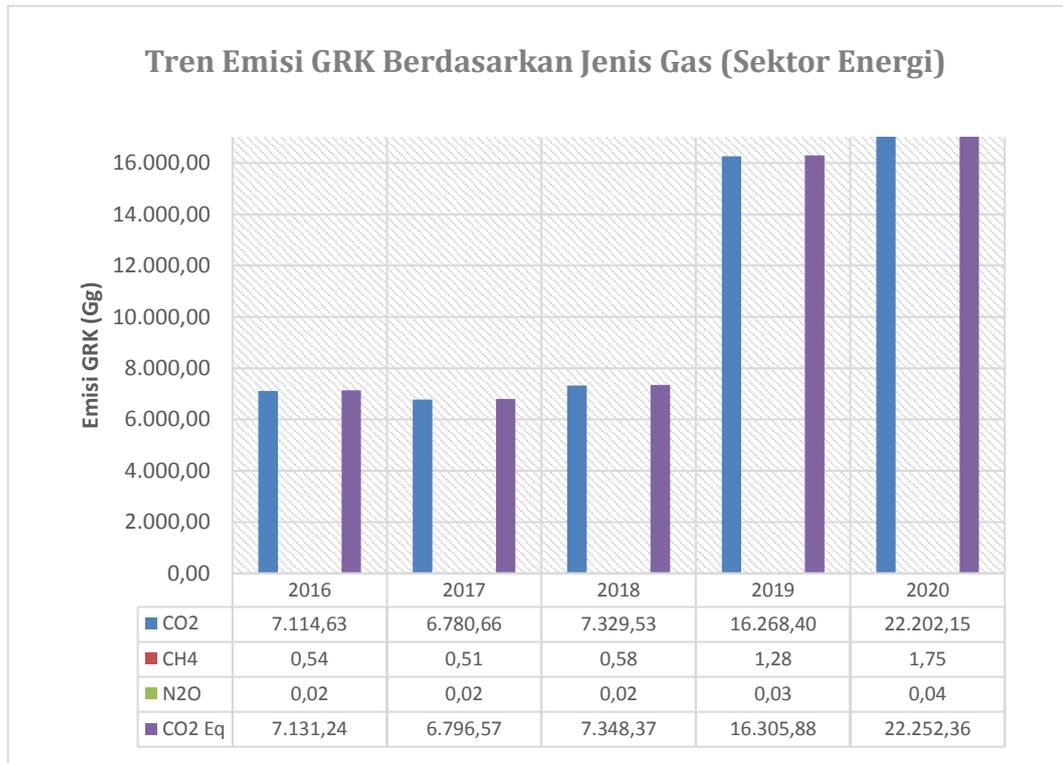


Gambar 3. 3 Presentase Emisi Sektor Energi Kota Magelang Tahun 2020

Berdasarkan kategori per sektor, pada tahun 2020 penggunaan energi pada perkantoran dan permukiman memiliki kontribusi yang cukup besar dalam menghasilkan emisi GRK yaitu mencapai 96% atau sebesar **21.641,45 Gg CO₂e** dari keseluruhan emisi yang berjumlah **22.252,36 Gg CO₂e**. Kategori industri energi memiliki kontribusi sebesar 3%, sedangkan 1% sisanya dipengaruhi oleh untuk kategori lainnya. Sedangkan untuk sumber emisi fugitive, yang mencakup kategori minyak dan gas bumi serta industri batu bara tidak memiliki kontribusi terhadap emisi GRK di Kota Magelang, karena aktivitas tersebut tidak terdapat di Kota Magelang. Sehingga kategori minyak dan gas bumi serta industri batu bara tidak dilakukan pendugaan dan dilaporkan sebagai kriteria tidak tersedia (*Not Applicable*)

Jenis gas yang dihasilkan dari sektor Energi di Kota Magelang didominasi oleh CO₂. Berikut merupakan gambar grafik yang dapat

menjelaskan secara detail tren emisi gas rumah kaca berdasarkan jenis gas tersebut:



Gambar 3. 4 Tren Emisi GRK Sektor Energi Berdasarkan Jenis Gas

Sumber: Aplikasi SIGN-SMART, 2021

3.3. Sektor IPPU (Industrial Processes and Product Use)

Semua sektor industri memberikan kontribusi emisi GRK, tetapi kontributor terbesar adalah industri semen, industri baja, industri pulp & kertas, industri tekstil, industri petrokimia, industri keramik, industri pupuk, industri makanan dan minuman.

Di Kota Magelang tidak terdapat industri berat seperti industri semen, industri baja, industri pulp & kertas, industri tekstil, industri petrokimia, industri keramik dan industri pupuk, industri yang ada rata-rata merupakan industri ringan seperti industri makanan dan minuman dan beberapa pabrik kecil. Oleh karena itu tidak ada emisi GRK yang dihasilkan dari sektor proses industri dan penggunaan produk atau masuk dalam kriteria tidak tersedia (*Not Applicable*).

Tabel 3. 3

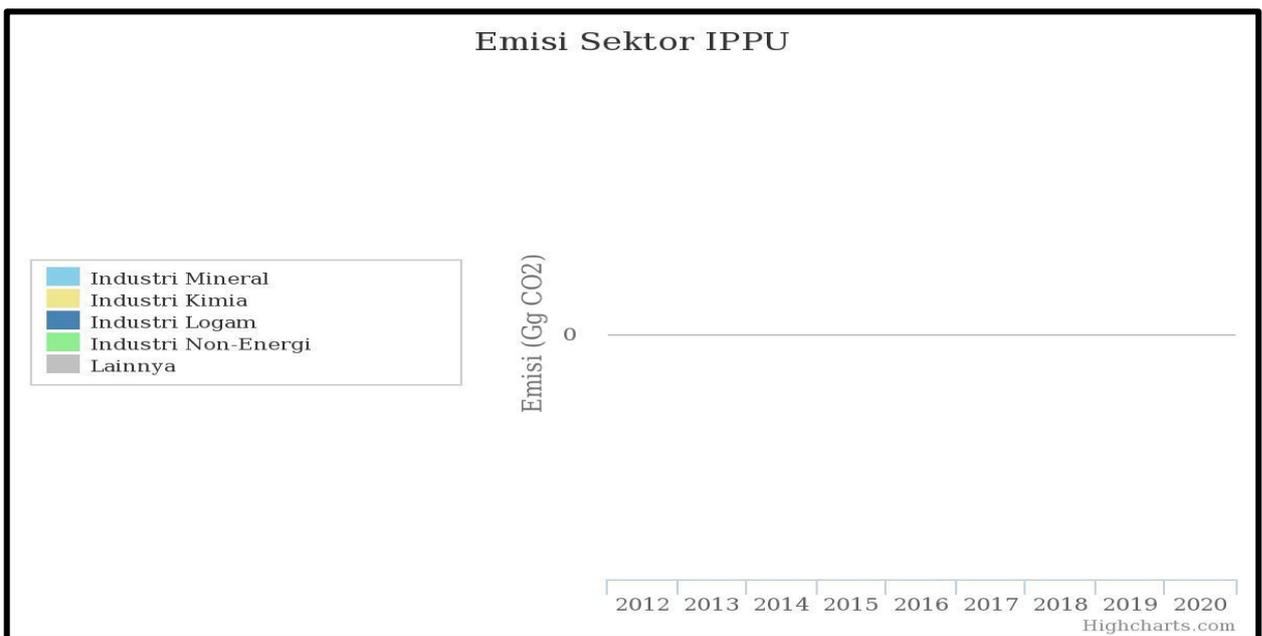
Kalkulasi Emisi GRK Sektor Proses Industri dan Penggunaan Produk

Kategori	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ Eq (Gg)
2A. Mineral Industry				
2A1. Cement Production	0			0
2A2. Lime Production	0			0
2A3. Glass Production	0			0
2A4a. Ceramics	0			0
2A4b. Other Uses of Soda Ash	0			0
2A4c. Non-Metallurgical Magnesia Production				
2A4d. Other	0			0
2A5. Other				
2B. Chemical Industry				
2B1. Ammonia Production	0			0
2B2. Nitric Acid Production			0	0
2B3. Adipic Acid Production				
2B4. Caprolactam, Glyoxal, and Glyoxylic Acid Production				
2B5. Carbide Production	0			0
2B6. Titanium Dioxide Production				
2B7. Soda Ash Production				
2B8a. Methanol	0	0		0
2B8b. Ethylene	0	0		0
2B8c. Ethylene Dichloride and Vinyl Chloride Monomer	0	0		0
2B8d. Ethylene Oxide				
2B8e. Acrylonitrile				
2B8f. Carbon Black	0	0		0
2C. Metal Industry				
2C1. Iron and Steel Production	0	0		0
2C2. Ferroalloys Production				
2C3. Aluminium Production	0			0
2C4. Magnesium Production				
2C5. Lead Production	0			0

Kategori	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ Eq (Gg)
2C6. Zinc Production	0			0
2D. Non-Energy Products from Fuels and Solvent Use				
2D1. Lubricant Use	0			0
2D2. Paraffin Wax Use	0			0
2D3. Solvent Use				
2H. Other				
2H1. Pulp & Paper Industry	0			0
2H2. Food and Beverages Industry	0			0
TOTAL	0	0	0	0

Sumber: Hasil kalkulasi aplikasi SIGN-SMART, 2021

Berikut ini adalah tren emisi GRK dari sektor Proses Industri dan Penggunaan Produk pada tahun 2012-2020:



Gambar 3. 5 Grafik Emisi Sektor Proses Industri dan Penggunaan Produk

Sumber: Aplikasi SIGN-SMART, 2021

3.4. Sektor Pertanian

Emisi dari sektor pertanian, kehutanan dan pemanfaatan lahan biasa dikenal dengan AFOLU (*Agriculture, Forestry and Land Use*). Jumlah emisi GRK didekati melalui angka data sawah (luas panen padi sawah, dan produksi padi sawah per tahunnya), data penggunaan pupuk (organik, NPK, urea, SP36, dan furadan), luas biomassa untuk padi sawah, jumlah populasi ternak, luas panen tanaman hortikultura, luas panen tanaman pangan (jagung, kacang tanah, dan ketela pohon).

Dekomposisi bahan organik secara anaerobik pada lahan sawah mengemisikan gas metan ke atmosfer. Selain itu emisi gas metan juga dipengaruhi jenis tanah, suhu, dan varietas padi. Emisi GRK dari sektor peternakan dihitung dari emisi metana yang berasal dari fermentasi enterik ternak, dan emisi metana dan dinitro oksida yang dihasilkan dari pengelolaan kotoran ternak. Dikarenakan daerah perkotaan, Kota Magelang mempunyai populasi ternak yang tidak begitu besar jumlahnya.

Emisi dari sektor AFOLU Kota Magelang periode 2012-2020 secara umum dihasilkan dari sub sektor agregat pertanian (3C) yang didalamnya termasuk budidaya padi dan pengelolaan lahan. Total kontribusi emisi dari keseluruhan emisi pada sektor AFOLU pada tahun 2020 adalah sebesar **2,94 Gg CO₂eq**. Kalkulasi emisi dan grafik GRK dari sektor pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan lainnya dapat dilihat pada tabel dan gambar dibawah ini.

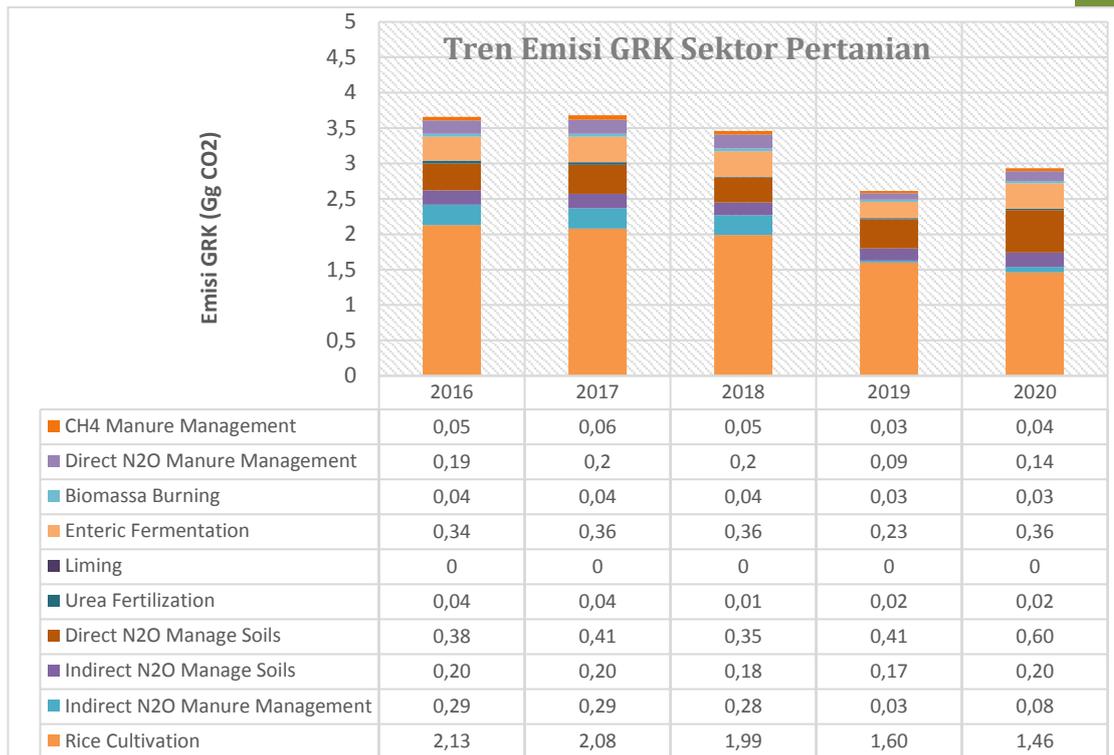
Tabel 3. 4
Kalkulasi Emisi GRK Sektor Pertanian Tahun 2020

Kategori	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ Eq (Gg)
3A. Livestock				
3A1. Enteric Fermentation		0,01		0,36
3A2. Manure Management		0	0	0,18
3C. Aggregate Sources and Non-CO ₂ Emissions Source on Land				

Kategori	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ Eq (Gg)
3C1. Biomass Burning		0	0	0,03
3C2. Liming	0			0
3C3. Urea Fertilization	0,02			0,02
3C4. Direct N ₂ O Emissions from Managed Soils			0	0,60
3C5. Indirect N ₂ O Emissions from Managed Soils			0	0,20
3C6. Indirect N ₂ O Emissions from Manure Management			0	0,08
3C7. Rice Cultivations		0,07		1,46
3C8. Other				
3D. Other				
TOTAL	0,02	0,09	0	2,94

Sumber: Hasil kalkulasi aplikasi SIGN-SMART, 2021

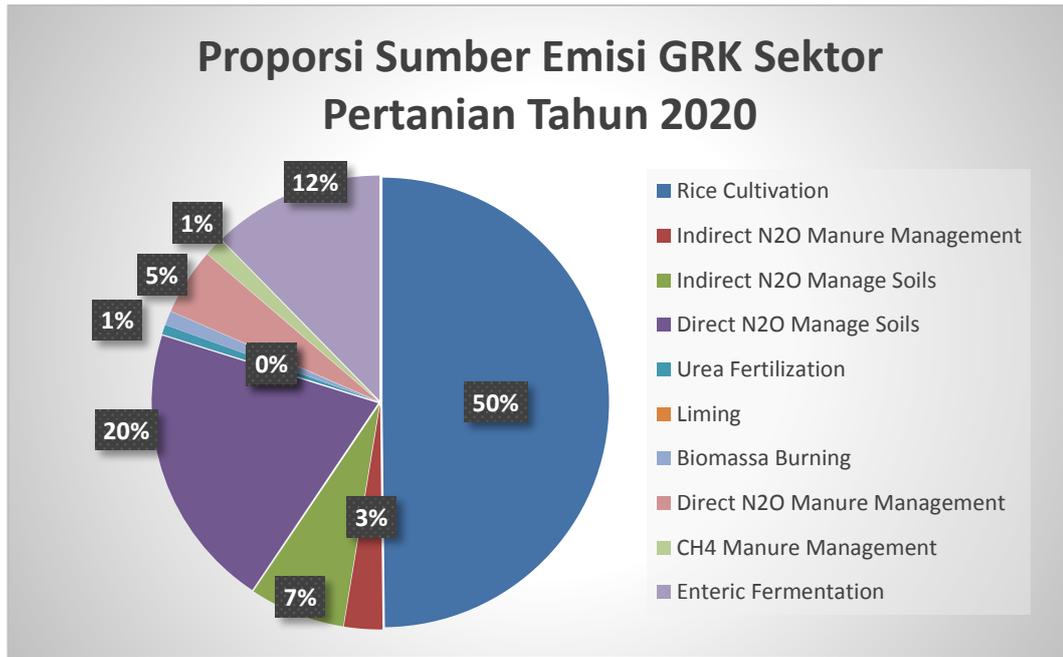
Perhitungan emisi GRK sektor pertanian meliputi semua sub sektornya, yaitu sub sektor tanaman pangan (emisi CH₄ dari pengelolaan lahan sawah, emisi CO₂ karena penambahan bahan kapur dan pupuk urea, emisi N₂O dari pengelolaan tanah termasuk emisi N₂O tidak langsung dari penambahan N ke tanah karena penguapan/pengendapan dan pencucian, dan emisi non-CO₂ dari biomas yang dibakar pada aktivitas pertanian) dan sub sektor peternakan (emisi CH₄ dari fermentasi enteric ternak serta emisi CH₄ dan N₂O dari pengelolaan kotoran ternak). Berikut ini adalah tren emisi GRK dari sektor pertanian pada tahun 2016-2020:



Gambar 3. 6 Grafik Emisi GRK Sektor Pertanian

Sumber: Aplikasi SIGN-SMART, 2021

Berdasarkan Gambar 3.6 diketahui bahwa tingkat emisi tertinggi dari sektor pertanian terjadi pada tahun 2016, kemudian cenderung mengalami penurunan hingga tahun 2019, hal tersebut disebabkan karena ketersediaan data yang berbeda-beda setiap tahunnya, sehingga berpengaruh terhadap tingkat emisi dari tahun-tahun tersebut. Pada tahun 2016 produksi emisi yang dihasilkan dari sektor pertanian adalah sebesar 3,66 CO₂eq kemudian cenderung mengalami penurunan hingga tahun 2019 menjadi 2.60 CO₂eq. Pada tahun 2020, emisi yang dihasilkan oleh sektor pertanian mengalami peningkatan dari tahun 2019 menjadi **2,94 CO₂eq**, kenaikan tersebut dikarenakan meningkatnya luas panen hortikultura dan tanaman pangan, meningkatnya populasi hewan ternak serta meningkatnya penggunaan pupuk.



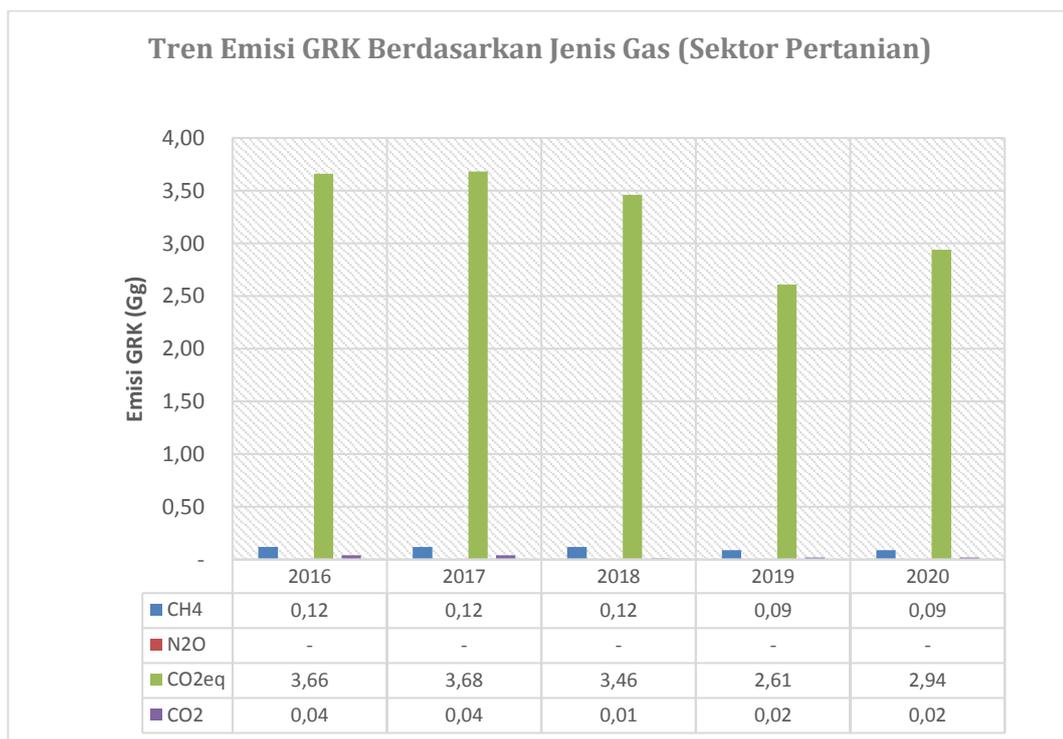
Gambar 3. 7 Presentase Emisi GRK Sektor Pertanian berdasarkan Sub Sektor

Berdasarkan kategori per sub sektor, pada tahun 2020 kontribusi terbesar terhadap produksi emisi GRK dari sektor pertanian adalah berasal dari agregat pertanian, budidaya padi (*rice cultivation*) yaitu mencapai 50% atau sebesar **1,46 Gg CO₂e** dari keseluruhan emisi yang berjumlah **2,94 Gg CO₂e**. Kemudian sub sektor lahan memiliki kontribusi sebesar 20% dari emisi N₂O yang dilepaskan secara langsung dari tanah (*direct N₂O manage soils*), dilanjutkan dengan sub sektor peternakan (*enteric fermentation*) sebesar 12%.

Sedangkan untuk sektor lainnya hanya memiliki kontribusi yang cukup kecil misalnya dari sektor pupuk dan tanaman pangan. Namun untuk sektor perkebunan tidak memiliki kontribusi terhadap emisi GRK di Kota Magelang, karena aktifitas perkebunan kakao, karet, sawit dan gambut tidak terdapat di Kota Magelang. Sedangkan untuk kegiatan pemakaian kapur pada pertanian (*liming*) tidak tercatat atau dilaporkan, hal tersebut disebabkan kondisi tanah yang tidak asam sehingga tidak direkomendasikan untuk pemakaian kapur. Jika pun ada, besaran pemakaian kapur tidak signifikan sehingga dapat diabaikan.

Oleh karena itu, kegiatan pemakaian kapur dikategorikan tidak ada (*Not Applicable*).

Selain perhitungan tren emisi sektor pertanian diatas, perhitungan juga dilakukan pada masing-masing jenis emisi gas rumah kaca (GRK). Sehingga berdasarkan Gambar 3.7 diketahui bahwa pada tahun 2016-2020 jenis emisi CH₄ (metan) memiliki jumlah emisi yang tertinggi dibandingkan CO₂ (karbon dioksida) dan N₂O (dinitrogen oksida). Emisi CH₄ yang berasal dari sektor pertanian dapat ditimbulkan dari penggunaan biomassa (jerami) yang dibenamkan, kompos dan kotoran ternak. Emisi gas CH₄ timbul dari materi organik yang terurai secara anaerobik karena genangan selama masa tanam. Sedangkan emisi CH₄ yang berasal dari sektor peternakan dapat bersumber dari kegiatan fermentasi enterik dan pengelolaan kotoran ternak.



Gambar 3. 8 Tren Emisi GRK Sektor Pertanian Berdasarkan Jenis Gas

Sumber: Aplikasi SIGN-SMART, 2021

3.5. Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

Sektor kehutanan merupakan salah satu sektor utama yang perlu dipertimbangkan dalam mengembangkan inventarisasi gas rumah kaca, karena perannya dalam siklus karbon. Sebagian besar dari pertukaran karbon antara atmosfer dan biosfer terestrial terjadi di hutan. Status dan pengelolaan hutan menentukan apakah biosfer terestrial menyerap atau mengemisi karbon.

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. 5 Kelas Penutupan 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 diatas batu kapur, hutan di atas batuan ultra basa, hutan daun jarum, hutan luruh daun dan hutan lumut.
2	Hutan lahan kering 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

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	Sluruh 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 enampakkan bekas penebangan termasuk hutan sagu dan hutan rawa bekas terbakar. Bekas tebangan parah jika tidak memperlihatkan tanda genangan (luoutan air) digolongkan tanah terbuka. Sedangkan jika emperlihatkan bekas tebangan atau tergenang digolongkan tubuh air (rawa)
5	Hutan mangrove primer	Hmp/2004	Hutan bakau, nipah dan nibung yang berasa di sekitar pantai yang belum menampakkan bekass penebangan. Pada beeberapa lokasi huta mangrove berasa lebih kepedalaman.
6	Hutan mangrove sekunder/bekas tebangan	Hms/ 20041	Hutan bakau, nipah dan nibung yang berasa 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 tambah/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 didalamnya adalah tanah terbuka dan atau semak belukar maka didelineasi sesuai dengan kondisi tersebut dan

No	Kelas	Kode	Keterangan
			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. Catatan: Lokasi perkebunan/kebun yang didalamnya 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/mangrove 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 (rumputrawa).
12	Pertanian lahan kering	Ph / 20091	Semua aktivitas pertanian di lahan kering seperti tegalan, kebun campuran dan ladang
13	Pertanian lahan kering campuran semak / kebun campuran	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

No	Kelas	Kode	Keterangan
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, industry 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 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-land clearing 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 tailing ground

No	Kelas	Kode	Keterangan
			(penimbunan limbah penambangan). Lahan pertambangan tertutup skala kecil atau yang tidak teridentifikasi dikelaskan menurut kenampakan permukaannya
20	Tubuh air	A / 5001	Semua kenampakan perairan, termasuk laut, sungai, danau, waduk, terumbu karang, padang lamundll. 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 diantaranya 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 2020:

Tabel 3. 6
Luasan Tutupan Lahan di Kota Magelang Tahun 2020

No.	Kelas	2020
1	Hutan lahan kering primer (Hp)	
2	Hutan lahan kering sekunder/bekas tebangan (Hs)	

No.	Kelas	2020
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)	67,92
8	Perkebunan/Kebun (Pk)	
9	Semak belukar (B)	
10	Semak belukar rawa (Br)	
11	Savana/padang rumput (S)	
12	Pertanian lahan kering (Ph)	
13	Pertanian lahan kering campur semak / kebun campur (Pc)	136,98
14	Sawah (Sw)	317,71
15	Tambak (Tm)	
16	Pemukiman / Lahan tebangan (Pm)	1328,11
17	Transmigrasi (Tr)	
18	Lahan Terbuka (T)	
19	Pertambangan (Tb)	
20	Tubuh air (A)	3,96
21	Rawa (Rw)	
22	Awan (Aw)	
23	Bandara / Pelabuhan (Bdr/Plb)	

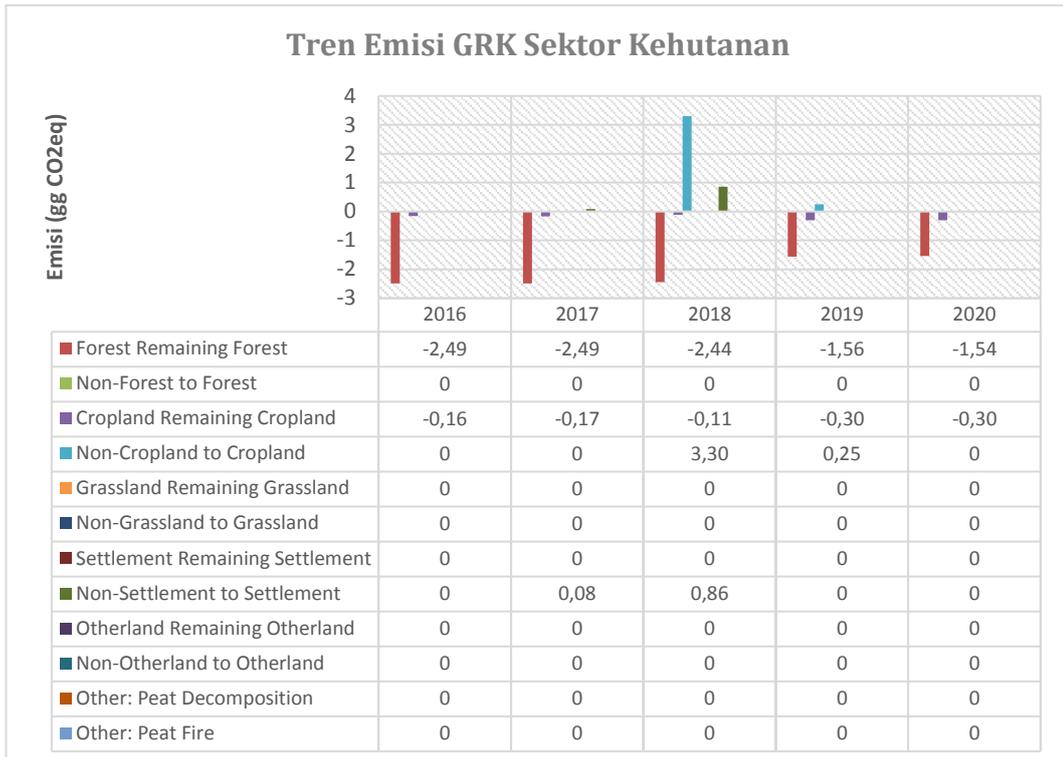
Sumber: Diolah dari data BPKH Wilayah XI Yogyakarta, 2021

Tabel 3.6 merupakan rincian luasan tutupan lahan yang ada di Kota Magelang. Luasan dari kelas-kelas tersebut menjadi faktor penentu dalam menghitung jumlah produksi emisi gas rumah kaca (GRK) dari sektor kehutanan. Berikut ini adalah perhitungan emisi/serapan CO₂ gas rumah kaca pada sektor kehutanan di Kota Magelang pada tahun 2020 :

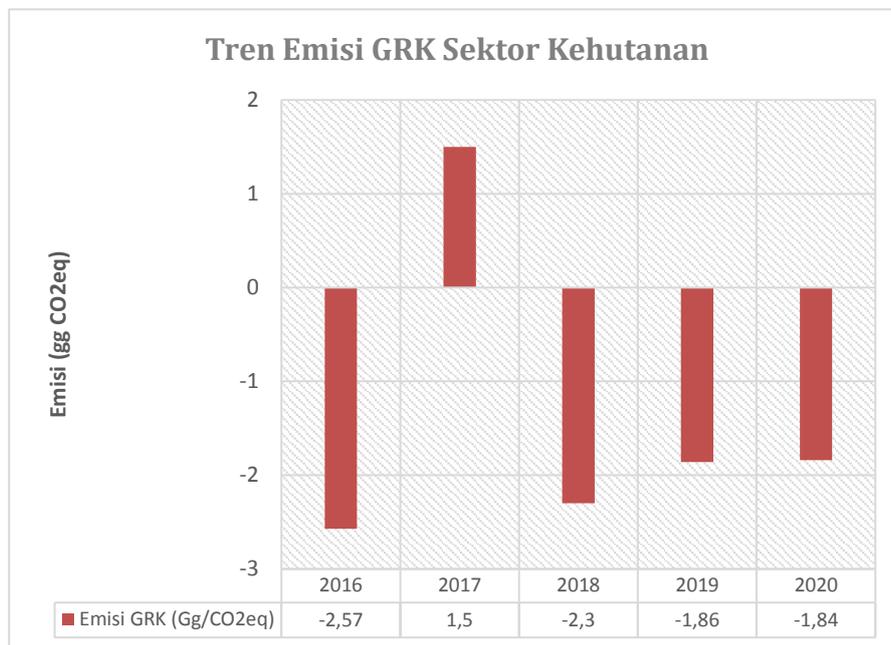
Tabel 3. 7
Kalkulasi Emisi GRK Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya
Tahun 2020

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	-1,54			-1,54
3B1b. Non-Forest to Forest	0			0
3B2a. Cropland Remaining Cropland	0			0
3B2b. Non-Cropland to Cropland	-0,30			-0,30
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
Other: Peat Decomposition	0			0
Other: Peat Fire	0			0
Wetland - Rewetting CO ₂	0			0
Wetland - Woody Perennial Biomass	0			0
Wetland - Wood Removals	0			0
Wetland - Fuelwood Removals	0			0
Wetland - Disturbance	0			0
Wetland - AGB, Extraction Activities	0			0
Wetland - DOM, Extraction Activities	0			0
Wetland - SOC, Extraction Activities	0			0
Wetland - Rewetting, Revegetation, and Creation	0			0
Wetland - Drainage from Coastal Wetlands	0			0
TOTAL	-1,84			-1,84

Sumber: Hasil kalkulasi aplikasi SIGN-SMART, 2020



Gambar 3. 9 Grafik Emisi GRK Sektor Kehutanan dan Penggunaan lahan Lainnya



Gambar 3. 10 Tren Emisi GRK Sektor Kehutanan

Berdasarkan Gambar 3.10 dapat diketahui bahwa pada tahun 2020 jumlah emisi dari sektor kehutanan adalah sebesar **-1,84 Gg CO2eq**, angka tersebut menunjukkan penyerapan emisi GRK dari sektor

kehutanan. Hingga tahun 2020 tidak ada perubahan lahan yang cukup signifikan di Kota Magelang, sehingga tidak terjadi perubahan emisi dan serapan karbon yang signifikan.

3.6. Sektor Limbah

Pada sektor pengelolaan limbah, jumlah emisi GRK didekati melalui angka jumlah penduduk, jumlah timbulan sampah, laju timbulan per tahunnya, serta dari distribusi sampah baik yang terangkut ke TPA, dibuang ke sungai, dibuat kompos, dan di daur ulang, serta sistem pembuangan air limbah domestik. Tinja atau kotoran manusia yang ditampung dalam tangki septik akan mengalami pengendapan dan dapat diuraikan oleh mikroorganisme/ bakteri yang ada dalam tangki septik secara lambat laun tinja akan mengalami penguraian dan berbentuk lumpur yang disebut juga sebagai lumpur tinja. Sampah dimana kita ketahui dihasilkan oleh setiap individu dan kecenderungannya semakin meningkat. Dari sampah yang dihasilkan dari aktifitas domestik tersebut selanjutnya akan dibuang pada tempat pemrosesan akhir atau TPA. Kota Magelang mempunyai sebuah TPA yang bertempat di Kabupaten Magelang, tepatnya di Desa Banyuurip, Kecamatan Tegalrejo.

Faktor yang mempengaruhi besarnya emisi atau produksi gas metana adalah:

1. Jumlah sampah; semakin banyak sampah yang masuk ke TPA maka potensi gas rumah kacanya semakin besar.
2. Komposisi jenis sampah; semakin banyak sampah organik atau sampah yang mudah membusuk maka potensi gas rumah kacanya semakin besar pula.
3. Tipe atau sistem yang digunakan untuk memproses sampah di TPA; semakin tertutup atau semakin besar proses *anaerob* nya maka akan semakin besar pula potensi gas rumah kacanya.
4. Pemanfaatan biogas yang kecil akan mengakibatkan biogas yang terjadi akibat proses dekomposisi bahan organik akan terlepas ke

udara bebas yang akan mengakibatkan semakin besar gas rumah kaca

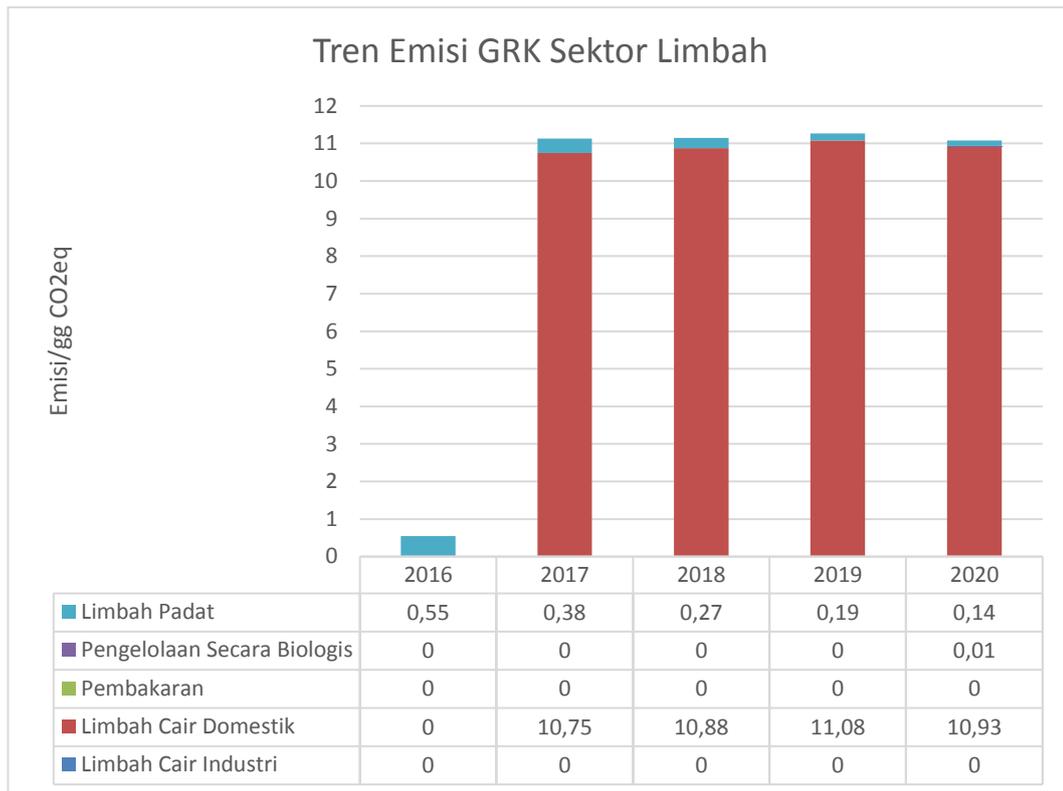
Dalam IPCC guideline 2006, sumber utama emisi GRK dari sektor limbah adalah kegiatan pengelolaannya. Sumber ini diklasifikasikan kedalam 4 kategori yaitu: (a) Pengelolaan limbah padat domestik (sampah) di TPA/landfill, pengelolaan biologi atau komposting, pembakaran terbuka (open burning) dan insinerasi, (b) pengelolaan limbah cair domestik (baik pengelolaan terpusat di IPAL maupun pengelolaan dengan septic tank, cubluk, dan lainnya), (c) pengelolaan limbah cair industri dan (d) pengelolaan sampah industri.

Kalkulasi dan grafik emisi GRK sektor Pengelolaan Limbah untuk tahun 2014 hingga tahun 2019 dapat dilihat pada tabel dan gambar grafik dibawah ini.

Tabel 3. 8
Kalkulasi Emisi GRK Sektor Pengelolaan Limbah Tahun 2020

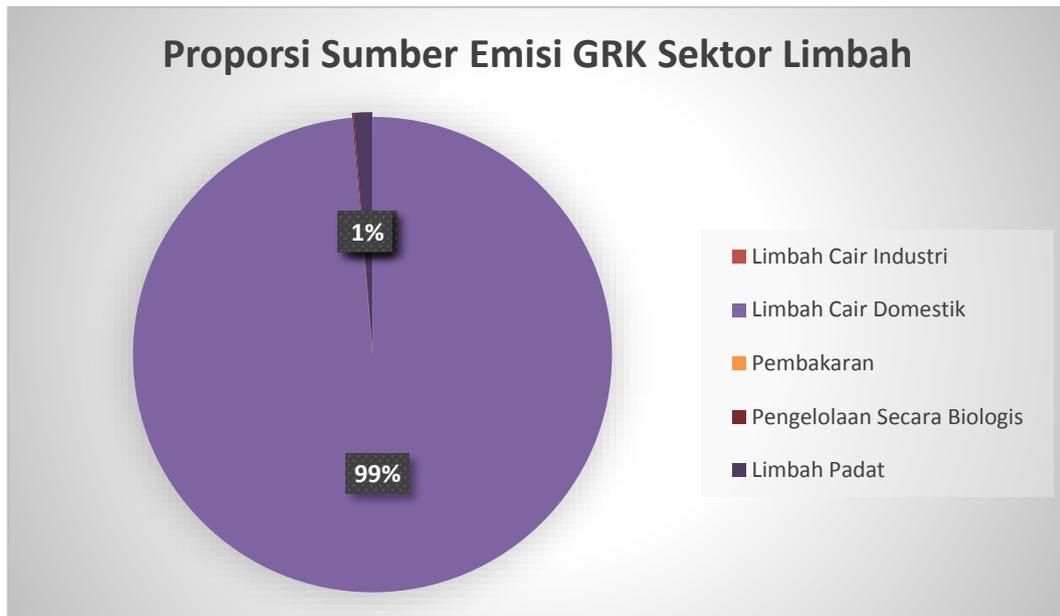
Kategori		CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ Eq (Gg)
4A. Pembuangan Akhir Sampah Padat			0,01		0,14
4B. Pengolahan Limbah Padat secara Biologi			0		0,01
4C. Pembakaran Sampah melalui Insinerator dan Pembakaran Sampah secara Terbuka		0	0	0	0
4D. Pengolahan dan Pembuangan Air Limbah					
	4D1. Pengolahan dan Pembuangan Air Limbah Rumah Tangga		0,52	0	10,93
	4D2. Pengolahan dan Pembuangan Air Limbah Industri		0		0
TOTAL		0	0,53	0	11,09

Sumber: Hasil kalkulasi aplikasi SIGN-SMART, 2021



Gambar 3. 11 Grafik Emisi GRK Sektor Pengelolaan Limbah

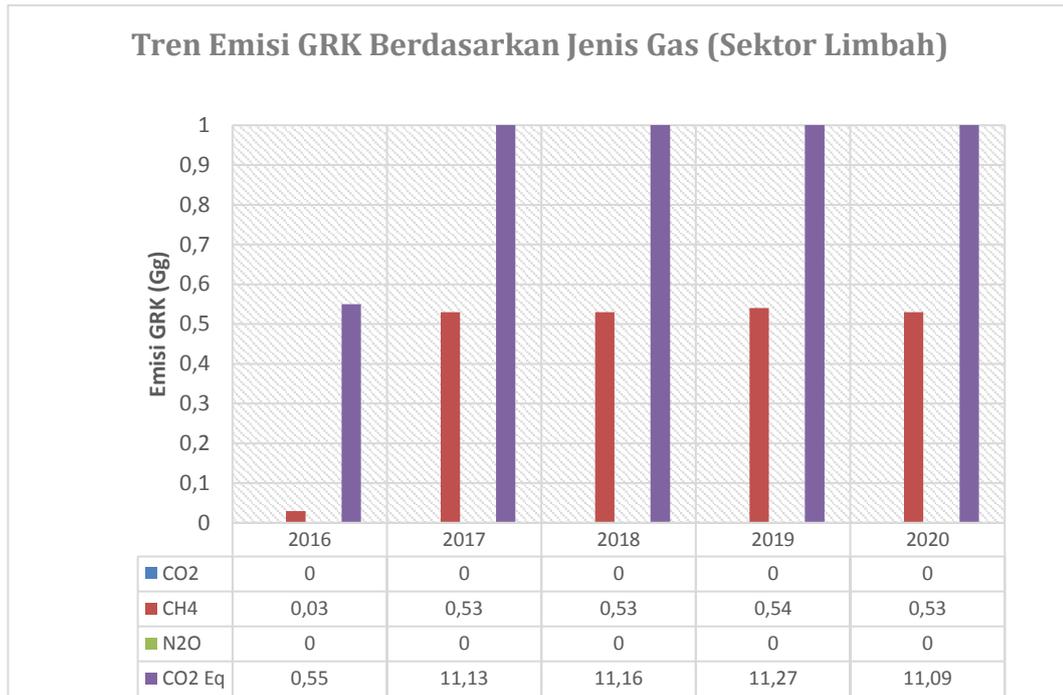
Berdasarkan Gambar 3.11 dapat diketahui bahwa tingkat emisi gas rumah kaca pada sektor limbah tahun 2016 adalah sebesar **0,55 Gg CO₂eq**. Kemudian cenderung mengalami peningkatan yang cukup signifikan pada tahun 2017 hingga 2019. Pada tahun 2020 emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari sektor limbah, mengalami penurunan emisi menjadi sebesar **11,09 Gg CO₂eq**. Peningkatan yang terjadi pada tahun 2017-2019 tersebut dikarenakan adanya ketersediaan data dari sub sektor limbah cair domestik, hal tersebut seiring dengan pertumbuhan penduduk di Kota Magelang.



Gambar 3. 12 Presentase Emisi GRK Sektor Limbah Berdasarkan Sub Sektor

Berdasarkan kategori per sub sektor, pada tahun 2020 limbah cair domestik memiliki kontribusi terbesar dalam produksi emisi GRK yaitu sebesar 99%. Sementara sub sektor kedua lainnya yang memberikan emisi terbesar didapatkan dari limbah padat dengan kontribusi emisi sebesar 1%. Untuk kegiatan lainnya, seperti kegiatan pembakaran terbuka dan pengolahan secara biologi memberikan emisi yang sangat kecil karena kegiatan tersebut di Kota Magelang masih sangat kecil.

Selain perhitungan tren emisi sektor limbah diatas, perhitungan juga dilakukan pada masing-masing jenis emisi gas rumah kaca (GRK).



Gambar 3. 13 Tren Emisi GRK Sektor Limbah Berdasarkan Jenis Gas

Jenis emisi gas rumah kaca (GRK) dalam sektor limbah mencakup CH₄ (gas metana), N₂O (nitro oksida) dan CO₂ (karbon dioksida) apabila terjadi pada kondisi anaerobik. Berdasarkan Gambar 3.13 emisi CH₄ merupakan emisi tertinggi disetiap tahunnya. Emisi CH₄ (metana) dapat berasal dari proses penguraian anaerobik limbah padat, limbah cair perkotaan. CH₄ juga diemisikan dari *collected untreated wastewater* limbah cair kota yang mencakup air limbah yang terkumpul ataupun tidak diolah (dibuang kelaut, sungai, danau, saluran air kotor yang mampat), *treated wastewater* limbah cair kota dan fasilitas pengolahan air limbah industry.

Komposisi sampah juga akan mempengaruhi besaran emisi CH₄, dimana semakin besar jumlah fraksi yang mudah terdegradasi maka peluang pembentukan CH₄ semakin besar. Selain komposisi sampah, metode pembuangan sampah juga akan mempengaruhi jumlah emisi yang dikeluarkan karena terkait dengan udara luar yaitu oksigen.

Pembakaran sampah merupakan salah satu kegiatan yang dapat mempunyai peranan besar dalam pencemaran udara. Dalam proses pembakaran sempurna (tinggi) emisi yang dihasilkan adalah emisi CO₂ sedangkan dalam pembakaran tidak sempurna emisi yang dihasilkan berupa CO₂, CH₄ dan N₂O. Emisi pencemaran udara oleh pembakaran sampah adalah emisi partikulat, sedangkan emisi dari proses dekomposisi yang perlu diperhatikan adalah emisi HC dalam bentuk gas metane.

Pengomposan merupakan proses aerobik yang mana salah satu alternatif dalam pengelolaan sampah untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Namun, pengelolaan sampah organik dengan cara pembusukan akan menyebabkan pelepasan gas metan ke atmosfer. Untuk itu perlu adanya inovasi terbaru dalam pengelolaan sampah organik sehingga dapat mengurangi segala dampak negative yang ditimbulkan.

Selain sampah, sumber utama gas metan adalah berasal dari limbah cair. Limbah cair seperti dari limbah domestik maupun industri bila dalam kondisi anaerob atau sengaja diolah secara anaerob dapat menjadi sumber emisi GRK yaitu CH₄, N₂O maupun CO₂ hanya saja CO₂ tidak diperhitungkan karena dianggap biogenic. Limbah cair beserta lumpur yang dihasilkan dapat menghasilkan CH₄ jika terdegradasi secara anaerob. Banyaknya emisi CH₄ yang dihasilkan sangat tergantung oleh kuantitas materi organik dalam limbah, temperatur dan jenis pengolahan.

Emisi CH₄ di sub sektor limbah cair dalam 2006 IPCC Guidelines berasal dari sungai, danau, estuari atau saluran limbah yang stagnan (tidak mengalir). Selain itu emisi CH₄ dapat juga berasal dari instalasi Pengolah Air Limbah (IPAL) baik berupa reactor atau kolam dan septic tank atau cubluk dari rumah penduduk. Berikut data sarana pembuangan air limbah domestik:

Tabel 3. 9
Sarana Pembuangan Air Limbah Domestik

Kategori (%)	Tahun				
	2016	2017	2018	2019	2020
Tangki Septik – Desa	-	-	-	-	-
Tangki Septik Kota	-	85,22	85,38	85,38	85,38
Cubluk - Desa	-	-	-	-	-
Cubluk - Kota	-	-	-	-	-
IPAL Terpusat - Desa	-	-	-	-	-
IPAL Terpusat - Kota	-	6,77	9,36	11,80	12,42
Sungai - Desa	-	-	-	-	-
Sungai - Kota	-	8,01	5,62	2,82	2,20

Sumber : Dinas Perumahan dan Kawasan Permukiman Kota Magelang, 2021

BAB IV

ANALISIS KETIDAKPASTIAN DAN KATEGORI KUNCI

4.1 Analisis Ketidakpastian

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup (2012), untuk menghasilkan inventarisasi Gas Rumah Kaca yang berkualitas dan siap untuk diverifikasi, lima prinsip dasar yang harus dipenuhi ialah prinsip transparansi (*Transparency*), akurasi (*Accuracy*), konsistensi (*Consistency*), komparabel atau dapat diperbandingkan (*Comparability*), dan kelengkapan (*Completeness*) atau sering disingkat dengan TACCC. Untuk dapat memenuhi prinsip-prinsip ini, maka dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK hal yang harus dilaksanakan ialah:

a. *Transparansi (Transparency)*

Semua dokumen dan sumber data yang digunakan dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK harus disimpan dan didokumentasikan dengan baik sehingga orang lain yang tidak terlibat dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK dapat memahami bagaimana inventori tersebut disusun. Dalam hal ini metodologi, sumber data, faktor emisi, asumsi yang digunakan untuk menduga data aktivitas tertentu dari data lain yang tersedia dan referensi yang digunakan dalam penyusunan inventarisasi GRK harus dicatat sehingga bisa disampaikan secara transparan.

b. *Akurasi (Accuracy)*

Dalam menduga emisi atau serapan GRK harus diupayakan sedapat mungkin tidak menghasilkan dugaan emisi yang terlalu tinggi (*over estimate*) atau terlalu rendah (*under estimate*). Jadi segala upaya untuk mengurangi bias perlu dilakukan sehingga inventori GRK yang dihasilkan benar merefleksikan emisi yang sebenarnya dan

tingkat kesalahannya kecil. Segala upaya yang dilakukan untuk meningkatkan ketepatan dugaan emisi dan serapan GRK juga harus dicatat dan didokumentasikan dengan baik untuk memenuhi prinsip transparansi.

c. Komparabel (*Comparability*)

Inventarisasi GRK harus dilaporkan sedemikian rupa sehingga dapat diperbandingkan dengan inventarisasi GRK dari daerah lain atau dengan negara lain. Untuk tujuan ini, inventarisasi GRK harus dilaporkan dengan mengikuti format yang telah disepakati.

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.73/MENLHK/SETJEN/KUM.1/12/2017, analisis ketidakpastian adalah penilaian seberapa besar kesalahan hasil dugaan emisi/serapan (tingkat *uncertainty*). Analisis ketidakpastian merupakan analisis yang dilakukan untuk menyatakan tingkat ketidakpastian dari pengukuran dan/atau perhitungan emisi/serapan yang telah diperoleh berdasarkan tingkat keakurasian data aktivitas dan faktor emisi yang digunakan serta analisis konsistensi.

Dalam penghitungan 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.

Ketidakpastian dalam menghitung emisi GRK disebabkan beberapa hal diantaranya:

- a. Ketidakpastian fisik, berkaitan dengan kuantitas fenomena acak, seperti ketidakpastian pada volume konsumsi bahan bakar.
- b. Ketidakpastian dalam pengukuran, berhubungan dengan ketidaksempurnaan alat pengukuran dan pengambilan

- data/sampling, seperti NCV, kandungan karbon, dan densitas bahan bakar.
- c. Ketidakpastian statistik, berkaitan dengan terbatasnya informasi atau data pengamatan, seperti nilai kalor, kandungan karbon, dan densitas bahan bakar diketahui hanya ketika ada pengiriman bahan bakar.
 - d. Ketidakpastian model, berkaitan dengan asumsi penggunaan model penghitungan emisi GRK untuk memperkirakan nilai emisi GRK.

4.2 Kategori Kunci

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.73/MENLHK/SETJEN/KUM.1/12/2017, kategori kunci adalah sumber/rosot yang menjadi prioritas dalam sistem inventarisasi GRK karena sumbangan yang besar terhadap total inventarisasi baik dari nilai mutrak, trek dan tingkat ketidakpastian. Tahapan analisis kategori kunci harus dilakukan untuk mengidentifikasi sumber/serapan yang perlu mendapat prioritas dalam pelaksanaan program perbaikan kualitas data aktifitas maupun faktor emisi, perlu menggunakan metode dengan tingkat ketelitian (tier) yang lebih tinggi, dan perlu menjadi perhatian utama dalam sistem penjamin dan pengendalian mutu data.

Pendekatan untuk melakukan analisis kategori kunci adalah :

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

b. Berdasarkan nilai uncertainty

Untuk inventarisasi GRK, IPCC menentukan kategori kuncinya sendiri yang 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, terkait dengan emisi akibat aktivitas pertanian dan ikutannya (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.

BAB V

PENGENDALIAN DAN PENJAMINAN MUTU

Berdasarkan Peraturan Presiden No. 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi GRK Nasional, terdapat beberapa hal yang perlu dipahami dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK, salah satunya adalah sistem Penjaminan dan Pengendalian mutu atau *quality assurance* (QA)/ *quality control* (QC). Pengembangan sistem penjaminan dan pengendalian mutu data tidak hanya bermanfaat untuk menghasilkan Inventarisasi GRK yang berkualitas, tetapi juga secara langsung akan menghasilkan data dan informasi pelaksanaan pembangunan yang lebih akurat dan dapat diandalkan. Di daerah, pengendalian mutu terutama difokuskan dalam memelihara kualitas data dan informasi agar :

- a. Tidak dipengaruhi oleh kepentingan tertentu seperti penilaian untuk penghargaan atau anugerah;
- b. Tidak mencari metode pendugaan yang mudah tetapi mengabaikan logika pendugaan.

Dengan pertimbangan tersebut diharapkan data kegiatan mencirikan kondisi yang sebenarnya (faktual). Untuk menjamin akurasi dan kualitas inventarisasi GRK di masa yang akan datang, dilakukan Pengendalian Mutu (QC) merupakan suatu sistem pelaksanaan kegiatan rutin yang ditujukan untuk menilai dan memelihara kualitas dari data dan informasi yang dikumpulkan. Dilakukan pula Penjaminan Mutu (QA) yakni suatu sistem yang dikembangkan untuk melakukan review yang dilaksanakan oleh seseorang yang secara langsung tidak terlibat dalam penyelenggaraan independen. Proses review dilakukan setelah inventarisasi GRK selesai dilaksanakan dan sudah melewati proses pengendalian mutu (QC). Kegiatan review akan melakukan verifikasi bahwa penyelenggaraan inventarisasi GRK sudah mengikuti prosedur dan standar yang berlaku dan menggunakan

metode terbaik sesuai dengan perkembangan pengetahuan terkini dan ketersediaan data dan didukung oleh program pengendalian mutu (QC) yang efektif. Prosedur pengendalian dan penjaminan mutu dilakukan melalui prosedur-prosedur sebagai berikut :

Tabel 5. 1
Prosedur Pengendalian dan Penjaminan Mutu Inventarisi GRK
Kota Magelang

No	Kegiatan	Prosedur
PENGENDALIAN MUTU		
1.	Pendokumentasian Data Kegiatan	<ul style="list-style-type: none"> - 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	<ul style="list-style-type: none"> - Cek apakah data hanya ada dalam tahun tunggal atau sudah jamak - Jika hanya tahun tunggal, buat pendugaan tahun-tahun sebelumnya - Cek apakah satuan sudah selesai dengan standar - Cantumkan sumber data untuk konfirmasi
3.	Penggunaan asumsi untuk pendugaan	<ul style="list-style-type: none"> - Jika terdapat data yang tidak wajar atau data tidak tersedia, buat pendugaan - Pendugaan dibuat dengan asumsi-asumsi

No	Kegiatan	Prosedur
		<ul style="list-style-type: none"> - Cek apakah asumsi dibuat logis dan menggunakan analogi/prediktor yang tepat - Cek apakah asumsi-asumsi yang dibuat konsisten sepanjang data berseri atau antardaerah - Jika menggunakan data prediktor, cek apakah data prediktor tersebut relevan dan wajar - Cek apakah data prediktor berasal dari sumber yang jelas - Cek apakah data prediktor menggunakan satuan yang sesuai - Jika semua sudah dilakukan, masukkan data pendugaan ke dalam Format Pelaporan Umum
4.	Pengecekan Satuan dan Konversi	<ul style="list-style-type: none"> - 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 - Cek faktor penyesuaian baik temporal maupun spatial sudah digunakan dengan benar
5.	Pengecekan Kepakaran	<ul style="list-style-type: none"> - 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

No	Kegiatan	Prosedur
6.	Pengecekan Kelengkapan	<ul style="list-style-type: none"> - 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
PENJAMINAN MUTU		
1.	Pengecekan Kepakaran Verifikator / Evaluator	<ul style="list-style-type: none"> - Cek apakah pakar sesuai dengan kriteria kepakaran - Cek apakah evaluator bertindak sesuai dengan prosedur
2.	Dokumentasi Hasil Evaluasi	<ul style="list-style-type: none"> - 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 evaluator/auditor - Pastikan dua pihak (evaluator/auditor dan tim penyusun) menyetujui rekomendasi yang dibuat evaluator

Sumber : *Pedoman Inventarisasi GRK, 2012*

BAB VI

RENCANA PERBAIKAN PENYELENGGARAAN INVENTARISASI

Dari proses inventarisasi GRK yang telah dilakukan, telah diidentifikasi beberapa kelemahan, terutama menyangkut kualitas data kegiatan. Data kegiatan pada sektor-sektor energi, IPPU, pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan lainnya serta pengelolaan limbah tidak tercatat dengan baik. Tabel 6.1 berikut ini menjelaskan beberapa kelemahan sumber data saat ini dan potensi perbaikan inventarisasi GRK yang akan datang. Di sisi perhitungan, faktor emisi dapat dilakukan apabila terdapat pembaruan faktor emisi sesuai dengan kondisi lokal.

Tabel 6. 1
Rencana Perbaikan Inventarisasi GRK Kota Magelang

No.	Sektor	Kondisi Saat Ini	Rencana Perbaikan
1.	Pengadaan & Penggunaan Energi	<ul style="list-style-type: none"> • Kategori 1A-2 yang merupakan bahan bakar industri manufaktur dan konstruksi masih dalam satuan ikat, rit dan bagor. • Pada kategori 1A-4b Rumah Tangga, terdapat lonjakan data yang cukup signifikan, setelah dilakukan konfirmasi kepada Bagian Perekonomian Setda 	<ul style="list-style-type: none"> • Diperlukan inventarisasi penggunaan bahan bakar pada industri manufaktur dan konstruksi secara menyeluruh dengan satuan SI (dalam kg atau ton) • Perlu pendataan dan koordinasi yang lebih baik dengan Bagian Perekonomian Setda

No.	Sektor	Kondisi Saat Ini	Rencana Perbaikan
		Kota Magelang, ada kekeliruan dari perhitungan jumlah bahan bakar yang digunakan pada sektor transportasi.	Kota Magelang dan SPBU di Kota Magelang.
2.	Proses Industri & Penggunaan Produk	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak ada emisi GRK yang dihasilkan dari sektor produksi industri & penggunaan produk 	
3.	Pertanian, Kehutanan & Penggunaan Lahan Lainnya	<ul style="list-style-type: none"> • Pada kategori 3A yang merupakan populasi ternak masih ada beberapa populasi ternak yang harus dilengkapi • Untuk kategori 3C terkait dengan penggunaan pupuk dan data luasan panen juga masih ada data yang harus dilengkapi. • Data luasan panen hortikultura masih dalam satuan pohon. 	<ul style="list-style-type: none"> • Perlu inventarisasi data yang lebih baik lagi dengan Dinas Pertanian dan Pangan Kota Magelang terkait data populasi ternak, penggunaan pupuk, dan penyesuaian satuan pada data luasan panen hortikultura.
4.	Pengelolaan Limbah	<ul style="list-style-type: none"> • Data sampah yang dibakar, dikompos dan dibuang sembarangan didekati melalui pendugaan yang sangat dipengaruhi oleh 	<ul style="list-style-type: none"> • Perlu dilakukan sampling tentang sistem pembuangan di masyarakat. Sistem yang diidentifikasi menyangkut % kompos, dibakar dan

No.	Sektor	Kondisi Saat Ini	Rencana Perbaikan
		kepentingan dan asumsi tidak terdokumentasikan <ul style="list-style-type: none">• Data terkait dengan komposisi dan kandungan sampah masih belum lengkap karena hanya tersedia pada tahun 2015 saja.	dibuang sembarangan. Apabila memungkinkan kegiatan pengoposan dicatat oleh pemerintah. <ul style="list-style-type: none">• Inventarisasi data terkait dengan komposisi dan kandungan sampah.

BAB VII

PENUTUP

Inventarisasi Emisi GRK Kota Magelang merupakan upaya Pemerintah Kota Magelang untuk menghitung sumber-sumber emisi GRK di Kota Magelang. Penyusunan ini sejalan dengan Peraturan Presiden No. 71 Tahun 2011 tentang Inventarisasi Emisi GRK Nasional, yang mengatur kewajiban pemerintah daerah untuk menyusun inventarisasi emisi GRK setiap tahun dan dilaporkan kepada gubernur. Inventarisasi GRK merupakan kegiatan untuk memperoleh data dan informasi mengenai tingkat, status, dan kecenderungan perubahan emisi GRK secara berkala dari berbagai sumber emisi (*source*) dan penyerapnya (*sink*) termasuk simpanan karbon (*carbon stock*). Dengan mengetahui informasi tersebut maka Pemerintah Kota Magelang dapat mengelola emisi GRK dengan baik, melakukan mitigasi emisi dengan terencana dan mendukung upaya pengelolaan emisi GRK nasional.

7.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil perhitungan melalui aplikasi SIGN-SMART, emisi Gas Rumah Kaca di Kota Magelang pada tahun 2020 sebesar **22.264,54** Gg CO₂ eq.
2. Pada tahun 2020, sektor energi berkontribusi hingga 99,95%, sektor pertanian berkontribusi sebesar 0,01%, sektor kehutanan berkontribusi sebesar -0,01%, sektor limbah berkontribusi sebesar 0,05% serta sektor IPPU berkontribusi sebesar 0% atau tidak memberikan kontribusi terhadap emisi GRK Kota Magelang.
3. Emisi Gas Rumah Kaca di Kota Magelang dari sektor energi didominasi oleh kategori 1A. Kegiatan Pembakaran Bahan Bakar (*Fuel Combustion Activities*) yaitu bahan bakar untuk rumah

tangga (*residential*), transportasi (*transport*), dan produksi listrik (*electricity and heat production*).

4. Berdasarkan jenis gas, jumlah dan komposisi emisi GRK di Kota Magelang pada tahun 2020 didominasi oleh CO₂ mencapai lebih dari 99%, sedangkan gas CH₄ serta N₂O memiliki kontribusi yang sangat kecil kurang dari 1%.

7.2 Rekomendasi

Dari temuan-temuan yang diperoleh dalam inventarisasi emisi ini, direkomendasikan hal-hal sebagai berikut :

1. Meningkatkan ketersediaan dan kualitas data untuk perbaikan pendugaan emisi GRK. Tim inventarisasi GRK Kota Magelang serta dinas-dinas terkait lainnya perlu lebih mengoptimalkan kerjasama dalam pengumpulan data yang dibutuhkan.
2. Melakukan sosialisasi kepada pemangku kepentingan pembangunan di Kota Magelang khususnya yang memiliki kontribusi dan peran menghasilkan maupun menurunkan emisi GRK.
3. Melakukan pengendalian emisi pada kategori kunci, direkomendasikan beberapa upaya pengendalian sebagai berikut.

Tabel 7. 1

Rekomendasi Upaya Pengendalian per Kategori

No	Kategori	Tujuan Utama Mitigasi	Upaya Pengendalian
1.	1A1a. Electricity and Heat Production	Mendorong efisiensi energi / konservasi energi peralatan listrik	<ul style="list-style-type: none"> • Efisiensi Energi
2.	1A2 – Manufacturing Industries and Construction	Mendorong industri untuk efisien menggunakan bahan bakar atau menggunakan bahan bakar ramah lingkungan	<ul style="list-style-type: none"> • Efisiensi Energi • Penerapan Produksi Bersih

No	Kategori	Tujuan Utama Mitigasi	Upaya Pengendalian
3.	1A3 - Transport	Mendorong penggunaan energi alternative yaitu energi baru dan terbarukan, meningkatkan kelancaran lalu lintas dan menyediakan sistem transportasi yang ramah lingkungan.	<ul style="list-style-type: none"> • Penggunaan angkutan umum • Penataan sistem angkutan umum • Penyelenggaraan <i>Car Free Day</i> • Penyelenggaraan kampanye dan jalur aman <i>bike to school</i> dan <i>bike to work</i>
4.	1A4b - Residential	Mendorong efisiensi penggunaan energi untuk seluruh aktivitas di Kota Magelang	<ul style="list-style-type: none"> • Mendorong penggunaan teknologi yang lebih hemat listrik pada aktivitas masyarakat, bisnis dan sosial (misalnya lampu LED yang hemat listrik) • Menggunakan bahan bakar alternatif (biogas dan panel surya)
5.	3A - Livestock	Pengurangan produksi gas khususnya metana dari limbah ternak	<ul style="list-style-type: none"> • Penggunaan teknologi Biogas • Pengolahan pupuk kandang
6.	3B – Foresst and Other Land Use	Meningkatnya kemampuan penyerapan pada tutupan lahan	<ul style="list-style-type: none"> • Pemantauan tutupan lahan secara reguler • Pengendalian perijinan alih fungsi lahan • Meningkatkan tutupan lahan melalui penanaman dan rehabilitasi hutan dan lahan seta pencegahan kerusakan hutan
7.	3C – Aggregate Source and Non-CO2 Emissions Source on Land	Mengurangi tingkat emisi GRK pada tiap aktivitas pertanian	<ul style="list-style-type: none"> • Budidaya padi rendah emisi • Penggunaan teknologi Biogas • Penerapan pupuk organik dan kompos
8.	4A – Pembuangan Akhir Sampah Padat	Meningkatkan sistem pengelolaan pada sampah yang dibuang baik di TPA maupun di lokasi lain	<ul style="list-style-type: none"> • Peningkatan sistem TPA • Pengenalan 3R • Pengoptimalan Bank Sampah

No	Kategori	Tujuan Utama Mitigasi	Upaya Pengendalian
			<ul style="list-style-type: none"> • Pengungkapan metan di TPA • Peningkatan pengelolaan TPST
9.	4B – Pengolahan Limbah Padat secara Biologi	Meningkatkan presentase jumlah sampah yang diolah secara biologi	<ul style="list-style-type: none"> • Pemilahan sampah • Penerapan sistem pengomposan yang sesuai dengan karakteristik wilayah (takakura, pengomposan langsung, komunal)
10.	4D – Pengolahan Limbah Cair	Menggunakan gas yang dihasilkan dan memperoleh nilai tambah	<ul style="list-style-type: none"> • Pembuatan IPAL • Penggunaan Biogas

DAFTAR PUSTAKA

- Kementerian Lingkungan Hidup, 2012. Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional, Buku I, Pedoman Umum.
- Kementerian Lingkungan Hidup, 2012. Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional, Buku II, Volume 1 Metodologi Perhitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca, Pengadaan dan Penggunaan Energi.
- Kementerian Lingkungan Hidup, 2012. Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional, Buku II, Volume 2 Metodologi Perhitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca, Proses Industri dan Penggunaan Produk.
- Kementerian Lingkungan Hidup, 2012. Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional, Buku II, Volume 3 Metodologi Perhitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca, Pertanian, Kehutanan, dan Penggunaan Lahan Lainnya.
- Kementerian Lingkungan Hidup, 2012. Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional, Buku II, Volume 4 Metodologi Perhitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca, Pengelolaan Limbah.
- Perpres No. 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi GRK Nasional.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. P.73/MENLHK/SETJEN/KUM.1/12/2017 tentang PEDOMAN PENYELENGGARAAN DAN PELAPORAN INVENTARISASI GAS RUMAH KACA NASIONAL
- SNI 7465:2010 tentang Klasifikasi Penutup Lahan

Disusun oleh :
Tim Penyusun Pendataan Kegiatan
Penghasil Gas Rumah Kaca Tahun 2021