



LAPORAN

INVENTARISASI GAS RUMAH KACA (GRK) DAN MONITORING, PELAPORAN, VERIFIKASI (MPV) TAHUN 2024

Volume 10, Desember 2024

ISSN : 2830-2923

KEMENTERIAN LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN
DIREKTORAT JENDERAL PENGENDALIAN PERUBAHAN IKLIM
DIREKTORAT INVENTARISASI GRK & MPV



www.ditjenppi.org

**KEMENTERIAN
LINGKUNGAN HIDUP
DAN
KEHUTANAN**



LAPORAN

INVENTARISASI GAS RUMAH KACA (GRK) DAN MONITORING, PELAPORAN, VERIFIKASI (MPV) TAHUN 2024



KEMENTERIAN LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN
DIREKTORAT JENDERAL PENGENDALIAN PERUBAHAN IKLIM
DIREKTORAT INVENTARISASI GRK DAN MPV



KEMENTERIAN
LINGKUNGAN HIDUP
DAN
KEHUTANAN

RINGKASAN EKSEKUTIF

Indonesia telah menunjukkan komitmen dalam penanganan perubahan iklim global melalui *Nationally Determined Contribution* (NDC) yang targetnya ditingkatkan secara berkala sesuai dengan mandat Persetujuan Paris (*Paris Agreement*). Tahun 2021, Indonesia menerbitkan *Updated* NDC dengan target Pengurangan emisi GRK sebesar 29% dengan kemampuan sendiri (*unconditional*) dan 41% dengan bantuan internasional (*conditional*). Target tersebut kemudian ditingkatkan pada tahun 2022 melalui dokumen *Enhanced* NDC dengan target Pengurangan emisi GRK sebesar 31,89% (*unconditional*) dan 43,20% (*conditional*). Target unconditional ini akan dicapai melalui Pengurangan emisi GRK pada sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya (17,4%), energi (12,5%), pertanian (0,3%), IPPU (0,2%), dan limbah (1,4%).

Salah satu upaya dalam pencapaian target NDC yang telah ditetapkan, Pemerintah Indonesia menerbitkan Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi GRK Dalam Pembangunan Nasional. Untuk menjalankan mandat dari Perpres tersebut, diterbitkan regulasi turunan berupa Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 12 Tahun 2024 tentang Penyelenggaraan Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dalam Penanganan Perubahan Iklim.

Sesuai dengan pasal 78 PermenLHK No. 12 Tahun 2024, pencapaian target NDC dilaksanakan dengan prinsip keterbukaan yang akuntabel terhadap pelaksanaan aksi perubahan iklim. Sejalan dengan hal tersebut, mandat Artikel 13 *Paris Agreement* menyebutkan bahwa pelaksanaan pencapaian aksi pengendalian perubahan iklim perlu dimonitor dan dilaporkan dengan menerapkan prinsip *transparency, accurate, completeness, consistence, comparability* (TACCC). Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) bersama dengan Kementerian/Lembaga terkait mewujudkan penyusunan laporan tahunan Inventarisasi GRK dan Monitoring Pelaporan dan Verifikasi (IGRK dan MPV).

Berdasarkan perhitungan inventarisasi GRK Nasional yang telah dilakukan, tingkat emisi GRK tahun 2023 pada sektor energi sebesar **752.279,84 Gg CO₂e (752,28 Juta ton CO₂e)**, Proses Industri dan Penggunaan Produk sebesar **59.854,23 Gg CO₂e (59,85 Juta ton CO₂e)**, Pertanian sebesar **104.979,45 Gg CO₂e (104,98 Juta ton CO₂e)**, Kehutanan dan penggunaan lahan lainnya sebesar **306.897,69 Gg CO₂e (306,90 Juta ton CO₂e)**, dan Limbah sebesar **136.335,38 Gg CO₂e (136,34 Juta ton CO₂e)**.

Mengacu pada Hasil perhitungan inventarisasi GRK nasional menunjukkan bahwa **Tingkat emisi aktual GRK di tahun 2023 adalah sebesar 1.360.346,59**

Gg CO₂e (1.360,35 Juta ton CO₂e). Hal ini menunjukkan adanya pengurangan emisi dari *baseline*/BAU NDC sebesar **793,73 Juta Ton CO₂e** atau **36,85%**. Total agregat emisi GRK menunjukkan adanya pengurangan dibandingkan tahun sebelumnya sehingga diperlukan upaya yang lebih intensif dalam menurunkan emisi GRK nasional.

Dari sisi pelaksanaan aksi mitigasi perubahan iklim, tahun 2023 menunjukkan jumlah capaian pengurangan emisi GRK yang sebesar **614.621.994 ton CO₂e (614,62 Juta ton CO₂e)**. Adapun pengurangan emisi GRK dari masing-masing kategori/sektor yaitu : (1) Energi sebesar **143.155.878 ton CO₂e**, (2) Proses Industri dan Penggunaan Produk sebesar **2.778.335 ton CO₂e** (3) Pertanian sebesar **14.533.000 ton CO₂e**, (4) Kehutanan dan penggunaan lahan lainnya sebesar **452.275.791 ton CO₂e**, dan (5) Limbah sebesar **1.878.990 ton CO₂e**.



**MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN
REPUBLIK INDONESIA**

SAMBUTAN



Dalam rangka implementasi komitmen terhadap upaya pengendalian perubahan iklim, Indonesia telah berpartisipasi secara aktif mengawal empat agenda penting dalam Konferensi Tingkat Tinggi Perubahan Iklim PBB (UNFCCC). Agenda tersebut meliputi *global stocktake*, peningkatan ambisi mitigasi perubahan iklim, program transisi berkeadilan, dan adaptasi perubahan iklim. Pada level nasional, bukti nyata perwujudan komitmen dituangkan dalam regulasi dan kebijakan serta program – program nasional.

Pemutakhiran dalam dokumen *Enhanced NDC*, kebijakan FOLU NET SINK 2030, LTS-LCCR 2060, serta berbagai perangkat pelaksanan kerangka transparansi, menunjukkan keseriusan Indonesia untuk menuju pencapaian target di tahun 2030. Dalam pelaksanaannya, sesuai dengan mandat artikel 13 *Paris Agreement*, maka pencapaian keberhasilan aksi pengendalian perubahan iklim dimonitor dan dilaporkan dengan menerapkan prinsip TACCC. Kerangka implementasi pemantauan pencapaian target ini merupakan sarana untuk mengontrol pertanggungjawaban setiap negara terhadap implementasi komitmen NDC serta memastikan komitmen *Paris Agreement* dapat diimplementasikan secara efektif (dikenal dengan *Enhanced Transparency Framework*). Dalam konteks nasional, kerangka transparansi ini diterjemahkan melalui Sistem MRV nasional, Sistem Registri Nasional (SRN), dan Sistem Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional (SIGN- SMART).

Keluaran dari interaksi ketiga sistem ini kemudian dituangkan dalam pelaporan Inventarisasi GRK dan MPV nasional yang dibuat secara berkala. Laporan ini memberikan informasi profil emisi (tingkat, status, dan kecenderungan), capaian aksi mitigasi yang terpantau/terdokumentasi, nilai pengurangan emisi GRK yang terverifikasi, serta pemantauan terhadap

pencapaian target NDC (*tracking progress NDC*). Pelaporan ini selanjutnya akan menjadi modalitas bagi pengambilan kebijakan serta bahan penyusunan laporan internasional (*Biennial Transparency Report (BTR)* dan *National Communication*).

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang tinggi disampaikan kepada semua pihak atas kontribusi dalam penyediaan data dan informasi hingga tersusunnya Laporan Inventarisasi GRK dan MPV Tahun 2024 ini. Dokumen ini diharapkan menjadi wujud nyata sarana pencapaian komitmen NDC Indonesia secara terukur dan bertanggungjawab.

Jakarta, Oktober 2024

Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan,



SITI NURBAYA



MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN
REPUBLIK INDONESIA

KATA PENGANTAR



Sesuai dengan tugas pokok dan fungsi, serta berdasarkan mandat *Paris Agreement* artikel 13 tentang Kerangka Transparansi, maka Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim selaku National Focal Point UNFCCC secara berkala melaksanakan pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring Pelaporan Verifikasi (MPV). Pelaporan ini merupakan bentuk pertanggungjawaban dan pengakuan atas upaya yang telah dikontribusikan oleh berbagai pihak terhadap pengendalian perubahan iklim di Indonesia. Sehingga proses yang dilaksanakan dalam pelaporan ini melibatkan kementerian/lembaga terkait penanggung jawab sektor dan pengampu data aktivitas.

Secara garis besar Laporan IGRK dan MPV tahun 2024 ini menyajikan data dan informasi indikatif GRK sebagai berikut:

1. Nilai emisi *baseline* periode 2010 – 2030 sebagai acuan, secara khusus pada pelaporan ini emisi *baseline* pada tahun 2023 dalam ENDC adalah sebesar **2.154,08 Juta ton CO₂e**;
2. Profil inventarisasi GRK tahun 2010 – 2023, dimana terdapat rekalkulasi inventarisasi GRK, yang menunjukkan angka pada tahun 2023 sebesar **1.360,35 Juta ton CO₂e**;
3. Capaian kinerja pengurangan emisi GRK dari aksi mitigasi yang dilaporkan oleh setiap penanggung jawab sektor (Kementerian/Lembaga) pada tahun 2023 sebesar **614,62 Juta ton CO₂e**;
4. Angka capaian pengurangan emisi GRK yang diperoleh dari selisih pengurangan angka emisi CM 1 tahun 2023 dan penghitungan inventarisasi GRK tahun 2023 yakni sebesar **287,99 Juta ton CO₂e**;

Disadari bahwa dalam upaya pencapaian target NDC ditemui beberapa tantangan terutama dalam mewujudkan upaya sinergi dan kolaborasi kebijakan sektoral dengan kebijakan pendukung lainnya. Selain itu kendala juga dihadapi

dalam hal pendokumentasian data aktivitas oleh pengampu atau penanggungjawab aksi. Hal ini menuntut peran multi pihak untuk secara bersama mendukung kinerja pemantauan dan pencapaian target NDC ini.

Apresiasi dan ucapan terima kasih disampaikan kepada berbagai pihak yang berkontribusi dalam penyusunan laporan ini. Diharapkan laporan ini dapat menjadi wujud komitmen Indonesia dalam mendukung upaya pengendalian perubahan iklim global.

Jakarta, Oktober 2024

Direktur Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim,

A handwritten signature in black ink, consisting of a series of loops and strokes, positioned above the printed name.

LAKSMI DHEWANTHI

Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV) Tahun 2024

Volume 10, Oktober 2024

LEMBAR PENYUSUN

Tim Penyusun

Pengarah: Laksmi Dhewanthi

Penanggung Jawab: Hari Wibowo

Penyusun:

1. Hari Wibowo
2. Budiharto
3. Allan Rosehan
4. Heri Purnomo
5. Endah Riana Oktavia
6. Rully Dhora Carolyn
7. Vinna Precylia
8. Rusi Asmani
9. Peris Frengki Butarbutar
10. Kurnia Utama
11. Prasetyadi Utomo
12. Erny Wibawanti
13. Dian Manggiasih
14. Laksmisari Rakhma Putri
15. Dirra Kurniawati
16. Ismanari
17. Tommy Aldila Pradana
18. Ryan Agustiawan
19. Lolita Ratnasari
20. Irena Ulva Maharani
21. Alam Ardiansyah

ISSN:

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang menggunakan isi maupun memperbanyak buku ini sebagian atau seluruhnya, baik dalam bentuk *photocopy*, cetak, *micro film*, elektronik maupun bentuk lainnya, kecuali untuk keperluan pendidikan atau non-komersial lainnya dengan mencantumkan sumbernya sebagai berikut:

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim. Direktorat Inventarisasi GRK dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (2024). Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca, Monitoring, Pelaporan, dan Verifikasi Nasional Tahun 2024.

Disclaimer: Informasi yang terdapat dalam laporan ini bersifat indikatif berdasarkan data aktivitas yang terkumpul per-September 2024. Pemrosesan dan pemutakhiran data tetap berlangsung selama periode pelaporan setelah dokumen ini diterbitkan. Untuk kepentingan ilmiah maka data dan informasi pada laporan ini dapat dicuplik dengan menyebutkan batasan waktu pelaporan.

Diterbitkan oleh:

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim. Direktorat Inventarisasi GRK dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi. Gd. Manggala Wanabakti Blok IV Lt. 6 Wing A. Jl. Jend. Gatot Subroto, Jakarta 10270, Indonesia Telp/Fax: 021 57903073.

DAFTAR ISI

RINGKASAN EKSEKUTIF	2
SAMBUTAN.....	4
KATA PENGANTAR	6
LEMBAR PENYUSUN	8
DAFTAR ISI	9
DAFTAR TABEL	10
DAFTAR GAMBAR	12
BAB I. PENDAHULUAN	17
BAB II. PENYELENGGARAAN IGRK DAN KERANGKA TRANSPARANSI.....	21
2.1 Penyelenggaraan Inventarisasi GRK.....	21
2.2 Kerangka Transparansi	23
BAB III.METODOLOGI	26
3.1 Metodologi Inventarisasi GRK	26
3.2 Metodologi Perhitungan Inventarisasi GRK	28
3.3 Metodologi Penghitungan Capaian Aksi Mitigasi.....	50
BAB IV.HASIL INVENTARISASI GRK NASIONAL.....	54
4.1 Profil Emisi GRK Nasional	54
4.2 Profil Emisi Sektoral	58
BAB V. HASIL CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK.....	130
5.1 Pengurangan Emisi GRK Nasional dari Agregat Aksi Mitigasi	130
5.2 Pengurangan Emisi GRK dari Aksi Mitigasi	131
5.3 Profil Capaian Pengurangan Emisi GRK Nasional Terhadap Target Nationally Determined Contribution (NDC)	153
BAB VI. PENUTUP	163
DAFTAR PUSTAKA.....	164

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Nilai GWP pada <i>Second Assessment Report</i> (SAR) yang digunakan pada Perhitungan Inventarisasi GRK.....	29
Tabel 3.2	Pengklasifikasian Kategori Antara IPCC <i>Guidelines</i> 2006 dan Tabel Kesetimbangan Energi.....	34
Tabel 3.3	Pembagian Kelas Umur, Faktor Emisi serta Bobot Ternak Lokal.....	36
Tabel 3.4	Revisi Faktor Skala Jenis Tanah yang Berbeda dari Indonesia	39
Tabel 3.5	Faktor Skala yang Disesuaikan dengan Ekosistem Padi dan Tata Air Indonesia	40
Tabel 3.6	Faktor Skala untuk Varietas Padi yang Berbeda di Indonesia	40
Tabel 3.7	Penyesuaian Kategori Tutupan Lahan KLHK dengan Kelas Penggunaan Lahan IPCC	42
Tabel 3.8	Rerata Pertumbuhan Tahunan pada Berbagai Kategori Penggunaan Lahan.....	43
Tabel 3.9	Karbon Stok dari Biomassa di atas Permukaan (AGB) dan di bawah Permukaan (BGB) untuk Berbagai Tipe Penutupan Lahan	45
Tabel 3.10	Faktor Emisi untuk Dekomposisi Gambut dari Berbagai Penutupan Lahan	46
Tabel 3.11	Parameter untuk Memperkirakan Emisi Kebakaran Gambut.....	48
Tabel 3.12	Faktor Emisi untuk Emisi non-CO ₂ dari Pembakaran Biomassa	49
Tabel 4.1	Emisi GRK Nasional Tahun 2000 – 2023 Gg CO ₂	56
Tabel 4.2	KCA Emisi GRK Nasional	58
Tabel 4.3	Emisi GRK dari Kegiatan Energi Tahun 2000 – 2023	67
Tabel 4.4	Perhitungan Emisi GRK Sektor Energi Menggunakan Metode Reference dan Sectoral Approach, Gg CO ₂ -Emisi GRK dari Kegiatan Energi Tahun 2023.....	70
Tabel 4.5	Sumber Emisi Kunci Sektor Energi Tahun 2023	78
Tabel 4.6	Emisi GRK dari Sektor IPPU Tahun 2000 – 2023.....	84
Tabel 4.7	Emisi GRK Per Subkategori Sektor IPPU Tahun 2023	85
Tabel 4.8	Sumber Emisi Kunci Sektor IPPU Tahun 2023	87
Tabel 4.9	Rekapitulasi Emisi Sektor Pertanian Tahun 2000 – 2010 (Gg CO ₂ e).....	94
Tabel 4.10	Rekapitulasi Emisi Sektor Pertanian Tahun 2011 – 2023 (Gg CO ₂ e).....	94
Tabel 4.11	Analisis Kategori Kunci Sektor Pertanian Tahun 2023	107
Tabel 4.12	Emisi Biomass Burning Gas Non-CO ₂	112
Tabel 4.13	Emisi dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lainnya Tahun 2000 – 2012 (Gg CO ₂ e).....	115
Tabel 4.14	Emisi dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lainnya Tahun 2013 – 2023 (Gg CO ₂ e).....	116

Tabel 4.15	Analisis Kategori Kunci Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya	117
Tabel 4.16	Komposisi Sampah di TPA	120
Tabel 4.17	<i>Dry Matter Content</i> Sampah di TPA	120
Tabel 4.18	Parameter dan Faktor Emisi Limbah Cair Domestik	121
Tabel 4.19	Parameter Fraksi Populasi dan Derajat Penggunaan pada Pengolahan Limbah Cair Domestik	123
Tabel 4.20	Emisi GRK dari Sektor Limbah Tahun 2000 – 2023	125
Tabel 4.21	Common Reporting Format of the GHG Emissions from Waste Category in 2023	127
Tabel 4.22	Analisis Kategori Kunci Sektor Limbah Tahun 2023	128
Tabel 5.1	Capaian Pengurangan Emisi GRK Nasional dari Aksi Mitigasi Tahun 2022 – 2023	130
Tabel 5.2	Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2023	132
Tabel 5.3	Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2023	132
Tabel 5.4	Capaian Pengurangan Emisi GRK Subsektor Industri Tahun 2023	134
Tabel 5.5	Capaian Pengurangan Emisi GRK Subsektor Transportasi Tahun 2023	134
Tabel 5.6	Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor IPPU Tahun 2023	136
Tabel 5.7	Data Aktivitas Sektor Pertanian Tahun 2010 – 2023	139
Tabel 5.8	Capaian Pengurangan Emisi Aksi Mitigasi Kementerian Pertanian Tahun 2010 – 2023	143
Tabel 5.9	Definisi Kondisi Baseline yang Disepakati	145
Tabel 5.10	Capaian Mitigasi Terverifikasi Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya Tahun 2023	145
Tabel 5.11	Tren Capaian Mitigasi Terverifikasi Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya Tahun 2022 dan 2023	146
Tabel 5.12	Capaian Pengurangan Emisi GRK pada Sektor Limbah yang Telah Terverifikasi Tahun 2023	149
Tabel 5.13	Profil Capaian Pengurangan Emisi GRK Nasional Terhadap Target Pengurangan Emisi GRK pada CM1 di Tahun 2010 – 2023	155
Tabel 5.14	Target <i>Nationally Determined Contribution</i> (NDC) Tahun 2030	157
Tabel 5.15	Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektoral Terhadap Emisi CM 1 di Tahun 2023	157

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca	22
Gambar 2.2 Tahapan Pengukuran, Pelaporan, dan Verifikasi (MRV).....	23
Gambar 3.1 Tumpang Tindih yang Konsisten Antar Dua Metode	31
Gambar 3.2 Interpolasi Linear	32
Gambar 3.3 Ekstrapolasi Linear	33
Gambar 3.4 Prinsip Pengurangan Emisi GRK	51
Gambar 4.1 Profil Emisi GRK Nasional Tahun 2000 – 2023.....	54
Gambar 4.2 Profil Emisi GRK Nasional Tahun 2000 – 2023 (Tanpa Kehutanan dan penggunaan lahan lainnya)	55
Gambar 4.3 Kontribusi Emisi GRK Sektoral Terhadap Emisi GRK Nasional	57
Gambar 4.4 Kategori Utama Sumber Emisi GRK	59
Gambar 4. 5 Sumber Emisi GRK dari Sektor Energi	60
Gambar 4.6 Subkategori Sumber Emisi GRK dari Kategori Pembakaran Bahan Bakar	60
Gambar 4.7 Cakupan Sumber Emisi GRK dari Pembakaran Bahan Bakar di Industri Energi.....	61
Gambar 4.8 Sumber Emisi GRK dari Pembakaran Bahan Bakar pada Industri Manufaktur	61
Gambar 4.9 Cakupan Sumber Emisi GRK dari Pembakaran Bahan Bakar Transportasi	62
Gambar 4.10 Cakupan Emisi <i>Fugitive</i> dari Produksi Bahan Bakar	63
Gambar 4.11 Tingkat Emisi GRK Sektor Energi Berdasarkan Subkategori Sumber Emisi Tahun 2000 – 2023.....	65
Gambar 4.12 Kecenderungan Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2000 – 2023	65
Gambar 4.13 Tingkat Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2023 Jenis Gas	66
Gambar 4.14 Perkembangan Emisi Pembakaran Bahan Bakar dan Emisi <i>Fugitive</i> Periode Tahun 2000 – 2023	66
Gambar 4.15 Emisi GRK dari Pendekatan Referensi Berdasarkan Jenis Bahan Bakar Tahun 2000 – 2023.....	68
Gambar 4.16 Persentase Konsumsi Bahan Bakar Nasional Tahun 2023	69
Gambar 4.17 Perbandingan Perhitungan Emisi dengan Menggunakan Pendekatan Referensi dan Pendekatan Sektoral Tahun 2000 – 2023	70
Gambar 4.18 Emisi GRK Subsektor Pembangkit Listrik Tahun 2000 – 2023.....	71
Gambar 4.19 Emisi GRK Subsektor Industri Minyak dan Gas Tahun 2000 – 2023 ..	72
Gambar 4.20 Emisi GRK Subsektor Pengolahan Batubara Tahun 2000 – 2023	73
Gambar 4.21 Emisi GRK Subsektor Industri Manufaktur Tahun 2000 – 2023	74
Gambar 4.22 Emisi GRK Subsektor Transportasi Tahun 2000 – 2023	74

Gambar 4.23 Emisi GRK Subsektor Komersial Tahun 2000 – 2023.....	75
Gambar 4.24 Emisi GRK Subsektor Rumah Tangga Tahun 2000 – 2023.....	76
Gambar 4.25 Emisi GRK Subsektor Non-Specified Tahun 2000 – 2023.....	77
Gambar 4.26 Emisi Fugitives Tahun 2000 – 2023.....	77
Gambar 4.27 Sumber Emisi dari Sektor IPPU	79
Gambar 4.28 Cakupan Sumber Emisi Sektor IPPU dari Industri Mineral	80
Gambar 4.29 Cakupan Sumber Emisi Sektor IPPU dari Industri Kimia	80
Gambar 4.30 Cakupan Sumber Emisi Sektor IPPU dari Produksi Petrokimia dan Carbon Black.....	81
Gambar 4.31 Cakupan Sumber Emisi Sektor IPPU dari Industri Logam	81
Gambar 4.32 Cakupan Sumber Emisi Sektor IPPU dari Produk Non-energi dan Pelarut.....	82
Gambar 4.33 Cakupan Emisi GRK dari Kategori Industri Lain	82
Gambar 4.34 Tingkat Emisi GRK Sektor IPPU Tahun 2000 – 2023	86
Gambar 4.35 Kontribusi Emisi GRK Berdasarkan Kategori Sektor IPPU Tahun 2023.....	86
Gambar 4.36 Kategori Sumber Emisi dalam IPCC <i>Guidelines</i> Sektor Pertanian	88
Gambar 4.37 Cakupan Sumber Emisi GRK dari Sektor Peternakan	89
Gambar 4.38 Cakupan Sumber Emisi GRK dari Fermentasi Enterik dan Pengelolaan Kotoran Ternak Berdasarkan Jenis Ternak (catatan: dicoret berarti tidak dihitung) ...	89
Gambar 4.39 Cakupan Sumber Emisi GRK dari Pengelolaan Kotoran Ternak	90
Gambar 4.40 Tren Emisi Sektor Pertanian Menurut Kategori Tahun 2000 – 2023	93
Gambar 4.41 Kontribusi Kategori Sumber Emisi pada Subsektor Peternakan	95
Gambar 4.42 Tren/Kecenderungan Emisi Subsektor Peternakan Tahun 2000 – 2023	96
Gambar 4.43 Persentase Gas Metahane dari Fermentasi Enterik Jenis Ternak Tahun 2023	97
Gambar 4.44 Persentasi Gas Methane dari Pengelolaan Kotoran Jenis Ternak Tahun 2023	97
Gambar 4.45 Emisi N ₂ O Langsung dan Tidak Langsung dari Pengelolaan Kotoran Ternak	98
Gambar 4.46 Emisi dari Pembakaran Biomassa Tahun 2000 – 2023	99
Gambar 4.47 Emisi dari Aplikasi Kapur Pertanian Tahun 2000 – 2023	100
Gambar 4.48 Emisi dari Aplikasi Pupuk Urea Tahun 2000 – 2023	101
Gambar 4.49 Emisi N ₂ O Dari Tanah yang Dikelola Tahun 2000 – 2023	102
Gambar 4.50 Emisi Gas Methane dari Budidaya Padi Tahun 2000 – 2023.....	103
Gambar 4.51 Komposisi Jenis Gas Sektor Pertanian Tahun 2023	104
Gambar 4.52 Tren Emisi Gas CO ₂ Sektor Pertanian Tahun 2000 – 2023.....	105
Gambar 4.53 Tren Emisi Gas CH ₄ Sektor Pertanian Tahun 2000 – 2023.....	105

Gambar 4.54 Tren Emisi Gas N ₂ O Sektor Pertanian Tahun 2000 – 2023	106
Gambar 4. 55 Cakupan Sumber Emisi GRK dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya.....	108
Gambar 4. 56 Emisi dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lainnya Tahun 2000-2023 (dengan <i>Peat Fire</i>)	111
Gambar 4. 57 Emisi dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lainnya Tahun 2000-2023 (tanpa <i>Peat Fire</i>)	111
Gambar 4. 58 Emisi dari Kebakaran Gambut 2000 – 2023.....	112
Gambar 4.59 Emisi Karbon di Atas Permukaan Tanah dari Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya 2000 – 2023	113
Gambar 4.60 Emisi Dekomposisi Gambut 2000 – 2023.....	114
Gambar 4. 61 Neraca Sampah Padat Domestik 2000 – 2023	119
Gambar 4.62 Emisi GRK dari Kegiatan Pengelolaan Limbah 2000 – 2023.....	126
Gambar 4. 63 Distribusi Emisi Sektor Limbah Tahun 2023 berdasarkan sumber dan jenis gas	126
Gambar 5. 1 Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2010 – 2023	136
Gambar 5. 2 Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor IPPU Tahun 2010 – 2023..	137
Gambar 5.3 Capaian Pengurangan Emisi GRK Kementerian Pertanian Tahun 2010 - 2023	140
Gambar 5. 4 Pengurangan Emisi Total Sektor Pertanian Tahun 2023	142
Gambar 5.5 Penggunaan Emisi Tahun 2021, 2022, dan 2023	147
Gambar 5.6 Peningkatan Serapan Tahun 2021, 2022, dan 2023	147
Gambar 5. 7 Proporsi Pengurangan Emisi pada Pengolahan Limbah Padat Domestik	150
Gambar 5. 8 Perbandingan Reduksi Emisi (RE) Sub Sektor Limbah Padat Domestik Tahun 2021 – 2023.....	150
Gambar 5. 9 Proporsi Pengurangan Emisi pada Pengolahan Limbah Cair Domestik	151
Gambar 5.10 Perbandingan Reduksi Emisi (RE) Biodigester dan IPAL Statistik Tahun 2020 - 2023	152
Gambar 5.11 Proporsi Pengurangan Emisi Pada Pengolahan Limbah Industri	152
Gambar 5.12 Perbandingan Reduksi Emisi (RE) Limbah Industri Tahun 2021 – 2023	153
Gambar 5. 13 Profil Capaian Pengurangan Emisi GRK Nasional Terhadap Target Pengurangan Emisi GRK Nasional (2010-2023) terhadap BAU dan CM 1	154
Gambar 5.15 Perbandingan Hasil Inventarisasi GRK terhadap CM1 Sektor Energi Tahun 2010-2023.....	158
Gambar 5.16 Perbandingan Hasil Inventarisasi GRK terhadap CM1 Sektor IPPU Tahun 2010-2023.....	159

Gambar 5.17 Perbandingan Hasil Inventarisasi GRK terhadap CM 1 Sektor Pertanian Tahun 2010-2023.....	159
Gambar 5.18 Perbandingan Hasil Inventarisasi GRK terhadap CM1 Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya Tahun 2010-2023.....	160
Gambar 5.19 Perbandingan Hasil Inventarisasi GRK terhadap CM1 Sektor Limbah Tahun 2010-2023.....	161



BAB I PENDAHULUAN

BAB I. PENDAHULUAN

Dalam upaya untuk mengendalikan perubahan iklim, Pemerintah Indonesia bersama-sama dengan pihak internasional melalui Konferensi Para Pihak ke-21 *United Nations Framework Convention on Climate Change* (Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai Perubahan Iklim) di Paris, telah mengadopsi Persetujuan Paris atau yang dikenal dengan *Paris Agreement* yang mengikat secara hukum dan diterapkan oleh semua negara yang meratifikasi (*legally binding and applicable to all*) namun dengan prinsip tanggung jawab bersama yang dibedakan berdasarkan kemampuan masing-masing (*common but differentiated responsibilities and respective capabilities*). Perjanjian ini telah diratifikasi oleh 196 negara termasuk Indonesia pada penyelenggaraan *United Nation Climate Change Conference* ke-21 (COP21) di Paris.

Perjanjian ini bertujuan untuk membatasi kenaikan suhu rata-rata global di bawah 2°C di atas tingkat pra-industrialisasi dan melanjutkan upaya untuk menekan kenaikan suhu ke 1,5°C di atas tingkat pra-industrialisasi. Oleh karena itu, Persetujuan Paris kewajiban masing-masing negara untuk menyampaikan Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional (*Nationally Determined Contribution/NDC*) yang mana kontribusi penurunan tersebut harus meningkat setiap periode. Berkaitan dengan hal tersebut, Indonesia telah menetapkan *Enhanced NDC* pada tahun 2022. Dokumen tersebut merupakan pembaharuan komitmen Indonesia pada pengendalian perubahan iklim global melalui target penurunan emisi gas rumah kaca (GRK) sebanyak 31,89% dengan kemampuan sendiri dan 43,2% dengan dukungan internasional.

Guna monitoring dan evaluasi terhadap pencapaian target NDC, Persetujuan Paris juga menyepakati adanya kerangka kerja transparansi dalam rangka membangun rasa saling percaya dan meningkatkan efektivitas implementasi, meliputi aksi maupun dukungan dengan fleksibilitas negara berkembang. Disebutkan bahwa setiap negara wajib menyediakan informasi terkait dengan inventarisasi emisi gas rumah kaca nasional dan serapannya dengan menggunakan metodologi yang diakui oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) dan disetujui oleh negara pihak pada konvensi di bawah Persetujuan Paris, hal tersebut tertuang dalam Pasal 13 Persetujuan Paris.

Pada implementasi Persetujuan Paris, inventarisasi dilakukan secara berkala yang digunakan untuk menilai kemajuan kolektif dalam mencapai tujuan dari Persetujuan Paris atau yang dikenal sebagai *Global Stocktake*. *Global Stocktake* (GST), dilaksanakan setiap 5 (lima) tahun dan dimulai pada tahun 2023 (*First Global Stocktake*). *First Global Stocktake* diputuskan pada *Dubai Climate Change Conference* (COP28) tanggal 13 Desember 2023 dalam *draft decision FCCC/PA/CMA/2023/L.17*. Secara garis besar, isi dari decision tersebut

menampilkan portrait *backward and forward looking* tematik isu mitigasi, adaptasi, dukungan sumber daya perubahan iklim, *loss and damage*, dan *response measure* serta panduan dan langkah ke depan (*guidance and way forward*). Hasil tersebut menggarisbawahi bahwa pentingnya implementasi penuh *Enhanced Transparency Framework* (ETF) dan pelaporan BTR secara tepat waktu.

Peranan penting dari implementasi penuh kerangka kerja transparansi yang ditingkatkan di bawah Persetujuan Paris (*Enhanced Transparency Framework*) tertuang dalam paragraf 172 *guidance and way forward*. Hal ini berkaitan dengan kesepakatan bahwa para negara pihak wajib menyerahkan *biennial transparency report* pertama selambatnya pada 31 Desember 2024 (para 173). Melalui *biennial transparency report*, maka format pelaporan negara *Annex I* dan *Non-Annex I* tidak lagi berbeda. Sebelumnya, Indonesia sebagai negara *Non-Annex I* telah menyampaikan laporan dalam format *Biennial Update Report* ke-3 atau Dokumen 3rd BUR pada tahun 2021.

Pada *guidance and way forward outcome* dari GST juga mengingatkan kembali kepada negara pihak untuk menyiapkan, mengkomunikasikan serta mempertahankan NDC yang ingin dicapai dan mengupayakan langkah-langkah mitigasi domestik sebagai upaya mencapai target tersebut. Hal ini sejalan dengan potrait saat ini, bahwa seluruh kemajuan pada mitigasi, adaptasi, dan dukungan sumber daya perubahan iklim yang dilakukan oleh negara pihak belum secara kolektif berada pada jalur yang tepat untuk mencapai tujuan Persetujuan Paris.

Pemerintah Indonesia telah menetapkan Kerangka Transparansi dalam konteks nasional melalui penerbitan Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional guna memantau perkembangan strategi dan kebijakan pengendalian perubahan iklim serta mengukur capaian target NDC. Pelaksanaan upaya pencapaian target NDC dilakukan melalui penyelenggaraan mitigasi perubahan iklim, adaptasi perubahan iklim, dan Nilai Ekonomi Karbon (NEK) yang dilaksanakan sesuai dengan prinsip TACCC (Transparan, Akurat, Konsisten, Komprehensif, dan Komparabel).

Sehubungan dengan itu, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan sesuai amanat dalam Peraturan Presiden Nomor 92 Tahun 2020 memberikan tugas pokok dan fungsi penyelenggaraan fungsi perumusan kebijakan, pelaksanaan kebijakan dan penyusunan norma, standar, prosedur, dan kriteria di bidang penyelenggaraan inventarisasi gas rumah kaca, monitoring, pelaporan dan verifikasi perubahan iklim kepada Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim yang kemudian dikhususkan menjadi tugas dan tanggung jawab

Direktorat Inventarisasi Gas Rumah Kaca dan Monitoring Pelaporan Verifikasi (Direktorat IGRK MPV). Pada penyusunan Laporan Nasional Inventarisasi GRK dan MPV, penyelenggaraan inventarisasi GRK melakukan proses pengendalian dan penjaminan mutu (*Quality Control and Quality Assurance*) yang dilakukan melalui rapat konsultasi/FGD dengan penyedia data dan para pakar, serta proses verifikasi terhadap laporan capaian pengurangan emisi. Seluruh proses tersebut dilakukan untuk menjamin kualitas Laporan Nasional Inventarisasi GRK dan MPV karena laporan ini menjadi dasar dalam penyusunan laporan ke tingkat internasional (UNFCCC). Laporan Nasional Inventarisasi GRK dan MPV Tahun 2024 ini menggunakan sumber data satu tahun sebelumnya (Tahun 2023). Dengan peningkatan transparansi dan akurasi data melalui *Enhanced Transparency Framework* (ETF), diharapkan Laporan Inventarisasi GRK ini dapat menjadi acuan dalam perencanaan aksi mitigasi dan adaptasi perubahan iklim, serta memperkuat posisi Indonesia dalam kancah internasional untuk mencapai target pengendalian perubahan iklim global. Pengaturan kelembagaan dan kompleksitas penyediaan data perlu mendapatkan perhatian penuh sehingga harapannya pada tahun-tahun selanjutnya, pelaporan inventarisasi GRK dapat dilakukan pada tahun yang sama dengan tahun data. Selanjutnya, Laporan Nasional Inventarisasi GRK dan MPV dapat digunakan untuk merancang aksi mitigasi dan adaptasi dengan lebih cepat, tepat, dan berkelanjutan.

Tingkat emisi aktual GRK di Tahun 2023 adalah sebesar 1.360.346,59 Gg CO₂e (1.360,35 Juta ton CO₂e). Hasil perhitungan capaian pengurangan emisi GRK nasional dibandingkan dengan target pengurangan emisi GRK pada CM1 di Tahun 2010-2023. Pada pelaporan tahun ini, akan dilakukan proses rekalkulasi untuk beberapa subkategori emisi sektor. Demi menjamin konsistensi dalam pelaporan, proses rekalkulasi selengkapnya akan dilakukan pada tahun pelaporan BUR/BTR, misalnya pada penerapan *global warming potential* (GWP), perbaikan data aktivitas, dan pemutakhiran faktor emisi.



BAB II PENYELENGGARAAN IGRK DAN KERANGKA TRANSPARANSI

BAB II. PENYELENGGARAAN IGRK DAN KERANGKA TRANSPARANSI

Pelaksanaan aksi mitigasi dilakukan melalui tahapan perencanaan, pelaksanaan, serta pemantauan dan evaluasi. Dalam konteks perencanaan, aksi mitigasi dilakukan melalui inventarisasi GRK, yang merupakan kegiatan untuk memperoleh data dan informasi mengenai tingkat, status, dan kecenderungan perubahan emisi GRK secara berkala dari berbagai sumber emisi dan penyerapnya. Selanjutnya, agar pelaksanaan aksi mitigasi dapat memperoleh hasil yang akurat, konsisten, transparan, dan berkelanjutan dan dapat dipertanggungjawabkan, perlu dilakukan melalui pelaksanaan kerangka transparansi.

2.1 Penyelenggaraan Inventarisasi GRK

Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca mengacu pada Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 dan Permen LHK No.12 Tahun 2024 tentang Penyelenggaraan Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional Dalam Penanganan Perubahan Iklim. Dalam Permen 12 tahun 2024 Pasal 19 disebutkan bahwa pelaksanaan penyelenggaraan Inventarisasi Emisi GRK dilakukan berdasarkan pada pedoman umum; dan pedoman teknis.

Pedoman umum penyelenggaraan Inventarisasi GRK meliputi:

- a. prinsip dasar Inventarisasi Emisi GRK;
- b. tahapan penyelenggaraan Inventarisasi Emisi GRK;
- c. metodologi umum perhitungan Emisi GRK atau Serapan GRK;
- d. analisis ketidakpastian;
- e. analisis kategori kunci;
- f. pengendalian mutu;
- g. penjaminan mutu;
- h. kelembagaan Inventarisasi Emisi GRK; dan
- i. sistem inventarisasi GRK nasional.

Sedangkan Pedoman teknis penyelenggaraan Inventarisasi GRK meliputi:

- a. Sektor pengadaan dan penggunaan energi;
- b. Sektor proses industri dan penggunaan produk;
- c. Sektor pertanian, kehutanan, dan penggunaan
- d. lahan lainnya;
- e. Sektor pengelolaan limbah; dan

- f. Sektor lainnya sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Pengendalian dan penjaminan mutu.

Secara garis besar mengatur terkait tata cara penyelenggaraan Inventarisasi GRK, mekanisme pelaporan, dan tata waktu, evaluasi pelaporan dan penggunaan laporan yang secara ringkas sebagai Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca

2.2 Kerangka Transparansi

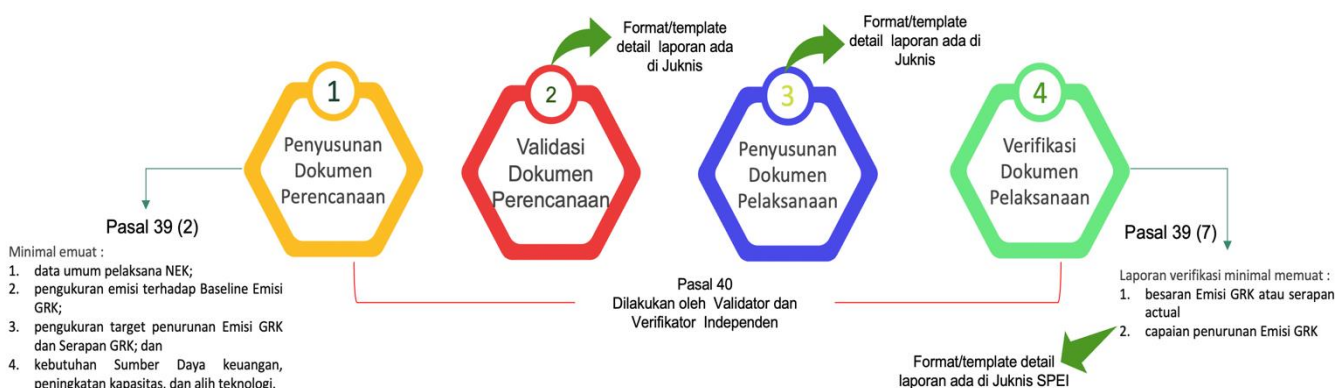
Sebagai bagian dari implementasi Pasal 13 Perjanjian Paris, Indonesia memiliki kerangka Transparansi Nasional Terintegrasi, melalui Sistem Registrasi Nasional untuk mitigasi, adaptasi dan sumberdaya perubahan iklim yang terukur, dilaporkan, dan terverifikasi (MRV) serta terintegrasi dengan berbagai sistem, antara lain: (a) Sistem Inventarisasi GRK Nasional (SIGN-SMART); (b) Sistem Informasi *Safeguards* REDD+ (SIS-REDD+); dan Sistem Informasi Kerentanan (SIDIK).

SRN mempunyai fungsi sebagai berikut:

- a. pencatatan aksi mitigasi dan adaptasi, dan sumber daya perubahan iklim
- b. menelusuri kemajuan implementasi NDC
- c. pengelolaan basis data untuk mendukung analisis dan perumusan kebijakan
- d. pencatatan karbon nasional dan telah terintegrasi dengan Bursa Karbon Indonesia

Untuk memastikan transparansi dan kredibilitas terhadap aksi mitigasi perubahan iklim dan adaptasi perubahan iklim serta sumberdaya perubahan iklim telah dikembangkan mekanisme MRV yang mengintegrasikan tiga proses yang berdiri sendiri namun berkaitan berupa pengukuran/pemantauan (M), pelaporan (R), dan verifikasi (V).

Dalam konteks penyelenggaraan NEK, pelaksanaan MRV dilakukan terhadap Dokumen Rancangan Aksi Mitigasi (DRAM) dan Laporan Capaian Aksi Mitigasi (LCAM). Selanjutnya kedua dokumen dimaksud akan dilakukan proses validasi dan verifikasi oleh Lembaga Validasi dan Verifikasi yang terakreditasi oleh KAN dan terdaftar dalam Sistem Registri Nasional dengan mengikuti tahapan sebagaimana dimaksud dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Tahapan Pengukuran, Pelaporan, dan Verifikasi (MRV)

Hal yang sama pelaksanaan MRV aksi mitigasi sebagaimana dimandatkan dalam Permen LHK 12 Tahun 2024 dilakukan melalui tahapan validasi dan verifikasi terhadap laporan perencanaan dan pelaksanaan aksi mitigasi Perubahan iklim hal yang sama pada pelaksanaan kegiatan Aksi Mitigasi, yang membedakan dengan pelaksanaan *offset* Emisi GRK, validasi dan verifikasi aksi mitigasi perubahan iklim dilakukan oleh Tim MRV yang dibentuk melalui SK Menteri LHK nomor SK.1444/MENLHK/ SETJEN/KUM.1/12/2023 tentang Tim MRV dan Panel Metodologi.

Dalam konteks pemberian pengakuan atas kontribusi berbagai pihak terhadap upaya pengendalian Perubahan Iklim, pemerintah mengeluarkan sertifikat dalam bentuk Sertifikat Pengurangan Emisi GRK (SPE-GRK) dan Sertifikat Apresiasi. SPE-GRK merupakan surat bentuk bukti pengurangan emisi oleh usaha dan/atau kegiatan yang telah melalui MRV, serta tercatat dalam SRN-PPI dalam bentuk nomor dan/atau kode registri. Selanjutnya penerbitan SPE-GRK dilaksanakan sesuai dengan skema Sertifikasi Pengurangan Emisi GRK Indonesia (SPEI). Untuk memenuhi amanat tersebut, KLHK telah menerbitkan Skema Sertifikasi Pengurangan Emisi GRK Indonesia (SPEI) dalam Surat Keputusan Menteri LHK Nomor SK.1131/MENLHK/PPI/PPI.2/10/2023 tanggal 26 Oktober 2023.

Selain SPE, sebagaimana dimandatkan dalam Permen LHK 12 Tahun 2024 pasal 116, Menteri dapat memberikan apresiasi dan penghargaan kepada penanggung jawab aksi yang melakukan pengurangan Emisi GRK melampaui kewajibannya. Apresiasi berupa sertifikat apresiasi diberikan untuk kegiatan aksi dengan ketentuan tercatat dalam SRN-PPI dan terverifikasi oleh tim MRV. Selanjutnya, pada pasal 117 ayat (3) disebutkan Surat apresiasi diberikan untuk kegiatan kerja sama aksi dengan ketentuan:

- a. tercatat dalam SRN PPI;
- b. terverifikasi oleh tim MRV;
- c. memberikan dukungan Sumber Daya; dan
- d. tidak ada transfer unit karbon ke luar negeri.



BAB III METODOLOGI

BAB III. METODOLOGI

3.1 Metodologi Inventarisasi GRK

3.1.1 Prinsip Umum

Prinsip umum dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK harus memenuhi prinsip TACCC (*Transparency, Accurate, Completeness, Consistence and Comparability*) yaitu:

1. Transparan, yaitu 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 hasil inventarisasi tersebut disusun.
2. Akurat, yaitu perhitungan emisi dan serapan GRK merefleksikan emisi yang sebenarnya dan dengan tingkat kesalahan yang kecil.
3. Kelengkapan, yaitu dugaan emisi dan serapan untuk semua jenis GRK dilaporkan secara lengkap dan apabila ada yang tidak diduga harus dijelaskan alasannya.
4. Konsisten, yaitu estimasi emisi dan serapan GRK untuk semua tahun inventarisasi menggunakan metode yang sama dengan kategori sumber emisi/serapan yang sama sehingga merefleksikan perubahan emisi dari tahun ke tahun.
5. Komparabel, yaitu dapat diperbandingkan dengan inventarisasi GRK dari wilayah atau negara lain, dengan mengikuti metode dan format yang telah disepakati.

Kelengkapan sebagaimana dimaksud pada angka 3:

- a) Dalam hal ada sumber emisi/serapan yang tidak dihitung atau dikeluarkan dari inventarisasi GRK maka harus diberikan justifikasi alasan sumber atau serapan tersebut tidak dimasukkan;
- b) Inventarisasi GRK harus melaporkan dengan jelas batas (*boundary*) yang digunakan untuk menghindari adanya perhitungan ganda (*double counting*) atau adanya emisi yang tidak dilaporkan;
- c) Dalam hal sumber emisi/serapan tidak dilaporkan karena kategori sumber/serapan tersebut tidak menghasilkan emisi atau serapan untuk jenis gas tertentu maka digunakan notasi NA (*not applicable*);
- d) Dalam hal emisi/serapan memang tidak terjadi maka digunakan notasi NO (*not occurring*).
- e) Dalam hal emisi/serapan belum dihitung karena ketidaktersediaan data maka digunakan notasi NE (*not estimated*);
- f) Dalam hal emisi/serapan dihitung tetapi perhitungannya masuk ke dalam kategori sumber/serapan yang tidak sesuai dengan yang sudah

ditetapkan karena alasan tertentu maka digunakan notasi IE (*including elsewhere*);

- g) Dalam hal emisi/serapan tidak dilaporkan secara tersendiri dalam sub kategori tertentu karena alasan kerahasiaan tetapi sudah dimasukkan di tempat lain atau digabungkan ke dalam kategori lain digunakan notasi C (*confidential*);
- h) Untuk memenuhi prinsip kelengkapan, maka setiap notasi yang digunakan harus disertai dengan penjelasannya dan didokumentasikan dengan baik.

Konsisten sebagaimana dimaksud pada angka 4:

- a) Dalam hal pada tahun inventarisasi tertentu ada perubahan yang dilakukan, misalnya perubahan metodologi atau merubah faktor emisi *default* IPCC dengan faktor emisi lokal, maka perlu dilakukan perhitungan ulang (*recalculation*) untuk tahun inventarisasi lainnya sehingga kembali menjadi konsisten;
- b) Dalam hal perhitungan ulang tidak memungkinkan, misalnya adanya penambahan sumber emisi/serapan baru pada tahun inventarisasi tertentu, sementara pada tahun inventarisasi sebelumnya tidak ada data tersedia, maka pada tahun inventarisasi yang tidak ada data aktivitasnya harus diduga datanya dengan teknik interpolasi atau ekstrapolasi;
- c) Untuk memenuhi prinsip konsisten, maka setiap upaya yang dilakukan untuk mendapatkan inventarisasi yang konsisten harus dicatat dan didokumentasikan dengan baik.

Dalam hal terjadi ketidakkonsistenan data, maka perhitungan ulang dapat dilakukan apabila:

- a) Data yang tersedia sudah berubah;
- b) Metode yang digunakan sebelumnya tidak konsisten dengan metode IPCC untuk kategori tertentu;
- c) Suatu kategori yang sebelumnya bukan kategori kunci berubah menjadi kategori kunci;
- d) Metode sebelumnya tidak cukup untuk merefleksikan kegiatan mitigasi secara transparan;
- e) Metode inventarisasi GRK yang baru sudah tersedia;
- f) Ada perbaikan kesalahan.

3.2 Metodologi Perhitungan Inventarisasi GRK

3.2.1 Metodologi 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 metodologi ini sesuai dengan yang telah ditetapkan dalam Peraturan Menteri LHK Nomor 12 tahun 2024 tentang Penyelenggaraan Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dalam Penanganan Perubahan Iklim.

Secara garis besar, perhitungan emisi/serapan GRK diperoleh melalui perkalian data aktivitas dengan faktor emisi, atau dengan persamaan sederhana berikut:

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

1. Data Aktivitas (AD)

Penyelenggara inventarisasi GRK mengembangkan mekanisme kelembagaan dalam pengumpulan data aktivitas yang diperlukan pada perhitungan sebagaimana rumus di atas. Lembaga dan divisi yang ditunjuk pada Kementerian/Lembaga dan Pemerintah Daerah untuk melakukan pengumpulan data aktivitas dalam mengidentifikasi jenis data dan tahun ketersediaannya, serta lembaga yang memiliki dan menyimpan data tersebut. Pengumpulan dan pemutakhiran data dilakukan secara kontinyu dengan melibatkan K/L terkait.

2. Faktor Emisi (EF)

Penyelenggara inventarisasi GRK melakukan upaya pengumpulan dan pengembangan faktor emisi lokal melalui kerjasama dengan instansi, lembaga, dan perguruan tinggi yang melakukan penelitian faktor emisi. Dalam hal faktor emisi lokal belum tersedia, maka digunakan faktor emisi lokal yang tersedia untuk daerah lain atau faktor emisi nasional atau regional yang sudah tersedia atau *default* yang ditetapkan IPCC. Kompilasi faktor emisi dari berbagai negara dan wilayah dihimpun dalam Basis Data untuk Faktor Emisi (*Emission Factor Database*).

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. Tingkat ketelitian (*tier*) terdiri dari:

1. *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 *Guidelines*).
2. *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.
 3. *Tier-3*: metode perhitungan emisi dan serapan menggunakan persamaan yang paling rinci (dengan pendekatan *modelling* dan *sampling*), dengan pendekatan *modelling* faktor emisi lokal yang divariasikan dengan keberagaman kondisi yang ada, sehingga emisi dan serapan memiliki tingkat kesalahan lebih rendah.

Untuk estimasi inventarisasi GRK nasional tahun 2000 – 2023 yang menjadi lingkup pada laporan ini menggunakan metode IPCC *Guidelines* 2006 untuk *Tier-1* dan *Tier-2*. Sedangkan nilai *Global Warming Potential* (GWP) digunakan untuk mengkonversi data emisi GRK non-CO₂ menjadi karbon dioksida ekuivalen (CO₂e), dengan mengikuti *Second Assessment Report* (2nd AR of IPCC). Nilai GWP dimaksud sebagaimana Tabel 3.1. Adapun metodologi perhitungan emisi GRK pada masing-masing sektor diuraikan pada paragraf selanjutnya.

Tabel 3.1 Nilai GWP pada *Second Assessment Report* (SAR) yang digunakan pada Perhitungan Inventarisasi GRK

No.	Gas	GWP (CO ₂ e)
1	CO ₂	1
2	<i>Methane</i> (CH ₄)	21
3	<i>Nitrous Oxide</i> (N ₂ O)	310
4	PFC-14 (CF ₄)	6.500
5	PFC-116 (C ₂ F ₆)	9.200
6	<i>Sulfur Hexafluoride</i> (SF ₆)	23.900

3. *Filling Data Gap*

Dalam rangka implementasi prinsip TACCC, khususnya terkait konsistensi, data yang digunakan dalam perhitungan emisi GRK harus tersedia secara konsisten dan menyeluruh. Permasalahan terkadang muncul ketika data yang diperlukan untuk perhitungan emisi tidak lengkap atau tidak tersedia. Kesenjangan data/*data gaps* dan *inconsistencies* pada data aktivitas, dapat disebabkan oleh tidak tersedia data setiap tahun (*incomplete*), data di tahun-tahun berikutnya tidak ada/tidak terjamin ketersediaannya (*discontinued*), metodologi yang tidak sama selama lebih dari setahun (*inconsistent*), dan terjadi kesalahan identifikasi dalam data historis. Dalam hal terjadi kasus seperti itu, beberapa cara mengisi data kosong/hilang diperlukan sehingga diperoleh seri

data yang lengkap untuk semua seri waktu. Beberapa pendekatan/teknik untuk mengatasi kesenjangan data atau untuk mengisi data hilang berdasarkan IPCC *Guidelines* 2006 antara lain sebagai berikut:

3.a Tumpang Tindih

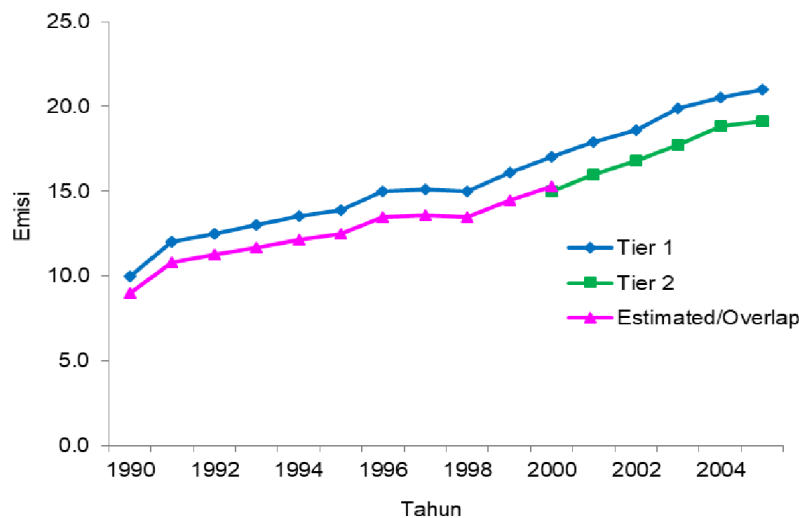
Teknik tumpang tindih sering digunakan ketika metode baru diperkenalkan tetapi data tidak tersedia untuk menerapkan metode baru pada tahun-tahun awal dalam rangkaian waktu, misalnya ketika menerapkan metodologi tingkat yang lebih tinggi. Jika metode baru tidak dapat digunakan untuk semua tahun, dimungkinkan untuk mengembangkan rangkaian waktu berdasarkan hubungan (atau tumpang tindih) yang diamati antara dua metode selama tahun-tahun ketika keduanya dapat digunakan. Pada dasarnya, rangkaian waktu dibangun dengan mengasumsikan bahwa ada hubungan yang konsisten antara hasil dari metode yang digunakan sebelumnya dan metode baru. Perkiraan emisi atau penghilangan untuk tahun-tahun ketika metode baru tidak dapat digunakan secara langsung dikembangkan dengan secara proporsional menyesuaikan perkiraan yang dikembangkan sebelumnya, berdasarkan pada hubungan yang diamati selama periode tumpang tindih. Dalam hal ini, emisi atau penyerapan yang terkait dengan metode baru diperkirakan sesuai dengan persamaan berikut:

$$y_o = x_o * \left(\frac{1}{n - m + 1} * \sum_{i=m}^n \frac{y_i}{x_i} \right)$$

Dimana:

- o : nilai emisi/serapan dugaan yang dihitung dengan metode *overlap*
- x_o : nilai emisi/serapan dugaan yang diduga dengan metode sebelumnya
- y_i dan x_i : nilai dugaan yang diperoleh dari metode baru dan metode sebelumnya selama periode waktu yang overlap yaitu dari tahun ke- m sampai ke- n

Hubungan antara metode yang digunakan sebelumnya dan metode baru dapat dievaluasi dengan membandingkan tumpang tindih antara hanya satu set perkiraan tahunan, tetapi lebih baik dibandingkan beberapa tahun. Ini karena membandingkan hanya satu tahun dapat menyebabkan bias dan tidak mungkin mengevaluasi tren. Gambar 3.1 menunjukkan contoh hipotetis tumpang tindih yang konsisten antara dua metode untuk tahun di mana keduanya dapat diterapkan.



Gambar 3.1 Tumpang Tindih yang Konsisten Antar Dua Metode

3.b Penggantian Data (*Surrogate Data*)

Metode pengganti digunakan ketika suatu data tidak tersedia, namun ada data lainnya yang berkaitan erat dengan data tersebut dan memiliki korelasi tinggi ($R^2 > 0.5$). Oleh karena itu, uji korelasi perlu dilakukan terlebih dahulu sebelum menggunakan metode ini, contoh data yang berkaitan erat dan memiliki korelasi tinggi diantaranya adalah emisi dari air limbah domestik mungkin terkait dengan populasi, dan emisi industri mungkin terkait dengan tingkat produksi dalam industri yang relevan. Dalam bentuk yang paling sederhana, perkiraan akan terkait dengan satu jenis data seperti yang ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$y_o = y_t * \frac{so}{st}$$

Di mana:

y_o dan y_t : emisi/serapan dugaan tahun ke-0 dan ke-t

so dan st : parameter *statistic surrogate* tahun ke-0 dan ke-t

3.b.1 Interpolasi

Dalam beberapa kasus dimungkinkan untuk menerapkan metode secara *intermittent* di seluruh rangkaian waktu. Sebagai contoh, statistik rinci yang diperlukan hanya dapat dikumpulkan setiap beberapa tahun, atau mungkin tidak praktis untuk melakukan survei rinci setiap tahun. Dalam hal ini, perkiraan untuk tahun-tahun menengah dalam rangkaian waktu dapat dikembangkan dengan melakukan interpolasi antara perkiraan terperinci. Jika informasi tentang tren umum atau parameter yang mendasari tersedia, maka metode pengganti lebih

disukai. Persamaan untuk mengisi data kosong dengan metode Interpolasi dapat dilihat pada persamaan berikut:

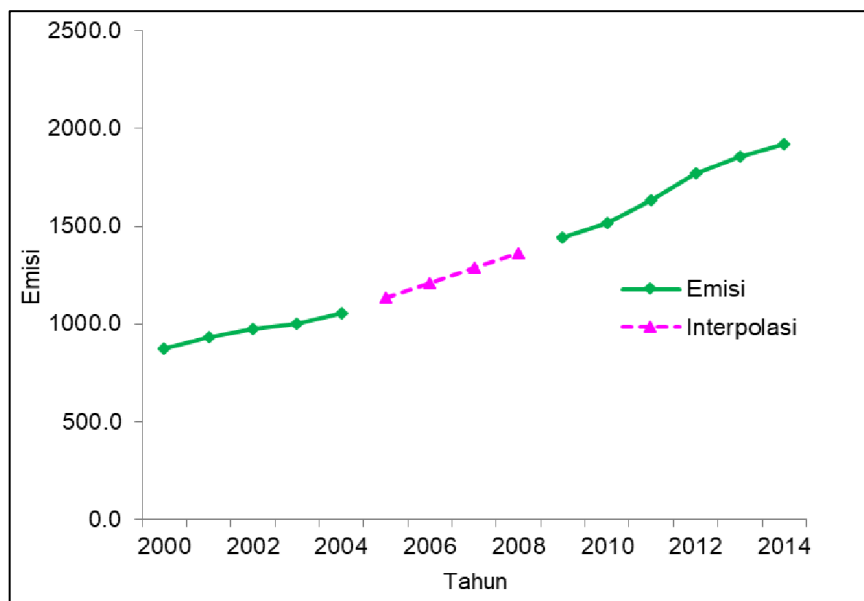
$$Y_t = Y_{start} + \left(\frac{T_t - T_{start}}{T_{end} - T_{start}} \right) * (Y_{end} - Y_{start})$$

Dimana:

Y_{start} , Y_{end} dan Y_t : emisi/serapan dugaan tahun awal, akhir dan ke-t

T_{start} , T_{end} dan T_t : tahun awal, akhir dan ke-t

Gambar 3.2 menunjukkan contoh interpolasi linier. Dalam contoh ini, data untuk 1994 dan 1995 tidak tersedia. Emisi diperkirakan dengan asumsi pertumbuhan emisi tahunan konstan dari 1993-1996. Teknik ini tepat dalam contoh ini karena tren keseluruhan tampak stabil, dan tidak mungkin bahwa emisi aktual untuk 1994 dan 1995 secara substansial berbeda dari nilai yang diprediksi melalui interpolasi. Untuk kategori yang memiliki kecenderungan emisi yang mudah menguap (yaitu, mereka berfluktuasi secara signifikan dari tahun ke tahun), interpolasi tidak akan sesuai dengan praktik yang baik dan data pengganti akan menjadi opsi yang lebih baik.



Gambar 3.2 Interpolasi Linear

3.b.2 Ekstrapolasi

Ketika perkiraan rinci belum disiapkan untuk tahun dasar atau tahun terbaru dalam inventaris, mungkin perlu untuk memperkirakan dari perkiraan terperinci terdekat. Ekstrapolasi tren secara konseptual mirip dengan interpolasi, tetapi sedikit yang diketahui tentang tren aktual. Ekstrapolasi dapat dilakukan baik ke depan (untuk memperkirakan emisi atau kepunahan yang lebih baru) atau

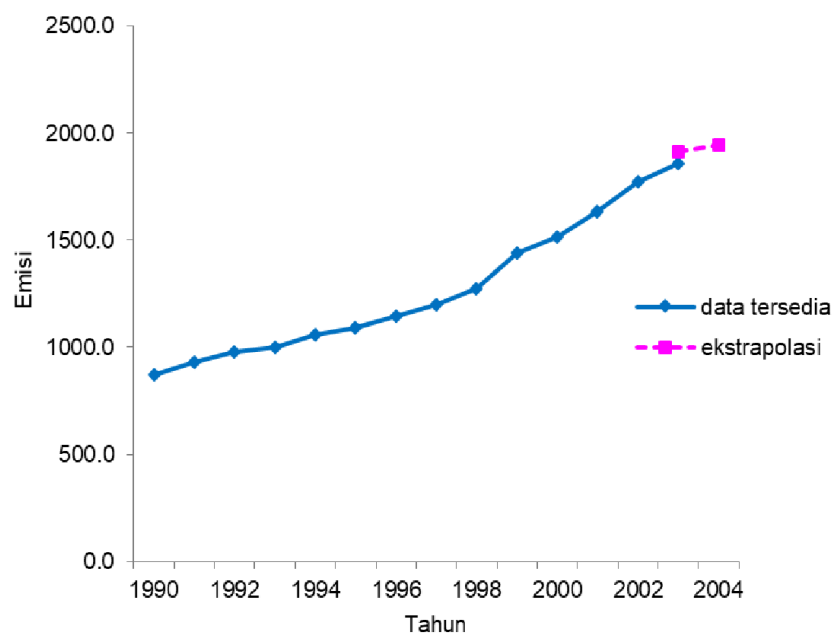
mundur (untuk memperkirakan tahun dasar). Ekstrapolasi tren hanya mengasumsikan bahwa tren yang diamati dalam emisi/penyerapan selama periode ketika perkiraan rinci tersedia tetap konstan selama periode ekstrapolasi. Dengan asumsi ini, jelas bahwa ekstrapolasi tren tidak boleh digunakan jika perubahan tren tidak konstan dari waktu ke waktu. Dalam situasi ini, akan lebih tepat untuk mempertimbangkan menggunakan ekstrapolasi berdasarkan data pengganti. Ekstrapolasi juga tidak boleh digunakan dalam jangka waktu lama tanpa pemeriksaan rinci pada interval untuk mengkonfirmasi validitas tren yang berlanjut. Dalam kasus data periodik, bagaimanapun, ekstrapolasi akan menjadi awal dan titik data akan dihitung ulang pada tahap selanjutnya. Untuk mengisi data kosong dengan metode Ekstrapolasi dapat digunakan persamaan berikut:

$$Y_t = Y_{t-1} + (Y_{t-1} - Y_{t-2})$$

Dimana:

Y_t , Y_{t-1} , dan Y_{t-2} : emisi/serapan dugaan tahun ke-t, t-1 dan t-2

Gambar 3.3 dalam bagian ini menunjukkan contoh di mana data aktivitas hanya tersedia secara berkala untuk suatu periode tertentu, namun untuk tidak tersedia data untuk beberapa tahun terakhir. Data untuk beberapa tahun terakhir dapat diekstrapolasi berdasarkan tren yang konsisten, atau atas dasar data yang sesuai. Perlu dicatat, bagaimanapun, bahwa ketidakpastian perkiraan ekstrapolasi meningkat sebanding dengan lamanya waktu di mana ekstrapolasi dibuat. Setelah set data periodik terbaru tersedia, perlu kalkulasi ulang bagian dari rangkaian waktu yang telah diperkirakan menggunakan ekstrapolasi tren.



Gambar 3.3 Ekstrapolasi Linear

Tidak seperti data yang tersedia secara berkala, ketika data tidak tersedia untuk tahun-tahun pertama dalam rangkaian waktu (misalnya, tahun dasar dan data tahun dasar pra misalnya pembuangan limbah dan penggunaan lahan) tidak ada kemungkinan mengisi kesenjangan dengan survei di masa depan. Ekstrapolasi tren kembali dalam waktu mungkin tetapi harus dilakukan dalam kombinasi dengan teknik *splicing* lainnya seperti data pengganti dan tumpang tindih. Beberapa negara yang telah mengalami transisi administratif dan ekonomi yang signifikan sejak tahun 1990 tidak memiliki data aktivitas yang konsisten untuk seluruh rangkaian waktu, terutama jika kumpulan data nasional mencakup wilayah geografis yang berbeda di tahun-tahun sebelumnya. Untuk mengekstrapolasi mundur dalam kasus ini, perlu untuk menganalisis hubungan antara set data aktivitas yang berbeda untuk periode yang berbeda, mungkin menggunakan beberapa set data pengganti.

3.2.2 Metodologi Sektor

1. Sektor Energi

Tingkat emisi GRK yang tercantum dalam inventarisasi sektor energi dihitung menggunakan *Tier-1* metode IPCC *Guidelines* 2006 dengan nilai faktor emisi *default* dan data aktivitas dalam unit energi (SBM, setara barel minyak) yang dikumpulkan dari Tabel Keseimbangan Energi (*Energy Balance Table*) pada *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia* (HEESI), yang dipublikasikan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM). Dalam menggunakan Tabel Keseimbangan Energi (*Energy Balance Table*) agar sesuai dengan kategori pada pedoman IPCC *Guidelines* 2006, maka dilakukan pengklasifikasian sebagaimana tersaji dalam Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Pengklasifikasian Kategori Antara IPCC *Guidelines* 2006 dan Tabel Keseimbangan Energi

Kategori IPCC 2006		Tabel Keseimbangan Energi (Energy Balance Table)	
1A1a	Main activity electricity and heat production	2 e.	Power plant
			PLN
			Non-PLN
1A1b	Petroleum refining	2 a.	Refinery
		2 b.	LPG Plant
		2 c.	LNG Plant
		3 a.	During Transformation
		3 b.	Energy use/own use
1A1c	Manufacture of solid fuels and other energy industries	2 d.	Coal Processing Plant
1A2	Manufacturing Industries and Construction	6 a.	Industry
1A3	Transport	6 b.	Transportation

Kategori IPCC 2006		Tabel Keseimbangan Energi (Energy Balance Table)	
1A4a	Commercial/institutional	6 d.	Commercial
1A4b	Residential	6 c.	Household
1A4c	Other Sector	6 e.	Other sector
1B1	Solid Fuel	1 a.	Production/Coal
1B2a	Oil	1 a.	Production/Crude Oil
		4	Final Energy Supply/LPG
1B2b	Natural Gas	1 a.	Production/Natural Gas
		4	Final Energy Supply/LPG

Seperti yang tercantum dalam IPCC *Guidelines* 2006, emisi GRK dihitung menggunakan kedua metode, yaitu *reference approach* dan *sectoral approach*. Kedua metode sering menghasilkan hasil yang berbeda karena *reference approach* merupakan pendekatan *top-down* dihitung menggunakan data agregat dari suplai energi primer nasional, sementara *sectoral approach* merupakan pendekatan *bottom-up* dihitung menggunakan data permintaan energi akhir, data transformasi energi, dan data terkait fugitif. Perbedaan tingkat emisi GRK antara *reference approach* dan *sectoral approach* biasanya tidak lebih dari 5%. Perbedaan ini sering dikarenakan oleh emisi fugitif GRK dan *stock change* pada pengguna. Adapun detail metodologi perhitungan tingkat emisi gas rumah kaca sektor energi dapat diakses pada tautan, sebagai berikut :

<https://signsmart.menlhk.go.id/v2.1/app/frontend/pedoman/detail/96>

2. Sektor IPPU

Estimasi nilai emisi GRK untuk sektor proses industri dan penggunaan produk (*Industrial Processes and Product Use/IPPU*) menggunakan metodologi yang tercantum pada pedoman IPCC *Guidelines* 2006. *Tier-1* memerlukan data aktivitas berupa data agregat statistik produksi produk industri, jumlah penggunaan karbon, pelumas, lilin, dan lain-lain secara aktual dalam skala nasional. Pengumpulan data berdasarkan pada jenis industri pada salah satu proses atau keseluruhan proses pembuatan produk mengemisikan atau berpotensi mengemisikan gas rumah kaca.

Pengembangan menuju *Tier-2* sudah dilakukan untuk industri semen, ammonia, dan alumunium. Ketiga industri tersebut sudah mengembangkan faktor emisi lokal spesifik untuk jenis industri tersebut melalui penelitian dan proyek *Clean Development Mechanism* (CDM). Adanya pengembangan nilai faktor emisi ini akan mengakibatkan kualitas perhitungan emisi semakin baik, di samping menurunkan nilai *uncertainty*. Detail metodologi sektor IPPU secara rinci dapat diakses pada tautan, sebagai berikut :

<https://signsmart.menlhk.go.id/v2.1/app/frontend/pedoman/detail/97>

3. Sektor Pertanian

Perhitungan emisi GRK Sektor Pertanian Tahun 2023 merupakan hasil perhitungan dengan menggunakan aplikasi SIGN SMART dan telah dilakukan pembahasan dengan melibatkan berbagai *stakeholders* terkait (Direktorat Teknis Kementerian Pertanian, dan Perguruan Tinggi). Secara umum, metodologi yang digunakan mengacu pada IPCC *Guidelines* 2006 dengan beberapa penggunaan asumsi, parameter dan *expert judgement* yang disesuaikan dengan kondisi di Indonesia.

a. Peternakan

Perhitungan emisi GRK dari subsektor Peternakan yang disajikan dalam inventarisasi emisi GRK ini menggunakan *Tier-2* metode IPCC *Guidelines* 2006. Penggunaan *tier* yang lebih tinggi didukung adanya pembagian data aktivitas berdasarkan jenis kelas umur dan faktor emisi lokal masing–masing jenis ternak. Pembagian kelas umur dan faktor emisi lokal tersebut disajikan dalam Tabel 3.3. Dalam perhitungan emisi GRK Tahun 2024 (Data Tahun 2023) pada subsektor Peternakan terdapat pemutakhiran proporsi kelas umur ternak yang bersumber dari Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan Kementerian Pertanian Tahun 2017, sedangkan faktor emisi yang digunakan masih sama dengan tahun sebelumnya.

Estimasi emisi dari ternak ditentukan melalui perhitungan emisi dengan mengalikan suatu data aktivitas (misalnya jumlah populasi) dengan faktor emisi lokal. Emisi metana dari fermentasi enterik dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Emission = EF_{(T)} * N_{(T)} * 10^6$$

Di mana:

Emission : Emisi metana dari fermentasi enterik, *Gg CH₄yr-1*
EF(T) : Faktor emisi populasi jenis ternak tertentu, *kg CH₄-1yr-1*
N(T) : Jumlah populasi jenis/kategori ternak tertentu, *Animal Unit*
T : Jenis/kategori ternak

Tabel 3.3 Pembagian Kelas Umur, Faktor Emisi serta Bobot Ternak Lokal

Jenis Ternak	Subkategori	Jenis Kelamin	Prosentase (%)	Faktor Emisi CH ₄ Fermentasi Enterik (Kg CH ₄ /tahun/ekor)	Faktor Emisi CH ₄ Manure Management (Kg CH ₄ /tahun/ekor)	Berat Ternak Lokal (Kg)
Sapi Potong	Anakan (0-1 th)	Betina + Jantan	18,10	18,1839	0,7822	63
	Lepas Sapih (1-2 th)	Betina + Jantan	25,15	27,1782	1,6202	134,48

Jenis Ternak	Subkategori	Jenis Kelamin	Prosentase (%)	Faktor Emisi CH ₄ Fermentasi Enterik (Kg CH ₄ /tahun/ekor)	Faktor Emisi CH ₄ Manure Management (Kg CH ₄ /tahun/ekor)	Berat Ternak Lokal (Kg)
	Muda (2-4 th)	Betina + Jantan	19,14	41,7733	3,4661	286
	Dewasa (> 4 th)	Betina + Jantan	28,26	55,8969	3,6352	400
	Impor	Betina + Jantan	9,35	25,4879	7,9662	500
Sapi Perah	Anakan (0-1 th)	Betina + Jantan	18,68	16,5508	0,5167	46
	Lepas Sapih (1-2 th)	Betina + Jantan	22,40	35,0553	2,5152	198,64
	Muda (2-4 th)	Betina + Jantan	22,93	51,9609	5,5262	275
	Dewasa (>4 th)	Betina + Jantan	35,99	77,1446	12,181	402,5
Kerbau	Anakan (0-1 th)	Betina + Jantan	13,53	20,5531	0,7476	100
	Lepas Sapih (1-2 th)	Betina + Jantan	21,47	41,1063	3,9864	200
	Muda (2-4 th)	Betina + Jantan	14,81	61,6594	8,9695	300
	Dewasa (> 4 th)	Betina + Jantan	50,19	82,2126	15,9457	400
Kambing	Anakan	Betina + Jantan	25,84	2,2962	0,0252	8
	Lepas Sapih	Betina + Jantan	26,26	2,6482	0,017	20
	Dewasa	Betina + Jantan	47,9	3,2705	0,0295	25
Domba	Anakan	Betina + Jantan	24,46	1,3052	0,0079	8
	Lepas Sapih	Betina + Jantan	26,69	4,3304	0,0465	20
	Dewasa	Betina + Jantan	48,85	5,2502	0,0752	25
Babi	Anakan	Betina + Jantan	37,57	0,4331	0,0013	15
	Lepas Sapih	Betina + Jantan	30,34	1,0291	0,0075	60
	Dewasa	Betina + Jantan	32,09	1,2785	0,0115	80
Kuda	Anakan	Betina + Jantan	18,82	25,9888	0,5967	200
	Lepas Sapih	Betina + Jantan	22,62	53,2693	2,5071	350
	Dewasa	Betina + Jantan	58,56	74,8457	4,9494	500
Unggas						
Ayam Kampung	-	-		-	0,0031	1,5
Ayam Petelur	-	-		-	0,0043	2
Ayam Potong	-	-		-	0,0039	1,2
Bebek	-	-		-	0,0035	1,5

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

$$\text{CH}_4 \text{ Manure} = \sum_T \left(\frac{EF_T * N_T}{10^6} \right)$$

Di mana:

$\text{CH}_4 \text{ Manure}$: Emisi metana dari pengelolaan kotoran ternak, *Gg CH₄ yr-1*

$EF(T)$: Faktor emisi populasi jenis ternak tertentu, *kg CH₄ head-1 yr-1*

$N(T)$: Jumlah populasi jenis/kategori ternak tertentu, *Animal Unit*

T : Jenis/kategori ternak

Perhitungan emisi terhadap kategori Emisi N₂O langsung dan tidak langsung juga menggunakan metodologi *Tier-2* dengan data aktivitas populasi ternak berdasarkan kelas umur, bobot ternak lokal (Tabel 3.3), namun dengan tambahan parameter mengenai sistem pengelolaan limbah ternak yang diterapkan di Indonesia. Informasi mengenai sistem pengelolaan limbah ini akan menentukan seberapa besar fraksi nitrogen yang terlepas ke atmosfer. Sejauh ini, belum pernah dilakukan survei terhadap porsi penggunaan sistem pengelolaan limbah untuk masing-masing jenis ternak, untuk itu pada parameter ini dilakukan dengan penilaian pakar (*expert judgement*).

b. Sumber Agregat dan Sumber Emisi Non-CO₂ pada Lahan

Emisi GRK dari sumber agregat dan sumber emisi Non-CO₂ pada lahan dalam inventarisasi emisi GRK diperkirakan menggunakan *Tier-1* metode IPCC *Guidelines* 2006, dengan nilai faktor emisi *default* dan metode *Tier-2* khusus untuk kategori budidaya padi sawah.

Emisi CH₄ dari budidaya padi sawah dihitung berdasarkan data aktivitas berupa luas lahan persawahan, jenis tanah pada lahan persawahan, dan sistem pengairan yang diterapkan. Metodologi yang digunakan untuk kategori ini sudah termasuk ke dalam *Tier-2* karena faktor emisi dan beberapa parameter yang digunakan sudah dikembangkan sendiri di Indonesia. Parameter lokal yang digunakan adalah faktor koreksi (*correction factor*) untuk jenis tanah, faktor skala (*scaling factor*) untuk tiap jenis sistem pengairan. Faktor emisi lokal telah dikembangkan untuk setiap varietas padi di Indonesia.

Emisi CH₄ dihitung dengan mengalikan faktor emisi harian dengan lama budidaya padi sawah dan luas panen sesuai persamaan di bawah ini:

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

Dimana:

CH_4 Rice	:	Emisi metan dari budidaya padi sawah, Gg CH_4 per tahun
$EF_{i,j,k}$	:	Faktor emisi untuk kondisi i, j, dan k; kg CH_4 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 dimana emisi CH_4 dari padi sawah dapat bervariasi

Emisi metana dari budidaya padi dihitung dengan menggunakan faktor emisi yang dirangkum dari nilai-nilai lokal sawah di Indonesia. Faktor emisi dari sawah Indonesia berkisar antara 0,67 – 79,86 g CH_4/m_2 /musim dengan nilai *default* rata-rata 160,9 kg CH_4/Ha /musim. Faktor skala tanah dimodifikasi, karena beberapa penelitian yang dilakukan di Indonesia menemukan bahwa sifat-sifat tanah yang berbeda diperoleh potensi yang berbeda produksi CH_4 (Tabel 3.4). Selain itu, faktor skala untuk rezim air dan varietas padi yang digunakan adalah faktor skala lokal (*country specific*) seperti disajikan pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6.

Tabel 3.4 Revisi Faktor Skala Jenis Tanah yang Berbeda dari Indonesia

Jenis Tanah	SF Tanah <i>Adjusted</i>
Alfisols	0,84 (0,32-1,59)
Andosols	1,02
Entisols	1,02 (0,94-1,09)
Histosols	2,39 (0,92-3,86)
Inceptisols	1,12 (1,0-1,23)
Mollisols	-
Oxisols	0,29 (0,1-0,47)
Ultisols	0,29
Vertisols	1,02 (0,94-1,09)

Tabel 3.5 Faktor Skala yang Disesuaikan dengan Ekosistem Padi dan Tata Air Indonesia

Kategori	Subkategori		SF (IPCC Guidelines 1996)	Adjusted SF (based on current studies in Indonesia)
<i>Upland</i>	<i>None</i>		0	
<i>Lowland</i>	<i>Irrigated</i>	<i>Continuously Flooded</i>	1,0	1,00
		<i>Intermittently Flooded</i>	<i>Single Aeration</i>	0,46 (0,38-0,53)
			<i>Multiple Aeration</i>	
	<i>Rainfed</i>	<i>Flood Prone</i>	0,8 (0,5-1,0)	0,49 (0,19-0,75)
		<i>Drought Prone</i>	0,4 (0-0,5)	
	<i>Deep Water</i>	<i>Water Depth 50-100 cm</i>	0,8 (0,6-1,0)	
		<i>Water Depth < 50 cm</i>	0,6 (0,5-0,8)	

Tabel 3.6 Faktor Skala untuk Varietas Padi yang Berbeda di Indonesia

No	Varietas	Rerata Emisi (kg/Ha/session)	Faktor Skala
1.	Gilirang	496,9	2,46
2.	Aromatic	273,6	1,35
3.	Tukad Unda	244,2	1,21
4.	IR 72	223,2	1,10
6.	Cisadane	204,6	1,01
5.	IR 64	202,3	1,00
7.	Margasari	187,2	0,93
8.	Cisantana	186,7	0,92
9.	Tukad Petanu	157,8	0,78
10.	Batang Anai	153,5	0,76
11.	IR 36	147,5	0,73
12.	Memberamo	146,2	0,72
13.	Dodokan	145,6	0,72
14.	Way Apoburu	145,5	0,72
15.	Muncul	127,0	0,63
16.	Tukad Balian	115,6	0,57
17.	Cisanggarung	115,2	0,57
18.	Ciherang	114,8	0,57
19.	Limboto	99,2	0,49
20.	Wayrareem	91,6	0,45
21.	Maros	73,9	0,37
22.	Mendawak	255	1,26
23.	Mekongga	234	1,16
24.	IR42	269	1,33
25.	Fatmawati	245	1,21
26.	BP360	215	1,06
27.	BP205	196	0,97
28.	Hipa4	197	0,98
29.	Hipa6	219	1,08
30.	Rokan	308	1,52
31.	Hipa 5 Ceva	323	1,60
32.	Hipa 6 Jete	301	1,49

No	Varietas	Rerata Emisi (kg/Ha/session)	Faktor Skala
33.	Inpari 1	271	1,34
34.	Inpari 6 Jete	272	1,34
35.	Inpari 9 Elo	359	1,77
36.	Banyuasin	584,8	2,49
37.	Batanghari	517,8	2,20
38.	Siak Raya	235,2	1,00
39.	Sei Lalan	152,6	0,65
40.	Punggur	144,2	0,61
41.	Indragiri	141,1	0,60
42.	Air Tenggulang	140,0	0,60
43.	Martapura	125,7	0,53

Perhitungan emisi pada sub kategori selain yang telah dijelaskan di atas masih menggunakan metode perhitungan dengan pendekatan *Tier 1*. Buku metode perhitungan emisi Sektor Pertanian secara detail dapat di unduh pada link berikut ini (<https://signsmart.menlhk.go.id/v2.1/app/frontend/pedoman/detail/95>).

4. Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

Metodologi yang digunakan pada perhitungan emisi ini adalah metode yang ditetapkan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) dalam *IPCC Guidelines 2006*, yaitu menggunakan metode *gain and loss* dimana net emisi diukur dari penjumlahan antara emisi dan serapan karbon pada setiap kategori dan subkategori.

Pada sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya, emisi/serapan GRK dikategorisasikan berdasarkan 6 (enam) kategori penggunaan lahan IPCC *Guidelines 2006*. Dimana, pada setiap kategori penggunaan lahan tersebut dikelompokkan menjadi lahan yang tetap/tersisa dalam kategori penggunaan lahan yang sama dan lahan yang berubah ke penggunaan lahan–lahan lainnya. Sumber emisi GRK tersebut akan diperhitungkan pada emisi/*removal* dari; 1) perubahan stok karbon di atas dan bawah permukaan tanah (*above and below ground biomass*); 2) dekomposisi gambut; dan 3) kebakaran gambut. Persamaan dalam penghitungan secara detail dapat diunduh pada aplikasi web SIGN SMART (<https://signsmart.menlhk.go.id/v2.1/app/frontend/pedoman/detail/95>).

a. Pendugaan Emisi/Serapan dari Perubahan Stok Karbon

Pada penghitungan emisi/serapan dari perubahan stok diperlukan data aktivitas berupa i) peta tutupan lahan mineral dan gambut, ii) volume kayu bulat dan iii) volume kayu bakar.

Peta tutupan lahan yang dihasilkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan digunakan sebagai dasar untuk menghasilkan data aktivitas untuk menghitung emisi GRK dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan

Lainnya. Peta tutupan lahan ditafsirkan secara manual/visual dari citra satelit *Landsat* menjadi 23 kelas tutupan dan divalidasi dengan *ground checking* dan citra resolusi tinggi. Luas minimum yang digambarkan poligon adalah 0,25 cm² pada peta skala 1 : 50.000 yang sama dengan 6,25 Ha. Permasalahan umum yang ditemukan dalam citra satelit *Landsat*, seperti SLC-off dan adanya daerah yang tertutup awan, diperbaiki dengan cara menggabungkan citra satelit *Landsat* multi-temporal.

Set data tutupan lahan yang tersedia dan digunakan untuk melengkapi inventarisasi GRK pada sektor ini adalah data tahun 1996, 2000, 2003, 2006, 2009, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, dan 2023.

Klasifikasi kategori penggunaan lahan dalam IPCC *Guidelines* 2006 terbagi menjadi 6 (enam) kategori penggunaan lahan, sehingga kategori tutupan lahan yang digunakan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dikelompokkan mengikuti kategori penggunaan lahan IPCC seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Penyesuaian Kategori Tutupan Lahan KLHK dengan Kelas Penggunaan Lahan IPCC

No	Kelas Tutupan Lahan KLHK	2006 IPCC GL	Singkatan	Keterangan
	Forest			
1.	Primary dryland forest	Forest	FL	Natural forest
2.	Secondary dryland forest	Forest	FL	Natural forest
3.	Primary mangrove forest	Forest	FL	Natural forest
4.	Secondary mangrove forest	Forest	FL	Natural forest
5.	Primary swamp forest	Forest	FL	Natural forest
6.	Secondary swamp forest	Forest	FL	Natural forest
7.	Plantation forest	Forest	FL	Plantation forest
	Other Land Use			
8.	Estate crop	Crop land	CL	Non-forest
9.	Pure dry agriculture	Crop land	CL	Non-forest
10.	Mixed dry agriculture	Crop land	CL	Non-forest
11.	Dry shrub	Grassland	GL	Non-forest
12.	Wet shrub	Grassland	GL	Non-forest
13.	Savanna and Grasses	Grassland	GL	Non-forest
14.	Paddy Field	Crop land	CL	Non-forest
15.	Open swamp	Wetland	WL	Non-forest
16.	Fish pond/aquaculture	Wetland	WL	Non-forest
17.	Transmigration areas	Cropland	CL	Non-forest

No	Kelas Tutupan Lahan KLHK	2006 IPCC GL	Singkatan	Keterangan
18.	Settlement areas	Settlement	SL	Non-forest
19.	Port and harbor	Other land	OL	Non-forest
20.	Mining areas	Other land	OL	Non-forest
21.	Bare ground	Other land	OL	Non-forest
22.	Open water	Wetland	WL	Non-forest
23.	Clouds and no-data	No data	-	Non-forest

Faktor emisi/serapan karbon yang digunakan dalam inventarisasi GRK diambil dari beberapa studi spesifik di Indonesia. Rerata pertumbuhan tahunan dari kategori penutupan lahan yang berbeda mengacu pada beberapa referensi, laporan dan *literature* (Tabel 3.8).

Pada penyelenggaraan inventarisasi GRK tahun 2018, dilakukan rekalkulasi karena adanya perubahan data aktivitas perubahan tutupan lahan tahun 2012-2018. Pada tahun tersebut juga terdapat perubahan angka rerata pertumbuhan untuk kelas hutan. Asumsi yang digunakan bahwa pada setiap kelas hutan primer dan sekunder tetap memiliki pertumbuhan meskipun kecil. Nilai pertumbuhan pada kelas hutan (hutan lahan kering primer, hutan lahan kering sekunder, hutan *mangrove* primer, hutan rawa primer, dan hutan rawa sekunder) sebesar 1,075 tC/Ha/tahun, sesuai dengan rerata MAI pada IPCC 2006. Sebagai bentuk konsistensi dan kontinuitas, pelaporan inventarisasi GRK tahun 2019 – 2023 adalah melanjutkan laporan tahun 2018 dan mempergunakan data aktivitas maupun faktor emisi hasil rekalkulasi tersebut.

Tabel 3.8 Rerata Pertumbuhan Tahunan pada Berbagai Kategori Penggunaan Lahan

Penggunaan/Penutupan Lahan	Kategori IPCC	MAI* (tC/ha/th)	Sumber Data
Shrubs	GL	0,2	Bappenas, 2010
Swamp Shrubs	GL	0,6	Bappenas, 2010
Primary dryland forest	FL	1,075	IPCC, 2006 (Mean Value)
Secondary dryland forest	FL	1,075	IPCC, 2006 (Mean Value)
Primary Mangrove Forest	FL	1,075	IPCC, 2006 (Mean Value)
Secondary Mangrove Forest	FL	2,8	MoF, 1998
Primary Swamp Forest	FL	1,075	IPCC, 2006 (Mean Value)
Secondary Swamp Forest	FL	1,075	IPCC, 2006 (Mean Value)
Plantation Forest	FL	4,8	IPCC, 2003
Settlement	SL	0,2	Bappenas, 2010
Agriculture Plantation	CL	2,52	Bappenas, 2010

Penggunaan/Penutupan Lahan	Kategori IPCC	MAI* (tC/ha/th)	Sumber Data
<i>Mining</i>	<i>OL</i>	<i>0</i>	<i>Bappenas, 2010</i>
<i>Dry land agriculture</i>	<i>CL</i>	<i>0,2</i>	<i>Bappenas, 2010</i>
<i>Dry land agriculture mixed with shrubs</i>	<i>CL</i>	<i>0,6</i>	<i>Bappenas, 2010</i>
<i>Swamp</i>	<i>WL</i>	<i>0,1</i>	<i>Bappenas, 2010</i>
<i>Savannah/grassland</i>	<i>GL</i>	<i>0,2</i>	<i>Bappenas, 2010</i>
<i>Rice paddy</i>	<i>CL</i>	<i>0</i>	<i>Bappenas, 2010</i>
<i>Ponds</i>	<i>OL</i>	<i>0</i>	<i>Bappenas, 2010</i>
<i>Open land</i>	<i>OL</i>	<i>0,1</i>	<i>Bappenas, 2010</i>
<i>Transmigration</i>	<i>CL</i>	<i>1,32</i>	<i>Bappenas, 2010</i>

* Mean Annual Increment

Source: National Forest Reference Level For Deforestation, Forest Degradation, And Enhancement Of Forest Carbon Stock Tahun 2022

Pada laporan ini, telah dilakukan perubahan parameter pada stok karbon yang digunakan. Stok karbon untuk deforestasi, degradasi hutan, dan peningkatan stok karbon hutan, dihasilkan dari data *Tier-2*. Sumber data utama yang digunakan adalah *National Forest Inventory* (NFI), sebuah program nasional yang diprakarsai oleh Departemen Kehutanan pada tahun 1989 dan didukung oleh Organisasi Pangan dan Pertanian Perserikatan Bangsa-Bangsa (FAO) dan Bank Dunia melalui proyek NFI. AGB masing-masing pohon di plot diperkirakan menggunakan model alometrik pohon yang dikembangkan untuk hutan Indonesia (Manuri *et al.*, 2017; Manuri *et al.*, 2014). Diferensiasi wilayah juga relevan dengan data NFI yang digunakan untuk memperkirakan stok karbon yang dikelompokkan berdasarkan pulau. Berdasarkan data rata-rata nasional dan per pulau tidak berbeda signifikan, sehingga untuk memudahkan dalam proses penghitungan emisi/serapan dan proses analisis lebih lanjut maka digunakan satu nilai stok karbon. Untuk hutan *mangrove*, dihitung menggunakan persamaan alometrik untuk spesies pohon *mangrove* dari Chave *et al.* (2005), karena lebih akurat daripada persamaan alometrik *mangrove* lokal lainnya. Data rerata karbon stok dari biomassa di atas permukaan (AGB) dan biomassa di bawah permukaan tanah (BGB) untuk berbagai tipe hutan tersedia pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Karbon Stok dari Biomassa di atas Permukaan (AGB) dan di bawah Permukaan (BGB) untuk Berbagai Tipe Penutupan Lahan

Forest Type	AGB (t.d.m ha ⁻¹)		BGB (t.d.m ha ⁻¹)		Total Biomass (t.d.m ha ⁻¹)		U (%)
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	
Primary Dryland Forest	291.24	4.35	84.46	1.25	375.70	4.52	2.4
Secondary Dryland Forest	204.10	2.72	59.19	0.80	263.29	2.84	2
Primary Swamp Forest	248.80	12.92	54.74	3.20	303.53	13.31	8.6
Secondary Swamp Forest	204.61	4.98	45.01	1.23	249.62	5.13	4.0
Primary Mangrove Forest	236.17	15.26	73.45	4.66	309.62	15.96	10.1
Secondary Mangrove Forest	118.02	15.72	13.57	1.78	131.59	15.82	23.6
Plantation forest	161.23	16.00	52.40	5.20	213.63	16.83	15.44
Dry shrub	128.49	15.36	30.32	3.63	158.81	15.78	19.48
Estate crop	102.35	14.67	33.26	4.77	135.61	15.43	22.30
Settlement	4.61	2.48	1.34	0.72	5.95	2.58	85.18
Bare ground	5.11	2.89	1.21	0.68	6.31	2.97	92.17
Savanna and Grasses	8.64	4.13	2.04	0.98	10.68	4.25	77.88
Open water	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wet shrub	41.15	8.44	9.71	1.99	50.86	8.67	33.42
Pure dry agriculture	29.95	16.38	5.99	3.28	35.94	16.71	91.10
Mixed dry agriculture	137.52	4.89	27.50	0.98	165.03	4.99	5.93
Paddy field	21.27	8.26	5.02	1.95	26.29	8.49	63.27
Fish pond/aquaculture	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Port and harbour	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Transmigration areas	29.95	16.38	5.99	3.28	35.94	16.71	91.10
Mining areas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Open swamps	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Source: National Forest Reference Level For Deforestation, Forest Degradation, And Enhancement Of Forest Carbon Stock Tahun 2022

b. Pendugaan Emisi dari Dekomposisi Gambut

Selama ini, Indonesia menggunakan faktor emisi *default* dari *IPCC Wetlands Supplement (2014)*. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan, terdapat lebih banyak studi lapangan baru mengenai beberapa jenis penggunaan lahan di Indonesia. Kemudian, untuk meningkatkan faktor emisi dari dekomposisi gambut diperkaya data yang berasal dari literatur digunakan untuk menilai faktor emisi emisi CO₂, N₂O dan CH₄ berdasarkan jenis tutupan lahan di Indonesia. Data tersebut seperti yang dipresentasikan pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10 Faktor Emisi untuk Dekomposisi Gambut dari Berbagai Penutupan Lahan

<i>Land Cover</i>	<i>Mean (t CO₂ ha⁻¹yr⁻¹)</i>	<i>95% Confidence Interval (t CO₂ ha⁻¹yr⁻¹)</i>		<i>Uncertainty %</i>
<i>Primary dryland forest</i>	0			
<i>Secondary dryland forest</i>	32.42	24.85	40	23.38
<i>Primary mangrove forest</i>	0			
<i>Primary swamp forest</i>	0			
<i>Plantation forest</i>	72.95	50.04	95.87	31.42
<i>Dry shrub</i>	45.04	26.21	63.87	41.81
<i>Estate crop</i>	36.63	27.6	45.65	24.62
<i>Settlement areas</i>	45.04	26.21	63.87	41.81
<i>Bare ground</i>	63.79	49.61	77.98	22.24
<i>Savanna and Grasses</i>	45.04	26.21	63.87	41.81
<i>Open water</i>	0			
<i>Secondary mangrove forest</i>	32.42	24.85	40	23.38
<i>Secondary swamp forest</i>	32.42	0	0	-100.00
<i>Wet shrub</i>	45.04	26.21	63.87	41.81
<i>Pure dry agriculture</i>	45.42	25.12	65.72	44.69
<i>Mixed dry agriculture</i>	54.66	30.42	78.91	44.37
<i>Paddy field</i>	33.71	-0.72	68.14	102.14
<i>Fish pond/aquaculture</i>	0			
<i>Port and harbour</i>	0			
<i>Transmigration areas</i>	54.66	30.42	78.91	44.37
<i>Mining areas</i>	63.79	49.61	77.98	22.24
<i>Open swamp</i>	0			

Source: National Forest Reference Level For Deforestation, Forest Degradation, And Enhancement Of Forest Carbon Stock Tahun 2022

c. Pendugaan Emisi dari Kebakaran Hutan dan Lahan

Data aktivitas yang digunakan dalam pendugaan emisi dari kebakaran hutan dan lahan adalah luas area yang terbakar. Data tersebut dipublikasi oleh Direktorat Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

Kebakaran besar pada tahun 2015 dan 2019 telah mengakibatkan hilangnya karbon secara signifikan dan meningkatkan karbon dioksida dan gas jejak lainnya ke atmosfer. Dengan diakuinya kebakaran gambut sebagai emisi GRK yang signifikan di Indonesia, emisi CO₂ dan CH₄ dari kebakaran gambut

juga dihitung dalam laporan ini. Kebakaran gambut merupakan sumber emisi penting di Indonesia dan sangat disarankan untuk melaporkan emisi dengan menerapkan *Tier* setinggi mungkin (IPCC, 2014).

Beberapa parameter pada estimasi emisi dari Kebakaran Gambut teridentifikasi *over-estimate* (misalnya pada FE = 923,1 ton CO₂e/Ha). Menurut studi lapangan Krisnawati *et al.* (2021), faktor pembakaran (Cf) diperoleh dari nilai rata-rata Cf yang diperkirakan pada rentang kedalaman gambut (10 cm – 40 cm). Faktor emisi CO₂ dan CH₄ dianalisis menggunakan pengukuran lapangan dan laboratorium untuk mengubah massa terbakar gambut yang dikonsumsi oleh api menjadi emisi gas CO₂ dan CH₄ yang dipancarkan. Rata-rata kedalaman gambut yang terbakar dihitung dari pengukuran lapangan pasca kebakaran (misalnya Stockwell 2015) dan alat penginderaan jauh (Ballhorn *et al.* 2009; Huijnen dkk; Konecny *et al.* 2016) yang mencakup kebakaran hutan dan studi pembakaran terkendali (Saharjo 2007; Saharjo dan Munoz 2005). Nilai dimaksud dapat dilihat pada Tabel 3.11 di bawah ini:

Tabel 3.11 Parameter untuk Memperkirakan Emisi Kebakaran Gambut

<i>Parameter</i>	<i>Mean (SE)</i>	<i>Unit</i>	<i>Source</i>
<i>Cf (combustion factor)</i>	0.54 (0.05)	-	<i>Krisnawati et al. 2021;</i>
<i>Gef CO₂ (CO₂ emission factor)</i>	1670.13 (34.03)	<i>g kg⁻¹ CO</i>	<i>Stockwell et al.2016; Stockwell et al.2015; Stockwell et al. 2014; Christian et al. (2003); Huijnen et al.2016; Setyawaty et al.2017; Wooster et al.2018; Nara et al.2017</i>
<i>Gef CH₄ (CH₄ emission factor)</i>	177,87 (24,36)	<i>g kg⁻¹ CO_{2eq}</i>	<i>Stockwell et al.2016; Stockwell et al.2015; Stockwell et al. 2014; Christian et al. (2003); Huijnen et al.2016; Setyawaty et al.2017; Wooster et al.2018; Nara et al.2017</i>
<i>BD (bulk density)</i>	0.16 (0.015)	<i>g cm⁻³</i>	<i>Konecny et al. 2016; Warren et al. 2012, Agus et al. 2011; Lampela et al.2014; Kononen et al. 2015; Shimada et al.2001</i>
<i>Db (Burn depth)</i>	31.88 (4.68)	<i>cm</i>	<i>Stockwell et al.2016; Ballhorn et al.2009; Konecny et al. 2016; Usup et al.2004; Page et al.2002; Saharjo 2007; Simpson et al.2016; Saharjo and Munoz 2005</i>

Source: National Forest Reference Level For Deforestation, Forest Degradation, And Enhancement Of Forest Carbon Stock Tahun 2022

Dengan adanya studi diatas, maka pada pelaporan tahun 2023 dilakukan perbaikan faktor emisi untuk kebakaran gambut dengan menggunakan nilai parameter diatas dan telah dilakukan rekalkulasi tahun-tahun kebelakang (FE = 460,026 ton CO_{2e}/Ha). Pada Tabel 3.12, faktor emisi untuk memperkirakan emisi non-CO₂ dari pembakaran biomassa, berasal dari pedoman IPCC *Guidelines* 2006, yaitu, faktor pembakaran dan faktor emisi untuk setiap gas bahan kering yang dibakar. Sedangkan massa bahan bakar dihasilkan dari AGB dan DOM masing-masing jenis hutan. Nilai *Global Warming Potential* (GWP) digunakan untuk mengkonversi data emisi GRK non-CO₂ menjadi karbon dioksida ekuivalen (CO_{2e}), dengan mengikuti *Second Assessment Report* (2nd AR of IPCC).

Tabel 3.12 Faktor Emisi untuk Emisi non-CO₂ dari Pembakaran Biomassa

<i>Land cover</i>	<i>Fuel-Biomass (t ha⁻¹ DM)</i>	<i>Combustion Factors</i>	<i>G_{ef} CH₄ (g kg⁻¹ DM)</i>	<i>G_{ef} N₂O (g kg⁻¹ DM)</i>	<i>GWP CH₄</i>	<i>GWP N₂O</i>	<i>L_{fire_EF} CH₄ (tCO₂)</i>	<i>L_{fire_EF} N₂O (tCO₂)</i>
<i>Primary dry land forest</i>	352.4	0.36	6.8	0.2	21	310	18.12	7.87
<i>Secondary dry land forest</i>	275.0	0.55	6.8	0.2	21	310	21.60	9.38
<i>Primary mangrove forest</i>	249.9	0.36	6.8	0.2	21	310	12.85	5.58
<i>Primary swamp forest</i>	297.6	0.36	6.8	0.2	21	310	15.30	6.64
<i>Secondary mangrove forest</i>	132.4	0.55	6.8	0.2	21	310	10.40	4.52
<i>Secondary swamp forest</i>	256.3	0.55	6.8	0.2	21	310	20.13	8.74

Source: National Forest Reference Level For Deforestation, Forest Degradation, And Enhancement Of Forest Carbon Stock Tahun 2022

Penghitungan emisi GRK sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya yang disajikan dalam laporan ini dihasilkan dengan menggunakan aplikasi SIGN SMART (<http://signsmart.menlhk.go.id/>).

5. Sektor Limbah

Secara umum metodologi inventarisasi GRK sektor limbah mengacu pada pedoman IPCC *Guidelines* 2006. Metodologi penghitungan emisi GRK dari sektor limbah yang disajikan dalam laporan ini menggunakan *Tier-1* dan *Tier-2* IPCC *Guidelines* 2006. *Tier-2* metode IPCC *Guidelines* 2006 digunakan pada kategori limbah padat domestik dan limbah cair industri, sedangkan limbah padat domestik dan limbah cair domestik masih menggunakan *Tier-1* IPCC *Guidelines* 2006. Metodologi inventarisasi GRK sektor limbah secara garis besar meliputi metodologi pengumpulan data aktivitas dan faktor emisi, metodologi penghitungan tingkat emisi GRK dari tumpukan sampah di TPA, metodologi penghitungan tingkat emisi GRK dari pengolahan limbah padat secara biologi, metodologi penghitungan tingkat emisi GRK dari insinerasi limbah dan pembakaran terbuka (*open burning*), metodologi penghitungan tingkat emisi

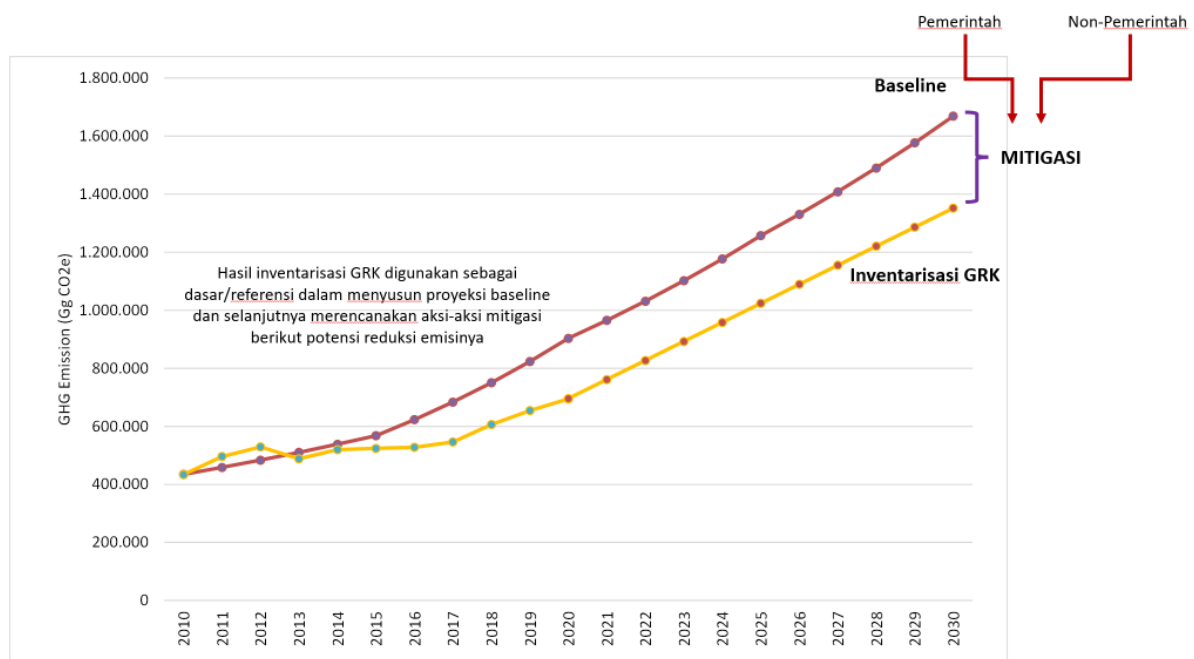
GRK dari kegiatan pengolahan/pembuangan limbah cair. Selanjutnya, detail metodologi inventarisasi GRK sektor limbah dapat diakses pada link <https://signsmart.menlhk.go.id/v2.1/app/frontend/pedoman/detail/98>.

Tingkat emisi GRK di sektor limbah padat domestik bergantung pada fraksi jumlah sampah yang diolah, karakteristik dan tipe pengolahannya. Emisi GRK yang dihitung juga bergantung pada metode penghitungannya. Estimasi emisi GRK dari pengelolaan sampah di TPA menggunakan metode FOD (*First Order Decay*) yang merupakan perbaikan dari metode *mass balance* yang digunakan sebelumnya pada pelaporan *Second National Communication* (SNC). Selain itu nilai parameter lokal untuk komposisi sampah dan kandungan bahan kering (*dry matter content*) juga telah digunakan dalam estimasi penghitungan emisi menggunakan metode FOD. Pada subsektor limbah cair industri, penghitungan emisi GRK sudah menggunakan data spesifik, beberapa jenis industri sudah menggunakan parameter yang didapatkan dari industri secara langsung seperti debit air limbah, COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan tipe pengolahan limbah yang digunakan.

3.3 Metodologi Penghitungan Capaian Aksi Mitigasi

3.3.1 Prinsip Umum

Pengurangan emisi dan atau serapan GRK diukur berdasarkan penurunan tingkat emisi aktual terhadap kondisi *baseline*. Penurunan tingkat emisi ini merupakan hasil dari pelaksanaan aksi mitigasi. Gambar 3.4 di bawah menggambarkan prinsip penghitungan reduksi/serapan emisi.



Gambar 3.4 Prinsip Pengurangan Emisi GRK

Pada prinsipnya, pada saat penghitungan pengurangan dan/atau serapan emisi GRK, *baseline* yang dibangun harus memiliki prinsip yang sama dengan metodologi pengukuran tingkat emisi (inventarisasi GRK). Artinya metodologi penyusunan *baseline* harus sama dengan metodologi inventarisasi GRK, sehingga dapat diperbandingkan (*apple to apple*). Tiap metodologi yang dipilih untuk menghitung reduksi/serapan GRK sudah mengatur skenario *baseline* yang digunakan sebagai rujukan.

3.3.2 Metodologi Penghitungan Pengurangan/Serapan Emisi GRK

Sesuai dengan mandat Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021, penghitungan pengurangan emisi GRK didasarkan atas (1) metodologi yang telah ditetapkan oleh Direktur Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, (2) metodologi yang telah ditetapkan oleh Badan Standarisasi Nasional, dan/atau (3) metodologi yang telah diakui oleh organisasi PBB melalui UNFCCC. Dari ketiga kriteria metodologi tersebut, untuk perhitungan capaian pengurangan emisi GRK sektor energi, IPPU, pertanian, kehutanan, dan limbah menggunakan metodologi yang ditetapkan oleh Dirjen PPI.

Sampai dengan tahun 2023 persyaratan metodologi yang telah ditetapkan oleh Dirjen PPI berjumlah 49 (empat puluh sembilan) metodologi termasuk 1 (satu) kerangka metodologi khusus untuk sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya yang telah ditetapkan melalui SK.30/PPI/IGAS/PPI.2/10/2023 pada

tanggal 18 Oktober 2023. Adapun 49 metodologi tersebut adalah untuk aksi mitigasi dari:

1. Sektor Kehutanan dan penggunaan lahan lainnya (5 metodologi)
2. Sektor Pertanian (3 metodologi)
3. Sektor Energi, subsektor transportasi, dan industri (30 metodologi)
4. Sektor IPPU (1 metodologi)
5. Sektor Limbah (10 metodologi)

Metodologi-metodologi tersebut dapat diakses pada <https://srn.menlhk.go.id>.

Untuk sektor pertanian terdapat 3 metodologi, yaitu Perbaikan Kualitas Pakan Sapi Perah, Pemupukan Berimbang, dan Pengelolaan muka air tanah (MAT) lahan gambut yang sedang dalam proses penetapan melalui SK Dirjen PPI.



BAB IV HASIL INVENTARISASI GRK NASIONAL

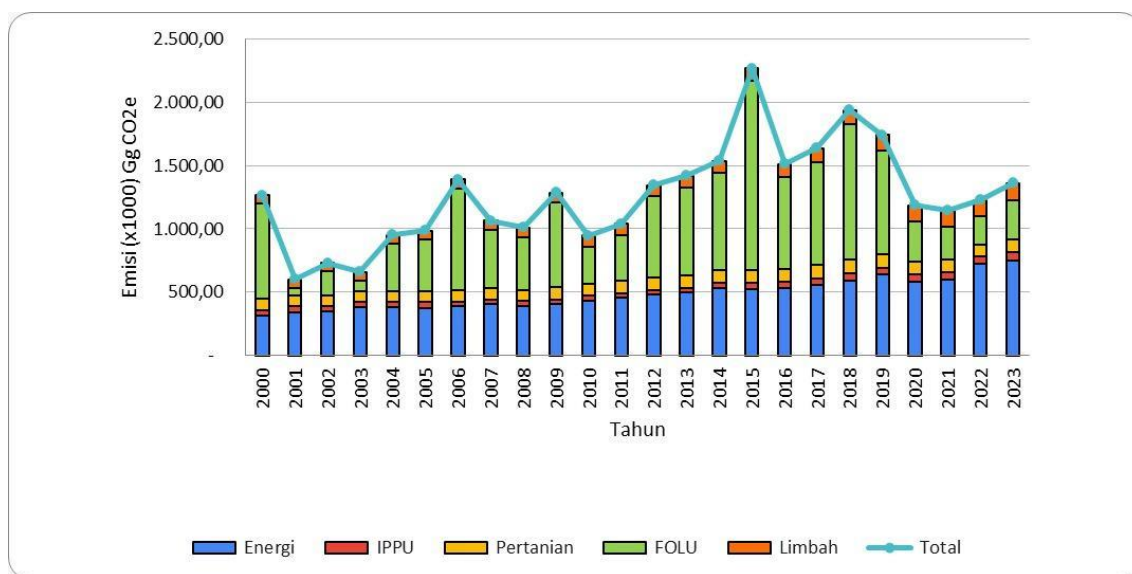
BAB IV. HASIL INVENTARISASI GRK NASIONAL

4.1 Profil Emisi GRK Nasional

Hasil perhitungan inventarisasi GRK nasional menunjukkan tingkat emisi GRK di tahun kegiatan 2023 yaitu **1.360.346,59 Gg CO₂e (1.360,35 Juta ton CO₂e)**, meningkat sebesar 96,59 Juta ton CO₂e dibanding tingkat emisi tahun 2000 sebagai awal inventarisasi GRK dilakukan dan meningkat sebesar 414,36 Juta ton CO₂e dibanding tingkat emisi tahun 2010 sebagai tahun dasar perhitungan emisi GRK pada NDC. Untuk emisi GRK pada tahun 2023 masing-masing kategori/sektor, adalah sebagai berikut:

1. Energi, sebesar **752.279,84 Gg CO₂e**
2. Proses Industri dan Penggunaan Produk, sebesar **59.854,23 Gg CO₂e**
3. Pertanian, sebesar **104.979,45 Gg CO₂e**
4. Kehutanan dan dan penggunaan lahan lainnya, sebesar **306.897,69 Gg CO₂e**
5. Limbah, sebesar **136.335,38 Gg CO₂e**

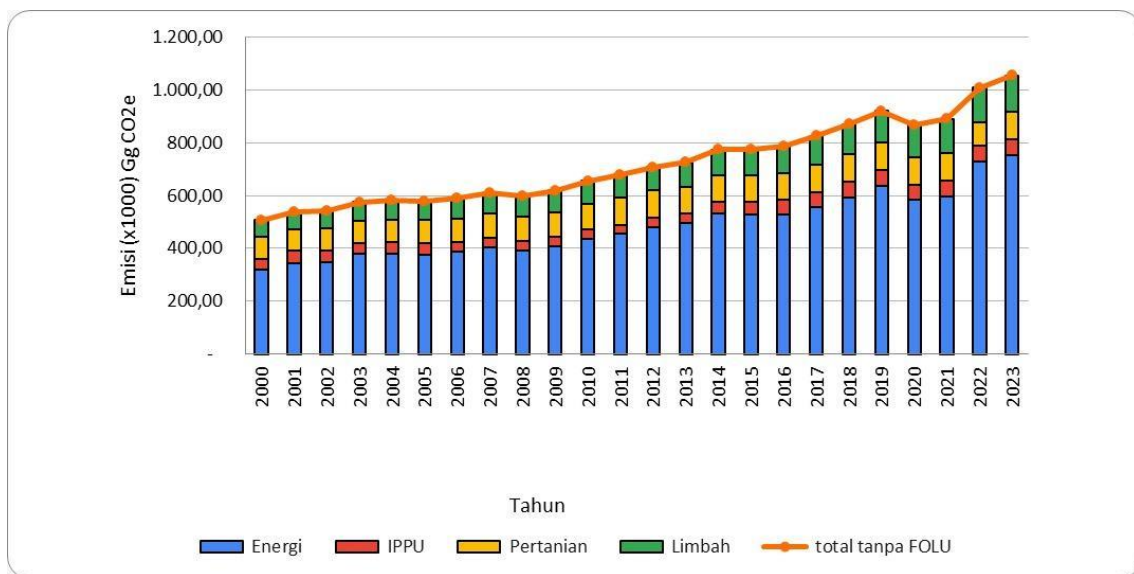
Profil emisi GRK selama periode 2000 – 2023 secara lebih lengkap digambarkan pada grafik pada Gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4.1 Profil Emisi GRK Nasional Tahun 2000 – 2023

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa selama kurun waktu 2000 – 2023, terjadi lonjakan emisi GRK Nasional pada tahun 2015 yang sebagian besar disebabkan emisi pada kebakaran gambut (*peat fire*). Kategori sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya menyumbang emisi sebesar 1.492.308,31 Gg CO₂e dari total emisi pada tahun tersebut sebesar 2.266.379,88 Gg CO₂e. Sedangkan pada tahun 2023, emisi dari sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya dapat ditekan menjadi 306.897,69 Gg CO₂e. Secara umum status

emisi GRK Nasional tahun 2023 mengalami kenaikan sebesar 133,44 juta tCO₂e 10,87 % jika dibandingkan tahun 2022, hal ini disebabkan meningkatnya emisi GRK pada semua sektor pada tahun 2023 dibandingkan dengan tahun 2022. Emisi GRK pada tahun 2023 sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya meningkat sebesar 39,78%, kemudian emisi GRK dari sektor pertanian meningkat sebesar 15,82%, emisi GRK sektor limbah meningkat sebesar 4,72% dan IPPU meningkat sebesar 1,12% serta emisi GRK sektor energi meningkat sebesar 3,43% dibandingkan tahun 2022. Profil emisi GRK Nasional secara detail pada masing-masing kategori/sektor dapat dilihat pada Tabel 4.1, sedangkan emisi GRK Nasional Profil Emisi GRK Nasional Tahun 2000 – 2023 tanpa kehutanan dan penggunaan lahan lainnya ditunjukkan pada Gambar 4.2.



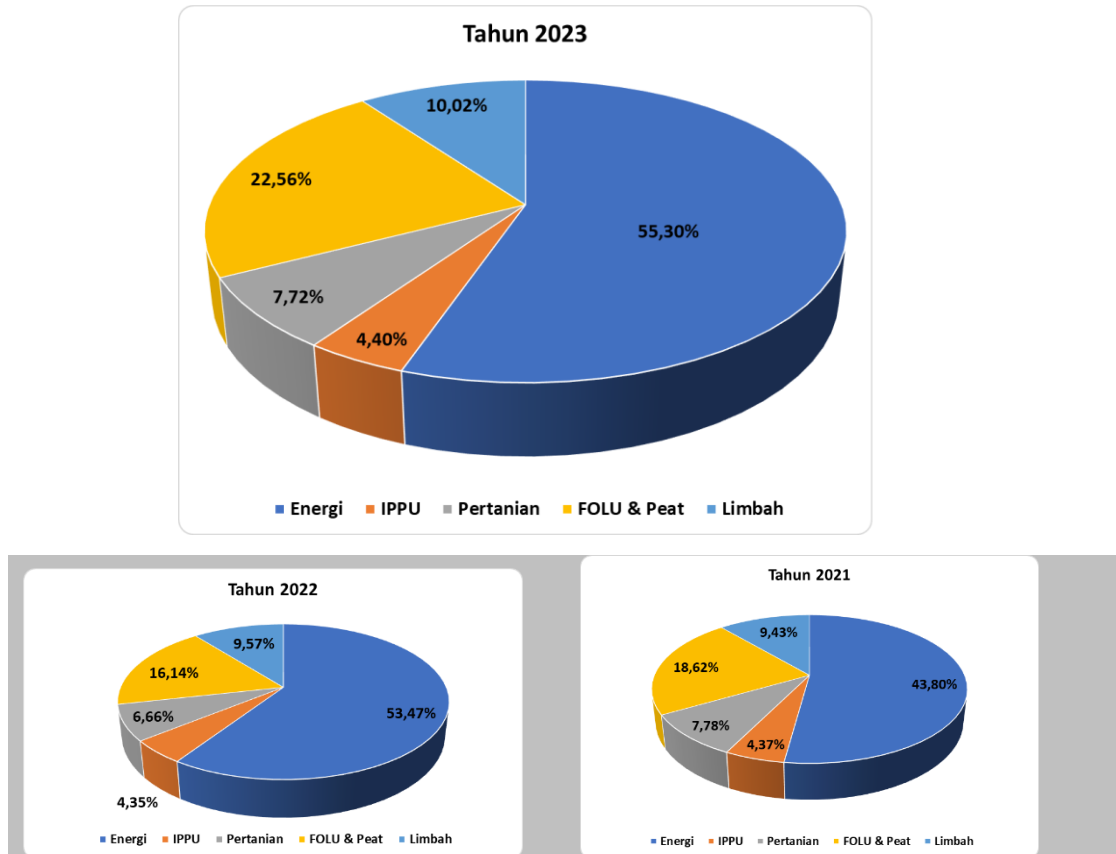
Gambar 4.2 Profil Emisi GRK Nasional Tahun 2000 – 2023 (Tanpa Kehutanan dan penggunaan lahan lainnya)

Pada tahun 2023, sektor energi memberikan kontribusi sebesar 55,30% terhadap total emisi/serapan GRK nasional, diikuti oleh sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya memberikan kontribusi sebesar 22,56%, limbah sebesar 10,02%, pertanian sebesar 7,72%, dan IPPU sebesar 4,40%, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.3 memperlihatkan adanya pergeseran yang signifikan dibandingkan dengan kontribusi sektoral pada tahun-tahun sebelumnya, hal ini disebabkan karena adanya pengurangan emisi yang cukup signifikan pada sektor kehutanan penggunaan lahan lainnya akibat penurunan kebakaran gambut. Gambar 4.3 juga menunjukkan bahwa kecenderungan setiap tahun sektor energi dan sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya merupakan sektor penyumbang emisi yang dominan terhadap emisi GRK Nasional yang cenderung melebihi 78% dari total emisi nasional.

Tabel 4.1 Emisi GRK Nasional Tahun 2000 – 2023 Gg CO₂

Tahun	Energi	IPPU	Pertanian	Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya	Peat Fire	Limbah	Total
2000	317.609,08	42.920,09	84.537,46	741.654,91	14.848,98	62.190,74	1.263.761,26
2001	341.918,97	48.314,45	82.786,49	16.109,82	45.399,57	64.857,22	599.386,52
2002	349.485,38	41.710,76	83.269,07	49.696,17	139.032,14	67.415,06	730.608,59
2003	378.050,39	41.454,42	86.166,19	34.943,40	47.686,72	70.154,81	658.455,94
2004	380.434,11	43.201,80	85.948,98	209.484,47	159.448,40	71.070,09	949.587,85
2005	376.988,05	42.349,20	87.410,58	227.553,20	179.465,72	72.870,89	986.637,64
2006	386.100,13	38.679,91	88.693,14	274.843,09	524.807,38	78.372,61	1.391.496,26
2007	402.988,53	35.948,38	91.755,87	390.950,19	66.381,97	78.329,44	1.066.354,38
2008	391.783,94	36.526,39	90.616,37	378.225,71	34.018,27	78.826,55	1.009.997,23
2009	405.652,98	37.566,34	93.956,48	499.641,03	168.771,18	81.576,26	1.287.164,27
2010	434.715,47	35.731,89	96.955,06	247.895,01	42.924,53	87.766,10	945.988,06
2011	454.484,02	34.601,46	102.978,69	295.530,21	65.636,58	86.936,71	1.040.167,67
2012	477.849,73	38.842,77	101.693,21	443.993,26	192.756,60	89.209,19	1.344.344,76
2013	496.030,34	37.873,97	97.046,15	632.038,71	60.724,68	93.569,26	1.417.283,10
2014	531.142,17	45.996,24	100.092,09	448.090,03	314.077,86	95.884,01	1.535.282,40
2015	527.102,76	48.744,82	100.684,66	1.082.295,07	410.013,24	97.539,33	2.266.379,88
2016	529.575,75	53.765,99	102.640,16	678.529,32	44.984,95	102.105,15	1.511.601,32
2017	553.974,42	57.085,43	105.363,38	804.658,63	6.235,53	108.938,64	1.636.256,04
2018	593.026,68	57.481,22	104.053,45	1.007.501,84	60.461,01	114.636,80	1.937.161,00
2019	636.452,69	58.173,48	105.300,85	593.739,63	227.462,05	120.333,20	1.741.461,90
2020	584.284,42	57.194,08	101.981,72	308.036,09	9.199,81	124.753,28	1.185.449,39
2021	595.862,49	59.377,28	105.876,65	241.428,59	11.919,26	128.274,38	1.142.738,66
2022	727.330,26	59.192,05	90.642,73	209.900,33	9.653,68	130.188,21	1.226.907,26
2023	752.279,84	59.854,23	104.979,45	220.743,67	86.154,02	136.335,38	1.360.346,59

Pada tahun 2021 dan 2022 berturut-turut sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya menyumbang emisi sebesar 18,62% dan 16,14% serta sektor energi menyumbang emisi sebesar 43,80% dan 53,47%. Dengan demikian, pada tahun 2023 terjadi peningkatan kontribusi emisi pada sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya yang signifikan.



Gambar 4.3 Kontribusi Emisi GRK Sektoral Terhadap Emisi GRK Nasional

Analisis Kategori Kunci

Analisis kategori kunci (*key category analysis*) yang dilakukan terhadap subkategori berdasarkan IPCC 2006, diperoleh hasil sebagaimana Tabel 4.2 Terdapat 19 subkategori emisi/serapan yang menjadi kunci utama dan menyumbang hingga 95% dari total emisi dan serapan GRK Tahun 2023.

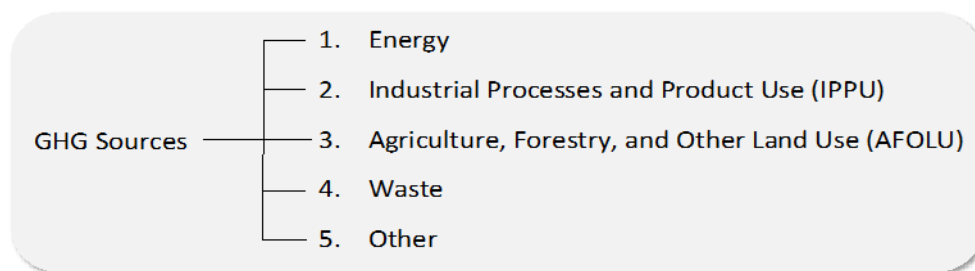
Tabel 4.2 KCA Emisi GRK Nasional

Kode	Kategori	Emisi (Gg CO ₂ e)	Absolute	Kontribusi (%)	Kumulatif (%)
Other	Peat Decomposition	443.402,79	443.402,79	21,88	21,88
3.B.1.a	Forest Remaining Forest	325.712,73	325.712,73	16,07	37,95
1.A.1.a	Electricity Generation	282.947,44	282.947,44	13,96	51,92
1.A.2	Manufacturer	230.554,46	230.554,46	11,38	63,30
1.A.3	Transportation	165.787,86	165.787,86	8,18	71,48
Other	Peat Fire	86.154,02	86.154,02	4,25	75,73
3.B.6.b	Non-Otherland to Otherland	67.757,24	67.757,24	3,34	79,07
4.D 2	Industrial Wastewater Treatment and Discharge	65.412,82	65.412,82	3,23	82,30
4.A 2	Unmanaged Solid Waste Disposal	39.694,80	39.694,80	1,96	84,26
3.C4	Direct N ₂ O Manage Soils	28.818,06	28.818,06	1,42	85,68
1.A.4.b	Residential	28.562,05	28.562,05	1,41	87,09
2.A.1	Cement	27.551,78	27.551,78	1,36	88,45
3.C7	Rice Cukltivation	26.621,53	26.621,53	1,31	89,76
4.D 1	Domestic Wastewater	25.509,33	25.509,33	1,26	91,02
3.B.2.b	Non-Cropland to Cropland	21.876,25	21.876,25	1,08	92,10
3.A1	Enteruc Fermentatioan	19.062,23	19.062,23	0,94	93,04
1.B.2	Fugtives Oil&Gas Up-stream	16.412,73	16.412,73	0,81	93,85
1.A.1.b	Fugitives Solid Fuels Mining	14.178,85	14.178,85	0,70	94,55
2.C.1	Iron and Steel	10.781,67	10.781,67	0,53	95,09

Dari hasil Analisis Kategori Kunci dengan menggunakan metode penilaian tingkat (*level assesment*) Pendekatan I, kategori dekomposisi gambut (*peat decomposition*) sebagai kontributor terbesar emisi sebesar 443.402,79 Gg CO₂e (21,88%), disusul kategori *Forest Remaining Forest* dengan serapan sebesar 325.712,73 Gg CO₂e (16,07%). Kontributor terbesar ketiga dari sektor energi yaitu kategori *Electricity Generation* dengan kontribusi emisi sebesar 282.947,44 (13,96%).

4.2 Profil Emisi Sektoral

Bab ini membahas rangkuman Inventarisasi GRK Nasional Indonesia tahun 2023. Inventarisasi GRK Nasional mencakup rincian emisi antropogenik berdasarkan sumber dan resapan, yang dihitung menggunakan IPCC *Guidelines* 2006 (Gambar 4.4). Inventarisasi GRK nasional mencakup sektor-sektor sebagai berikut: (a) energi, (b) proses industri dan penggunaan produk, (c) pertanian, (d) kehutanan dan penggunaan lahan lainnya; dan (e) limbah.



Gambar 4.4 Kategori Utama Sumber Emisi GRK

4.2.1 Sektor Energi

A. Kategori Sumber Emisi GRK dari Sektor Energi

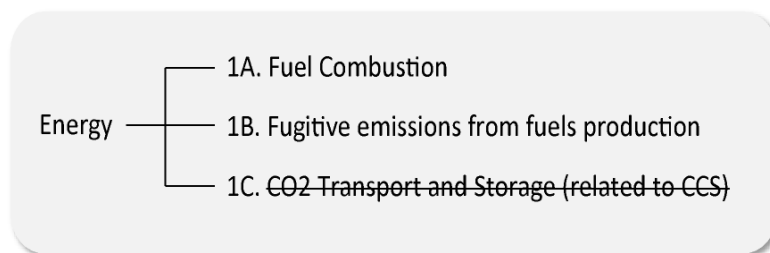
Kegiatan Pengadaan dan Penggunaan Energi merupakan salah satu sektor penting dalam inventarisasi emisi gas rumah kaca (GRK). Cakupan inventarisasi sektor energi meliputi kegiatan pengadaan/penyediaan energi dan penggunaan energi. Pengadaan/penyediaan energi meliputi kegiatan-kegiatan sebagai berikut:

1. Eksplorasi dan eksploitasi sumber-sumber energi primer (misalnya minyak mentah, batubara);
2. 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
3. Kegiatan penyaluran dan distribusi energi.

Adapun penggunaan energi meliputi kegiatan-kegiatan sebagai berikut:

1. Penggunaan bahan bakar untuk peralatan tidak bergerak atau stasioner (di industri, komersial, dan rumah tangga), dan
2. Peralatan yang bergerak (transportasi).

Berdasarkan IPCC *Guidelines* 2006 sumber emisi sektor energi dikelompokkan ke dalam tiga kategori, yaitu (a) pembakaran bahan bakar, (b) emisi fugitif dari produksi bahan bakar, dan (c) kegiatan transportasi, injeksi, dan penyimpanan CO₂ (*Carbon Capture Storage/CCS*). Oleh karena kegiatan CCS belum dilaksanakan di Indonesia, hanya 2 sumber emisi (poin a dan b) saja yang dibahas dalam laporan ini. Ruang lingkup sumber emisi GRK dari sektor energi dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Sumber Emisi GRK dari Sektor Energi

1. Pembakaran Bahan Bakar (*Fuel Combustion*)

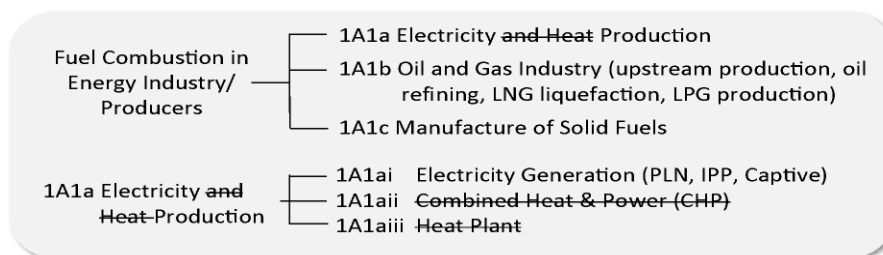
Emisi GRK yang berasal dari pembakaran bahan bakar termasuk emisi yang dihasilkan oleh industri energi, manufaktur, industri (tidak termasuk konstruksi), transportasi, dan sumber-sumber lainnya seperti rumah tangga, komersial, dan ACM (*Agriculture, Construction, and Mining*), sebagaimana Gambar 4.6. Pembakaran bahan bakar dari konstruksi tercakup di dalam subsektor ACM (*1A4 Other Sources*). Pada subsektor ACM untuk pelaporan ini masih belum dapat dilakukan disagregasi data untuk masing-masing komponen subsektor tersebut, dan menjadi bagian dari rencana perbaikan jangka panjang.



Gambar 4.6 Subkategori Sumber Emisi GRK dari Kategori Pembakaran Bahan Bakar

a. Pembakaran Bahan Bakar di Industri Energi

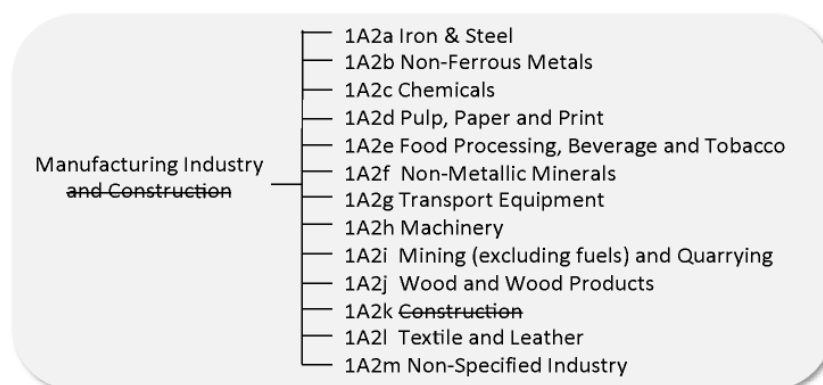
Emisi GRK dari kategori ini mencakup semua emisi yang dihasilkan selama pembakaran bahan bakar pada produksi listrik dan panas, industri minyak bumi, dan manufaktur bahan bakar padat. Produksi listrik termasuk listrik yang dihasilkan oleh PLN, pembangkit listrik mandiri, dan pembangkit listrik swasta. Emisi GRK yang berasal dari produksi panas dan gabungan panas dan listrik, dimana biasanya terjadi di industri, sudah dihitung sebagai emisi GRK dari pembakaran bahan bakar pada industri manufaktur. Industri minyak bumi mencakup industri hulu migas, penyulingan minyak, produksi LNG dan LPG.



Gambar 4.7 Cakupan Sumber Emisi GRK dari Pembakaran Bahan Bakar di Industri Energi

b. Pembakaran Bahan Bakar di Industri Manufaktur

Industri manufaktur mencakup semua jenis industri yang diketahui menggunakan pembakaran bahan bakar sebagai sumber energinya. Sebetulnya hampir semua industri masuk di dalam kategori ini. Di Indonesia, data konsumsi bahan bakar industri dikumpulkan dari data penjualan bahan bakar ke industri-industri tersebut, dimana merupakan data agregat. Emisi GRK dari pembakaran bahan bakar di industri manufaktur dihitung dari agregat data konsumsi bahan bakar tersebut. Hal yang perlu menjadi catatan adalah emisi GRK dan pembakaran bahan bakar pada pertambangan mineral dimasukkan ke dalam kategori ini. Emisi GRK dari pembakaran bahan bakar pada kegiatan pertambangan bahan bakar yang tercakup dalam ACM akan dijelaskan pada subbab selanjutnya.



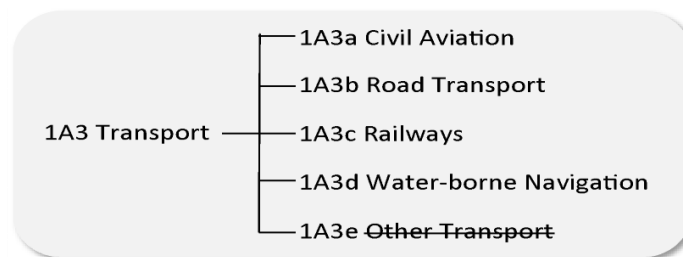
Gambar 4.8 Sumber Emisi GRK dari Pembakaran Bahan Bakar pada Industri Manufaktur

c. Pembakaran Bahan Bakar Sektor Transportasi

Menurut IPCC *Guidelines* 2006 emisi dari sektor transportasi mencakup emisi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar penerbangan sipil, transportasi darat, kereta api, navigasi air, dan transportasi lainnya (jalur pipa dan *off road*). Emisi yang dilaporkan pada inventarisasi kali ini menggunakan

data konsumsi bahan bakar agregat. Data konsumsi untuk sektor transportasi dikelompokkan sesuai jenis bahan bakar. Sebagai contoh avgas dan avtur hanya digunakan pada penerbangan sipil, maka emisi dari penerbangan sipil dapat dihitung dari data konsumsi avgas dan avtur.

Namun perhitungan emisi tersebut tidak dapat dibedakan antara penerbangan domestik dan internasional karena data konsumsi yang ada merupakan data agregat keduanya. Semua jenis bensin (RON 88, RON 92, RON 95, Bio-RON 88, dan Bio-RON 92) hanya digunakan untuk transportasi darat (mobil dan motor). Untuk bahan bakar seperti gas dan solar, perhitungan emisi GRK tidak dapat dibedakan berdasarkan jenis transportasi karena data konsumsi solar merupakan data agregat. Bahan bakar solar termasuk diesel 51, ADO/HSD, IDO, MFO, dan Bio-solar. Transportasi bahan bakar melalui jalur pipa seperti minyak dan gas serta transfer material industri sudah termasuk dalam industri terkait.



Gambar 4.9 Cakupan Sumber Emisi GRK dari Pembakaran Bahan Bakar Transportasi

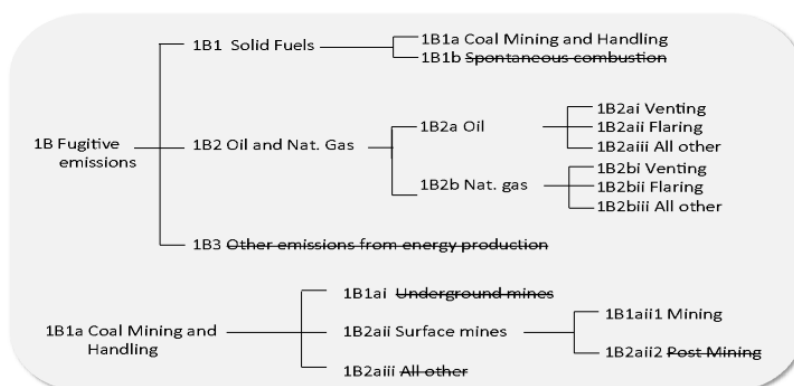
d. Pembakaran Bahan Bakar Sektor Lainnya

Emisi GRK dari kategori ini mencakup pembakaran bahan bakar yang dihasilkan di perumahan, komersial, dan ACM (*Agriculture, Construction, and Mining*). Emisi GRK dari perumahan dan komersial dihasilkan dari pembakaran bahan bakar LPG, gas pipa, dan minyak tanah. Emisi GRK dari ACM tidak dapat dibedakan sesuai dengan subsektor, yaitu pertanian (termasuk perikanan), konstruksi, dan tambang, tapi dapat dibedakan berdasarkan jenis bahan bakar. Bensin, ADO, dan minyak tanah digunakan pada peralatan bergerak di kegiatan pertanian termasuk perikanan. Minyak bakar residu (RFO) digunakan pada aktivitas perikanan. ADO dan IDO digunakan di subsektor tambang dan konstruksi.

2. Emisi Fugitif dari Produksi Bahan Bakar

Emisi *fugitive* dari produksi bahan bakar berupa gas CO₂ dan CH₄ yang dihasilkan dari fasilitas produksi migas (hulu), penyulingan dan proses, dan distribusi. Semua pertambangan batu bara Indonesia merupakan tambang

terbuka (permukaan), oleh karena itu emisi *fugitive* dari pertambangan batu bara hanya mencakup emisi selama kegiatan pertambangan.



Gambar 4.10 Cakupan Emisi *Fugitive* dari Produksi Bahan Bakar

B. Jenis Gas

Berdasarkan Pedoman IPCC *Guidelines* 2006 gas rumah kaca yang diestimasi dalam sektor energi adalah CO₂, CH₄ dan N₂O.

C. Periode Waktu

Inventarisasi GRK yang dilaporkan meliputi emisi GRK yang dihasilkan pada tahun 2000 sampai 2023.

D. Sumber Data

Semua data dan informasi terkait inventarisasi emisi GRK sektor energi dikumpulkan dari satu sumber, yaitu Tabel Keseimbangan Energi dalam *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia* tahun 2023 yang diterbitkan oleh Pusdatin, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), kecuali untuk subkategori 1A1b Pembakaran Bahan Bakar di *Refinery* Minyak dan Gas Bumi yang menggunakan data konsumsi riil bahan bakar dari kilang minyak yang beroperasi di Indonesia.

Data dari Tabel Keseimbangan Energi berupa data konsumsi bahan bakar pada suatu kategori, produk yang dihasilkan dari kategori tersebut dan data transformasi energi. Unit data aktivitas dalam Tabel Keseimbangan Energi adalah BOE sehingga menurut pedoman IPCC *Guidelines* 2006 perlu dikonversi terlebih dahulu menjadi Kiloliter atau Ton dengan faktor konversi yang tersedia dalam *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia*.

Untuk data dan informasi tahun 2021, 2022 dan 2023 terkait kegiatan pembakaran bahan bakar di *refinery* minyak dan gas bumi menggunakan data riil penggunaan bahan bakar pada kilang minyak yang beroperasi di Indonesia. Sedangkan untuk data aktivitas penggunaan bahan bakar di *refinery* minyak

dan gas bumi periode tahun 2000 – 2020 masih menggunakan data yang bersumber pada HEESI.

Berdasarkan laporan HEESI 2022 faktor konversi untuk batubara adalah menggunakan 3,4554 sebagai faktor pengali terhadap BOE dimana sebelum tahun 2022 menggunakan angka konversi 4,2 sebagai faktor pengali terhadap BOE. Hal ini mengakibatkan angka hasil konversi dari ton batubara ke BOE menjadi lebih kecil jika dibandingkan tahun sebelumnya.

Perhitungan Emisi GRK

Pada bagian ini memberikan pembaruan pada semua data emisi GRK terkait dengan semua kategori semua sumber emisi GRK. Kategorisasi subsektor yang dilaporkan, antara lain: (i) 1A1 Industri Energi, (ii) 1A2 Industri Manufaktur dan Konstruksi, (iii) 1A3 Transportasi, (iv) 1A4 Lainnya: Residensial dan Komersial, (v) emisi 1A5 *Non-Specified* dan (vi) 1B *Fugitive*. Tingkat emisi untuk sektor energi dihitung menggunakan faktor emisi dari metodologi *Tier-1* yang berpedoman pada IPCC *Guidelines* 2006.

Perhitungan Emisi pada sektor energi menggunakan 2 (dua) pendekatan, yaitu:

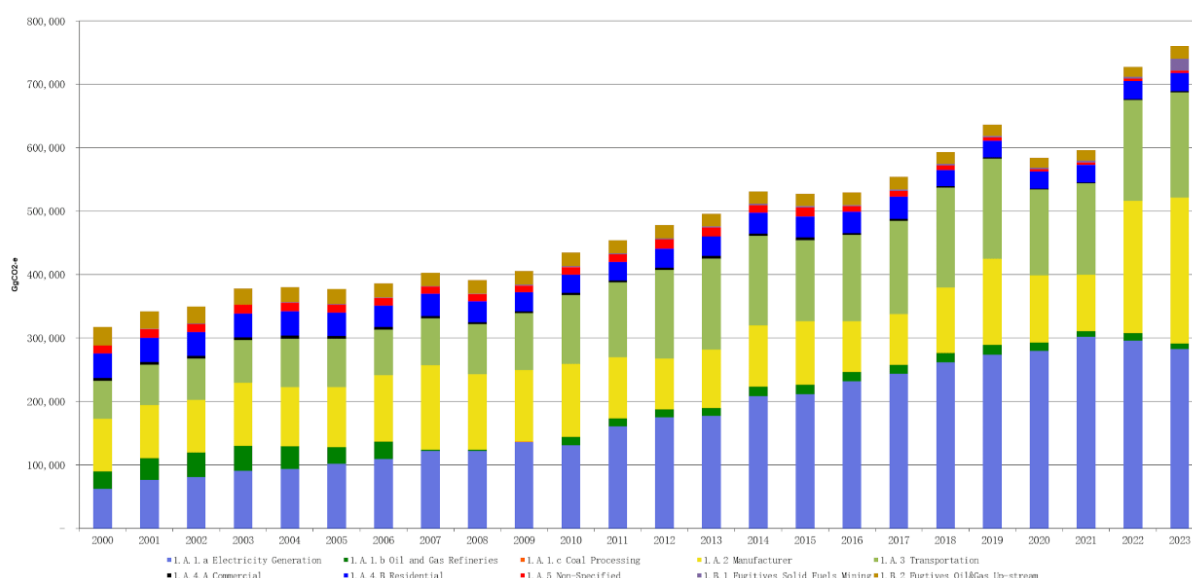
1. *Sectoral Approach*: pendekatan *bottom-up*, menggunakan data konsumsi energi final (berdasarkan data penggunaan energi).
2. *Reference approach*: pendekatan *top-down* menggunakan data pasokan energi (berdasarkan jenis bahan bakar yang diproduksi dan digunakan).

Perhitungan emisi CO₂ dari pembakaran bahan bakar dengan menggunakan kedua pendekatan baik *sectoral* dan *reference* merupakan praktik yang bagus dan dapat dibandingkan hasil dari kedua pendekatan tersebut.

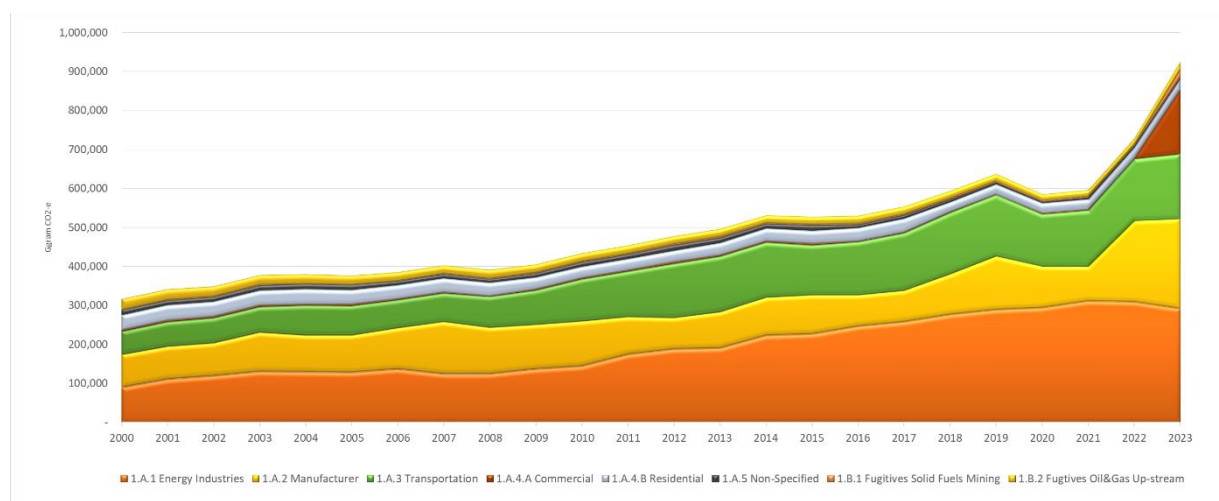
1. *Sectoral Approach*: Tingkat Emisi GRK berdasarkan Sektor

Berdasarkan pendekatan sektoral Emisi GRK dikelompokkan berdasarkan emisi subsektor. Emisi sektoral dari kegiatan energi selama periode 2000 – 2023 disajikan pada Tabel 4.3 yang menunjukkan emisi menunjukkan sedikit fluktuasi namun secara keseluruhan tren emisi meningkat. Pada periode amatan tahun 2000 – 2023 tingkat pertumbuhan adalah sebesar 3,4% dari 317.609 Gg CO₂e pada tahun 2000 menjadi 752,280 Gg CO₂e pada tahun 2023, termasuk emisi GRK dari *fugitive*. Adapun emisi per kategori dan subkategori sumber emisi, kecenderungan emisinya, dan emisi berdasarkan jenis gas ditunjukkan berturut-turut pada Gambar 4.11, Gambar 4.12, dan Gambar 4.13.

Pada tahun 2023 dapat dilihat bahwa penggunaan energi pada industri (termasuk didalamnya penggunaan bahan bakar pada pembangkit listrik, penggunaan bahan bakar pada *Oil and Gas Refineries* dan *Coal Processing*) merupakan penyumbang emisi terbesar pada sektor energi (39%), yang diikuti oleh industri manufaktur (31%), transportasi (22%), perumahan (4%), emisi *fugitive* dari *surface coal mining* dan minyak dan gas (4%), emisi dari *non-specified* (0,5%), dan emisi dari komersial (0,2%).



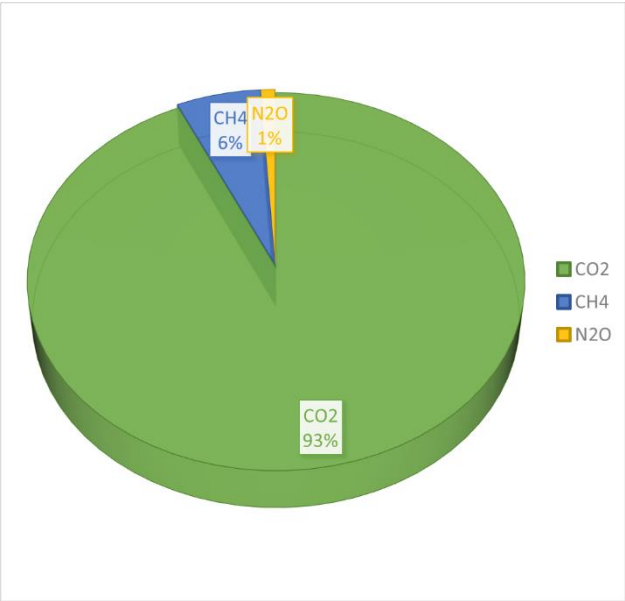
Gambar 4.11 Tingkat Emisi GRK Sektor Energi Berdasarkan Subkategori Sumber Emisi Tahun 2000 – 2023



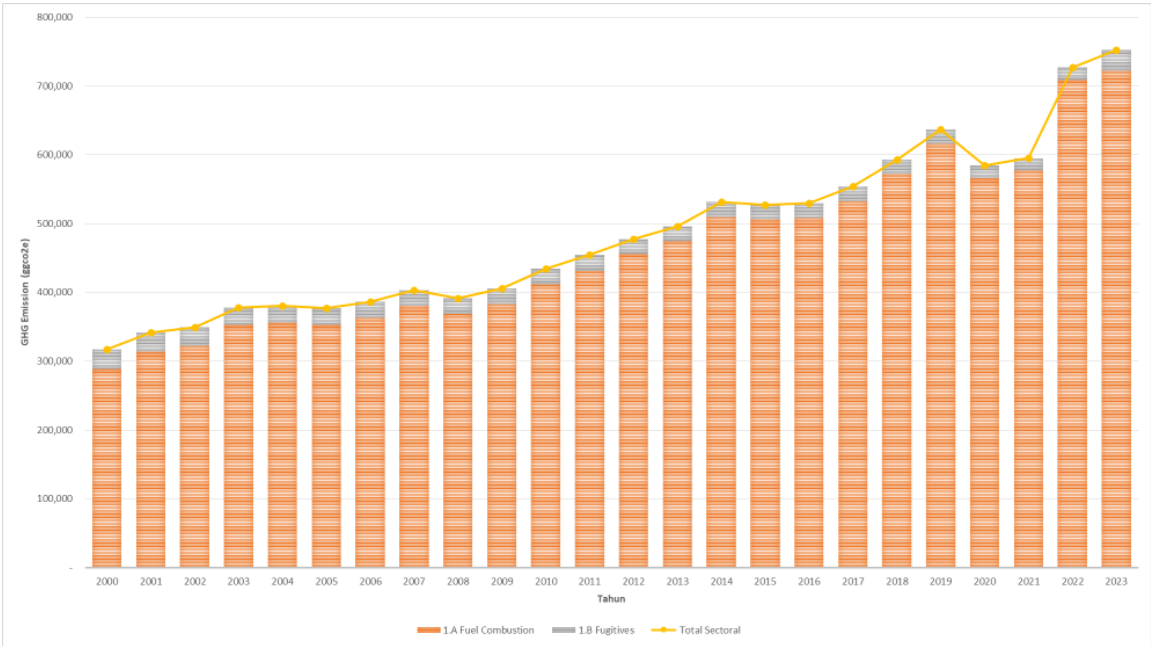
Gambar 4.12 Kecenderungan Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2000 – 2023

Pada Gambar 4.13 emisi berdasarkan jenis gas menunjukkan bahwa emisi dari gas CO₂ mendominasi sebesar 93%, diikuti oleh gas CH₄ sebesar 6% dan gas N₂O sebesar 1%. Berbeda dengan sumber emisi pada pendekatan referensi yang keseluruhan emisinya berasal dari pembakaran bahan bakar,

sumber emisi pada pendekatan sektoral terdiri dari emisi yang berasal dari pembakaran bahan bakar dan emisi *fugitive*. Gambar 4.14 menunjukkan perkembangan emisi dari pembakaran bahan bakar dan emisi *fugitive*.



Gambar 4.13 Tingkat Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2023 Jenis Gas



Gambar 4.14 Perkembangan Emisi Pembakaran Bahan Bakar dan Emisi Fugitive Periode Tahun 2000 – 2023

Tabel 4.3 Emisi GRK dari Kegiatan Energi Tahun 2000 – 2023

Source of GHG Emissions	Emission (Gg CO2e)																								
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
By Type of Fuel																									
1. Liquid Fuels	164914	174125	182003	181234	204341	199636	183069	185707	186400	188125	210441	248078	262190	255083	271569	223560	220606	215526	234188	225682	199590	207724	224372	231859	
2. Solid Fuels	52911	67199	69334	93076	85518	97997	118121	145746	118057	135904	150024	162633	170058	154837	187476	205753	214607	226794	272744	328057	312577	315318	420007	415063	
3. Gas Fuels	83909	90847	97907	104927	100795	83393	87199	65831	76452	101482	85083	85797	85302	90935	96795	101106	105334	99018	100053	89290	78180	80533	78966	89555	
Total by type of fuel	301734	332171	349244	379238	390655	381025	389190	397283	380908	425511	445548	492308	518349	501655	555840	530420	540547	541338	607786	643129	590347	603576	724145	736478	
By Sector/Source																									
1.A.1. Energy Industries	89716	110764	119793	130188	129518	127816	137094	124026	134485	136599	144526	173803	187631	188860	223213	226278	246851	258041	276242	289001	293143	310755	307944	291402	
1.A.1.a Electricity Generation	62030	76614	80964	90946	93516	101948	108930	121696	121948	136058	130086	160771	174873	177294	208671	211916	231370	243629	261427	273523	279334	302115	296088	282947	
1.A.1.b Oil and Gas	27686	34151	38829	39242	36002	25867	28049	2211	2442	395	13449	12988	12672	12529	14583	14331	15409	14341	14791	15469	13683	8640	11055	8453	
1.A.1.c Coal Processing							115	119	103	146	192	44	86	86	37	39	31	71	71	24	19	126		2	
1.A.2. Manufacturer	83369	83555	83034	99575	93449	95040	104245	132982	118579	112972	114542	96171	80028	92072	96422	100174	79484	79663	103167	136179	105641	89145	208276	230554	
1.A.2.a Iron and Steel																3591	1991	1780	5241	25093	32606	28266	9804842	9804842	
1.A.2.c Chemical																9716	10517	10431	10557	10539	9365	8296	1078615	1078615	
1.A.2.d Pulp, Paper, and Print																12574	12735	10819	12296	12910	6485	4374	1408338	1408338	
and Tobacco																25838	14223	14225	14224	14224	14224	14224	1422306	1422306	
1.A.2.f Non-Metallic Minerals																14539	10620	21306	20996	20357	21222	17152	4472326	4417386	
1.A.2.g Non-specified Industry																	33916	21398	21102	39053	53056	21738	16832	2641157	4923961
1.A.3 Transportation	59659	63555	64921	66805	76295	76191	71924	74226	78840	89426	108264	117570	139271	143243	141520	128010	136405	147230	157522	157771	135217	143910	158938	165788	
1.A.3.a Civil Aviation	3010	3683	3997	4821	6092	5806	6070	6490	6817	6855	9099	8900	9730	10385	10554	10832	12178	13408	14279	12560	6928	5074	8289	10814	
and Railways	56266	59484	60956	61675	69893	70147	65659	67498	71741	82337	98136	108465	129343	132732	130870	117092	124118	133689	143127	146116	128216	138785	150493	154872	
1.A.3.c Water-Borne Navigation	384	388	388	389	311	237	195	288	281	234	228	206	197	126	96	86	109	132	116	95	74	52	156	102	
1.A.4.a Commercial	4419	4501	4446	4237	4731	4497	3997	3695	3406	3287	3793	3462	4306	4103	3834	4413	2918	3182	2653	2163	1735	1842	1842	1755	
1.A.4.b Residential	38315	38193	37152	37725	37989	36723	34244	34758	32597	29462	28299	28674	29663	31313	32303	32720	33164	34863	25341	25700	26543	27204	27958	28562	
1.A.5 Non-Specified	12765	13366	13105	13823	13822	12667	11290	11035	10936	11027	12505	11948	14670	13501	12443	14258	8853	9095	7031	5130	3664	3830	3910	3626	
1A Fuel Combustion	288243	313935	322452	352353	355804	352933	362794	380722	368842	382772	411929	431529	455570	474092	509734	505852	507674	532073	571956	615945	565943	576687	708867	721688	
1.B Fugitives	29366	27984	27034	25697	24630	24055	23306	22267	22942	22881	22786	22955	22280	21938	21408	21250	21901	21901	21071	20508	18341	17699	18463	30592	
1.B.1 Fugitives Solid Fuels Mining	336	404	451	498	577	666	845	946	1048	1117	1200	1541	1684	2069	1998	2013	1990	1990	2483	2688	2459	2806	2998	14179	
1.B.2 Fugitives Oil/Gas	29030	27580	26583	25199	24053	23309	22461	21321	21894	21763	21586	21414	20596	19869	19410	19237	19112	19112	18638	17821	15883	16370	15464	16413	
Production																									
Total Sectoral	317609	341919	349485	378050	380434	376988	386100	402989	391784	405653	434715	454484	477850	496030	531142	527103	529576	553974	593027	636453	584284	595862	727330	752280	

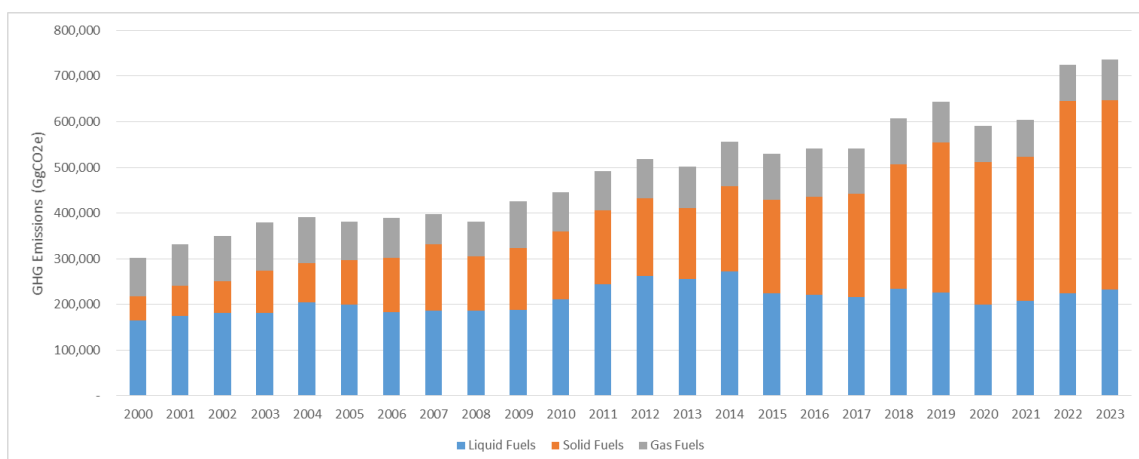
2. Reference Approach: Tingkat Emisi GRK berdasarkan Jenis Bahan Bakar

Berdasarkan *reference approach*, inventarisasi emisi GRK dilakukan berdasarkan jenis bahan bakar yang dipasok pada tingkat nasional dengan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Gambar 4.15, emisi GRK selama periode tahun 2000 – 2023 berfluktuatif dan cenderung mengalami peningkatan.

Pada tahun 2023 di tengah perlambatan ekonomi global, perekonomian Indonesia tumbuh sebesar 5,05% melambat dibandingkan pertumbuhan 5,31 persen pada 2022. Hal ini sejalan dengan perkiraan akibat perlambatan ekonomi global dan aktivitas domestik yang terdampak inflasi tinggi. Sejalan dengan pertumbuhan ekonomi Indonesia, pasokan energi Indonesia pada tahun 2023 berdasarkan data publikasi *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia* (HEESI, 2023) meningkat sebesar 1,55% dibandingkan tahun 2022 dengan nilai sebesar 1.853 Juta BOE.

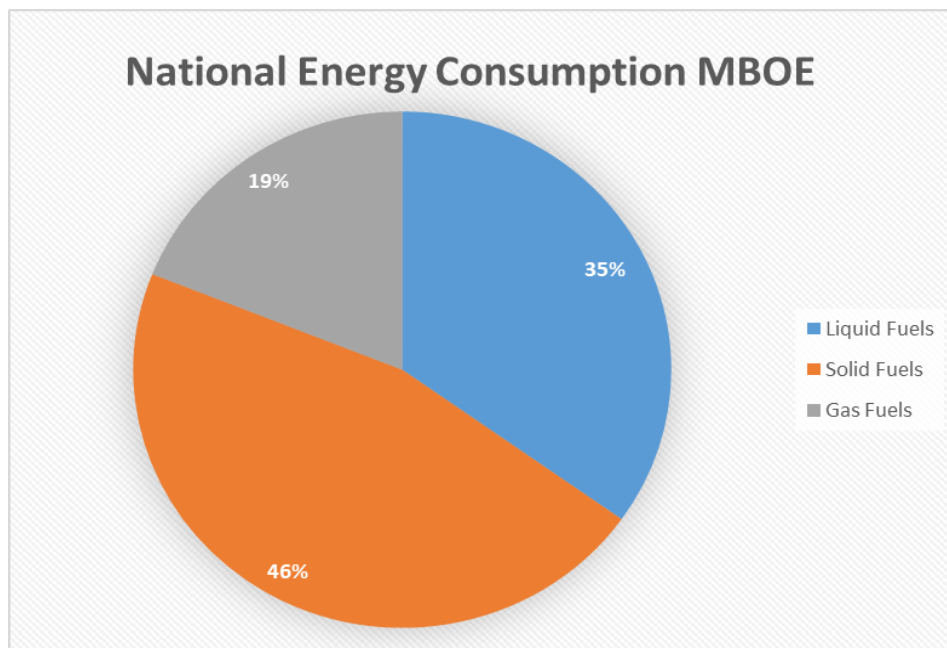
Pada tahun 2000, emisi GRK adalah sebesar 301.734 Gg CO₂ meningkat menjadi 724.145 Gg CO₂ pada tahun 2022 dengan tingkat pertumbuhan rata-rata pertahun sebesar 3,3%. Selama periode 2000 – 2016 sumber emisi GRK didominasi oleh bahan bakar cair, namun sejak tahun 2017, emisi didominasi oleh bahan bakar padat (batubara). Hal ini disebabkan oleh peningkatan konsumsi batubara pada produksi listrik karena bahan bakar tersebut diklaim berbiaya paling rendah jika dibandingkan dengan bahan bakar lainnya untuk memproduksi listrik.

Dari total emisi pada tahun 2023 sebesar 736,478 Gg CO₂, sebesar 415,063 Gg CO₂ berasal dari batubara (56%), emisi dari bahan bakar cair sebesar 231,859 Gg CO₂ (31%), dan emisi dari bahan bakar gas sebesar 89,555 Gg CO₂ (12%).



Gambar 4.15 Emisi GRK dari Pendekatan Referensi Berdasarkan Jenis Bahan Bakar Tahun 2000 – 2023

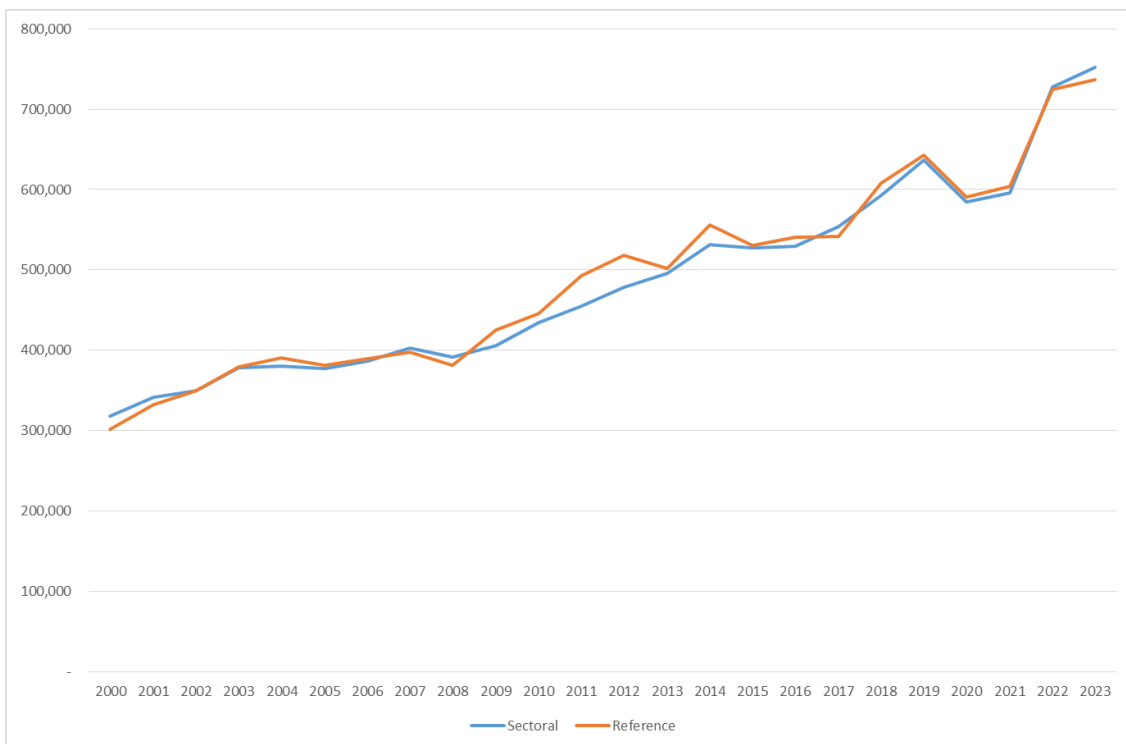
Sedangkan konsumsi bahan bakar nasional pada tahun 2023 masih didominasi oleh bahan bakar padat sebesar 735,543 Juta BOE , kemudian diikuti oleh bahan bakar cair sebesar 554,413 Juta BOE dan bahan bakar gas sebesar 301,855 Juta BOE. Adapun Persentase Konsumsi Bahan Bakar Nasional Tahun 2023 ditunjukkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Persentase Konsumsi Bahan Bakar Nasional Tahun 2023

3. *Perbandingan antara Reference dan Sectoral Approaches dalam Perhitungan Tingkat Emisi CO₂*

Berdasarkan IPCC *Guidelines* 2006, menerapkan pendekatan referensi dan pendekatan sektoral untuk menghitung emisi CO₂ dari pembakaran bahan bakar dan membandingkan hasil kedua perhitungan tersebut adalah hal yang baik. Pendekatan Referensi adalah metode yang diterapkan pada pasokan energi, sedangkan pendekatan sektoral menggunakan data berdasarkan konsumsi bahan bakar yang digunakan, setiap bahan bakar memiliki kandungan karbon yang digunakan untuk mengestimasi emisi GRK. Gambar 4.17 menunjukkan perbedaan antara pendekatan referensi dan pendekatan sektoral selama periode 2000 – 2023.



Gambar 4.17 Perbandingan Perhitungan Emisi dengan Menggunakan Pendekatan Referensi dan Pendekatan Sektoral Tahun 2000 – 2023

Hasil perhitungan emisi GRK menunjukkan bahwa perhitungan CO₂ menggunakan pendekatan referensi 2% lebih rendah jika dibandingkan pendekatan sektoral (Tabel 4.4). Hal ini disebabkan dalam perhitungan emisi menggunakan pendekatan sektoral tergantung kepada data bahan bakar yang digunakan, sedangkan *supply* bahan bakar bisa saja lebih tinggi maupun lebih rendah dari pada data bahan bakar yang benar-benar dikonsumsi. IPCC *Guidelines* 2006 menyebutkan secara umum perbedaan perhitungan dengan menggunakan kedua pendekatan ini adalah berkisar 5%.

Tabel 4.4 Perhitungan Emisi GRK Sektor Energi Menggunakan Metode Reference dan Sectoral Approach, Gg CO₂-Emisi GRK dari Kegiatan Energi Tahun 2023

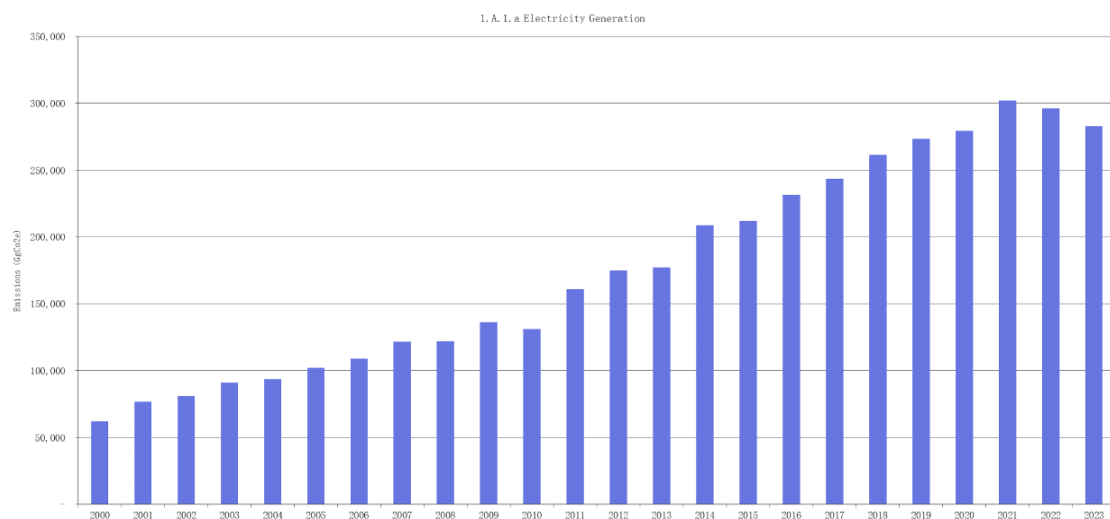
Metode dan Sumber Emisi	2023 Emission (Gg CO ₂ e)
<i>Metode: Reference Approach</i>	
1. Liquid Fuels	231,859
2. Solid Fuels	415,063
3. Gas Fuels	89,555
Total Reference Approach	736,478
<i>Metode: Sectoral Approach</i>	
1.A Fuel Combustion	721,688
1.B Fugitives Emissions	30,592
Total Sectoral Approach	752,280
Discrepancy	2%

4. Emisi GRK Berdasarkan Subsektor

Perhitungan emisi GRK secara rinci untuk masing-masing subsektor emisi disajikan berikut ini subsektor: pembangkit listrik, industri minyak dan gas, pengolahan batubara, industri manufaktur, transportasi, komersial dan perumahan, *non specified*, dan emisi GRK dari *fugitive*.

a. Emisi GRK di Subsektor Pembangkit Listrik

Emisi GRK di pembangkit listrik merupakan kontributor utama di antara penghasil emisi GRK di bidang sektor energi, mewakili 38% dari emisi sektor energi pada tahun 2023. Sumber utama emisi adalah pembakaran bahan bakar batubara sebesar 76% dari total penggunaan bahan bakar fosil di subsektor pembangkit listrik, sedangkan emisi sisanya dihasilkan oleh pembakaran berbahan bakar gas sebesar 21% dan bahan bakar cair 3% dengan rincian penggunaan bahan bakar di pembangkit listrik berdasarkan data *Energy Balanced Table* (EBT) dari publikasi HEESI 2023, antara lain: penggunaan batubara sebesar 418,785 MBOE, penggunaan gas sebesar 113,498 MBOE dan penggunaan dari bahan bakar cair sebesar 19,132 MBOE.



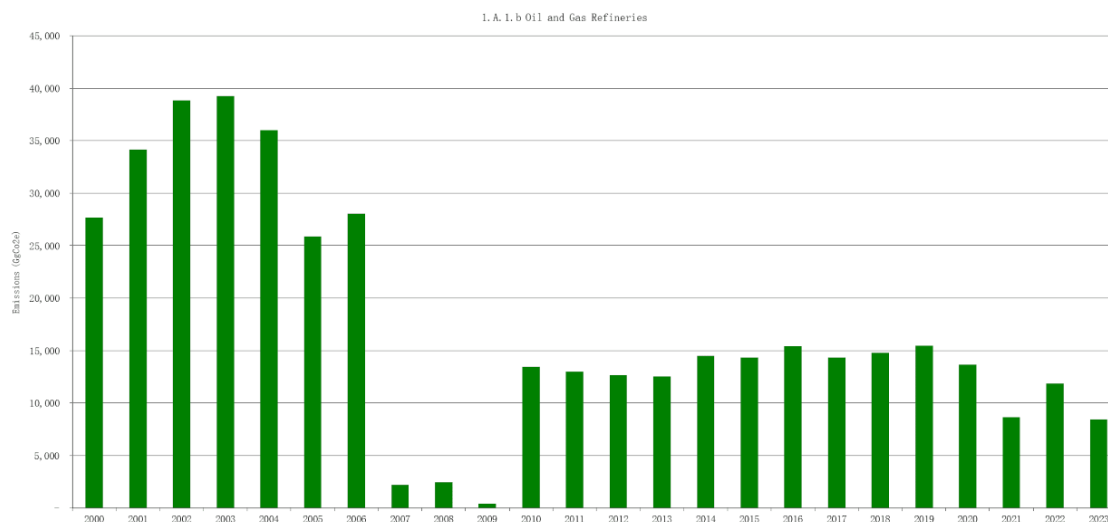
Gambar 4.18 Emisi GRK Subsektor Pembangkit Listrik Tahun 2000 – 2023

Pada Gambar.4.18 menunjukkan bahwa emisi GRK tahun 2023 adalah sebesar 282,947 GgCO₂e menurun sebesar 4% jika dibandingkan tahun 2022. Hal ini diakibatkan dari menurunnya penggunaan bahan bakar batu bara di pembangkit listrik sebesar 6% dibandingkan tahun 2022, tetapi terjadi peningkatan konsumsi bahan bakar cair dan gas sebesar 6% pada tahun yang sama.

b. Emisi GRK di Subsektor Industri Minyak dan Gas

Di subsektor industri minyak dan gas, GRK dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil selama kegiatan pemakaian sendiri, transmisi dan distribusi BBM. Jenis bahan bakar fosil yang digunakan oleh minyak dan industri gas meliputi minyak solar, minyak mentah dan gas alam.

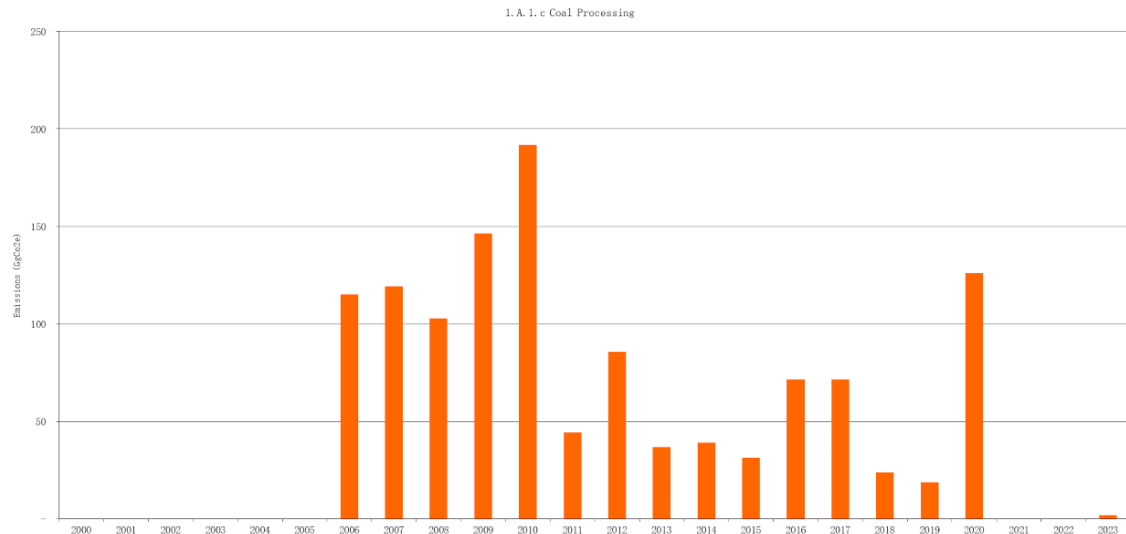
Emisi GRK pada subsektor industri minyak dan gas menunjukkan fluktuasi selama periode 2000 – 2006, diikuti penurunan tajam pada tahun 2007 dan diikuti dengan sedikit peningkatan bertahap pada tahun-tahun berikutnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.19 di bawah ini. Hal ini konsisten dengan penggunaan energi fosil yang memang berfluktuatif. Sejak tahun 2021 data aktivitas pada proses *refinery* minyak dan gas bumi menggunakan data riil pada kilang berdasarkan *survey* yang dilakukan oleh kementerian ESDM sedangkan data tahun 2000 – 2020 menggunakan data kuantitatif yang bersumber dari publikasi HEESI. Emisi GRK dari industri minyak dan gas tahun 2023 adalah sebesar 8,453 Gg CO₂e menurun sebesar 29% jika dibandingkan tahun 2022 sebesar 11,855 Gg CO₂e.



Gambar 4.19 Emisi GRK Subsektor Industri Minyak dan Gas Tahun 2000 – 2023

c. Emisi GRK di Subsektor Pengolahan Batubara

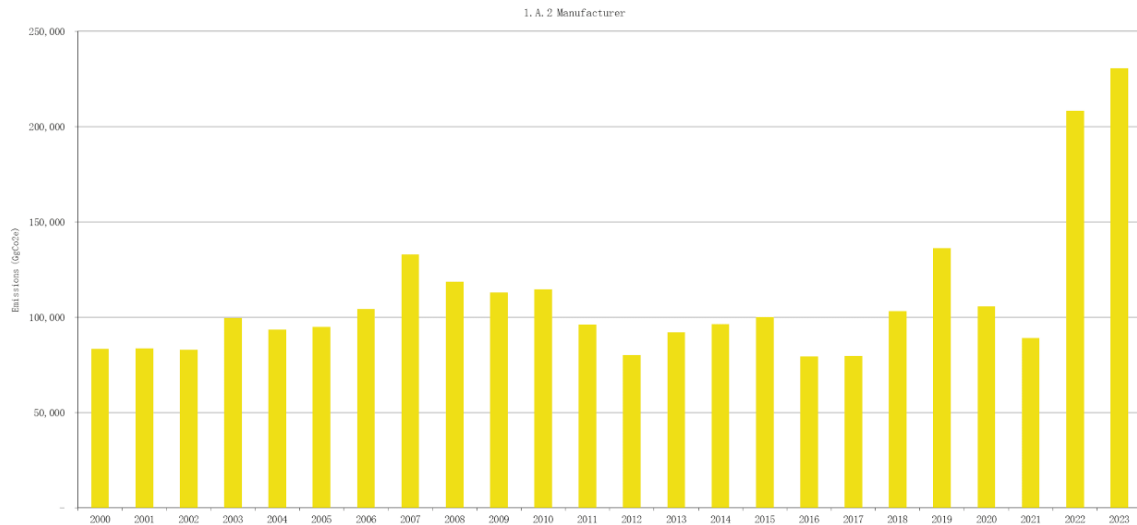
Berdasarkan Gambar 4.20 pengolahan batubara telah dilakukan sejak tahun 2006. Emisi GRK pada subsektor ini berfluktuasi, dengan kecenderungan menurun. Emisi GRK dari pengolahan batubara tahun 2022 dan 2021 adalah sebesar 0 Gg CO₂e, berdasarkan sumber data HEESI bahwa pada tahun 2021 tidak ada penggunaan batubara pada pengolahan batubara. Sedangkan pada tahun 2023 terdapat konsumsi batubara sebanyak 3 Juta BOE sehingga emisi GRK sebesar 2 GgCO₂e.



Gambar 4.20 Emisi GRK Subsektor Pengolahan Batubara Tahun 2000 – 2023

d. Emisi GRK di Subsektor Industri Manufaktur

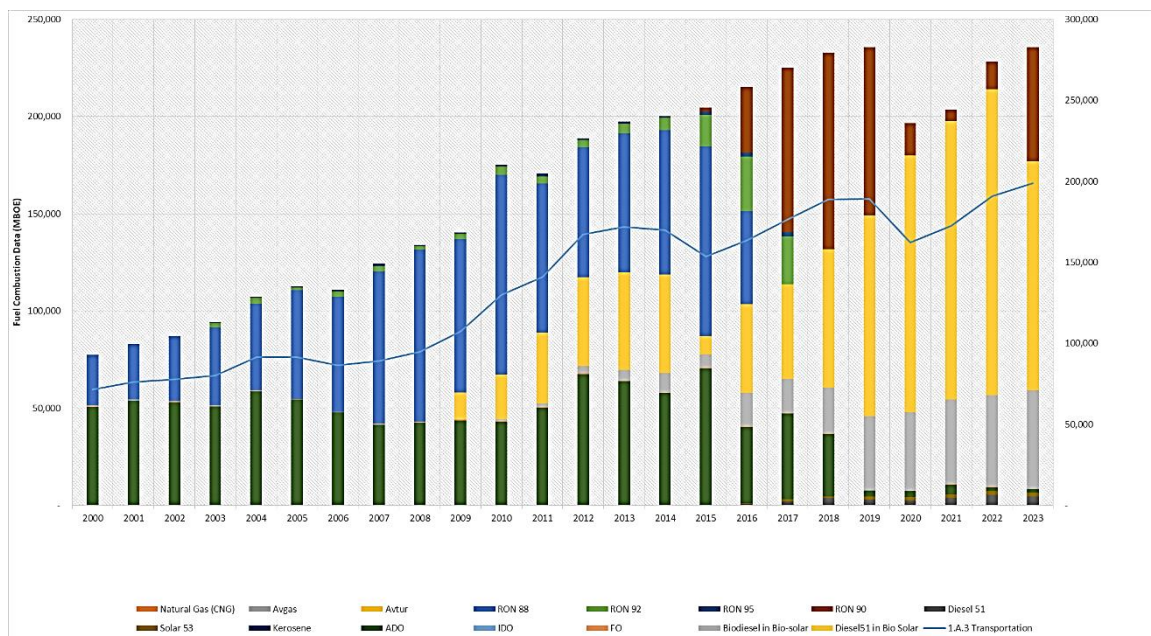
Pada subsektor industri manufaktur, emisi GRK dihitung berdasarkan pembakaran bahan bakar. Konsumsi energi di industri manufaktur selama periode 2000 – 2023 didominasi oleh bahan bakar fosil yaitu gas bumi diikuti oleh minyak bumi dan batubara. Gambar 4.21 menunjukkan bahwa emisi GRK subsektor industri manufaktur tahun 2023 adalah sebesar 230,554 Gg CO₂e meningkat sebesar 11% jika dibandingkan tahun 2022. Hal ini berbanding lurus dengan meningkatnya penggunaan batubara sebesar 6% menjadi 316,758 Juta BOE dan penggunaan gas juga meningkat sebesar 62% menjadi 119,192 Juta BOE di tahun 2023. Namun pada tahun 2023 pada penggunaan Biomassa menurun signifikan sebesar 65% menjadi 20,452 Juta BOE dan penggunaan bahan bakar cair juga mengalami penurunan sebesar 17% menjadi 24,771 Juta BOE .



Gambar 4.21 Emisi GRK Subsektor Industri Manufaktur Tahun 2000 – 2023

e. Emisi GRK di Subsektor Transportasi

Sektor transportasi merupakan salah satu subsektor terpenting dari subsektor energi di Indonesia karena sejak 2012, transportasi menjadi subsektor yang paling boros energi. Tren konsumsi energi di sektor ini selama periode 2000 – 2023 ditunjukkan pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22 Emisi GRK Subsektor Transportasi Tahun 2000 – 2023

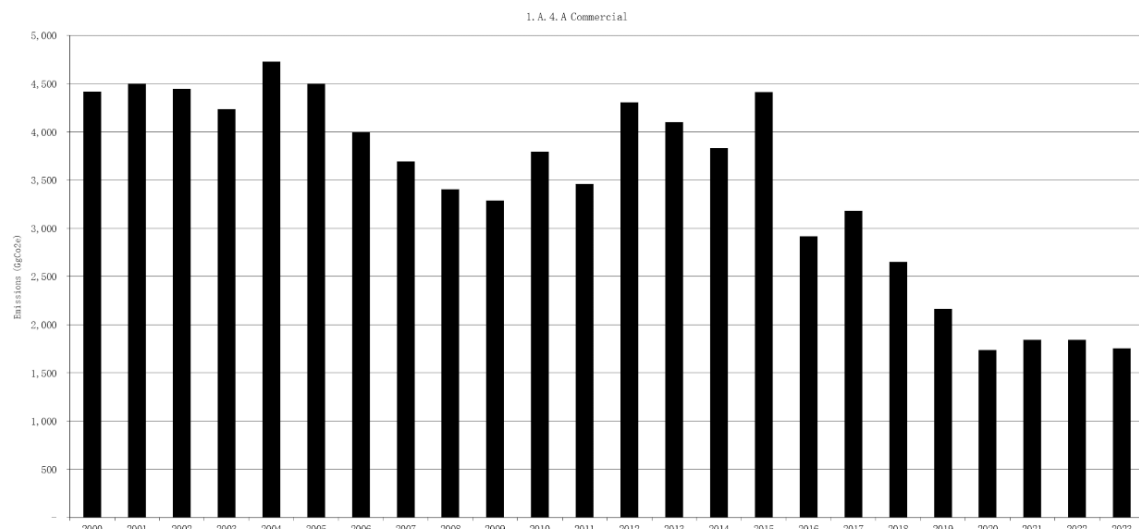
Selama periode tahun 2000 – 2023, tingkat pertumbuhan emisi GRK di subsektor transportasi rata-rata sebesar 4,4% per tahun. Pada tahun 2023, Emisi

GRK di subsektor transportasi sebesar 165,788 Gg CO₂e meningkat sebesar 4% jika dibandingkan dengan tahun 2022 (158,938 Gg CO₂e).

Emisi GRK dari subsektor transportasi dipisahkan menjadi penerbangan sipil, Transportasi Darat (Jalan Raya dan Kereta Api), dan Navigasi Lintas Air. Emisi GRK didominasi oleh kegiatan transportasi darat. Pada tahun 2022 emisi transportasi darat menyumbang sebesar 93% dari total emisi GRK subsektor transportasi.

f. Emisi GRK di Subsektor Komersial

Pada Gambar 4.23 menunjukkan tren emisi GRK di subsektor komersial berfluktuasi selama periode tahun 2000 – 2023. Perbandingan tahun 2000 dan 2023 menunjukkan pengurangan emisi GRK yang signifikan pada subsektor komersial. tak



Gambar 4.23 Emisi GRK Subsektor Komersial Tahun 2000 – 2023

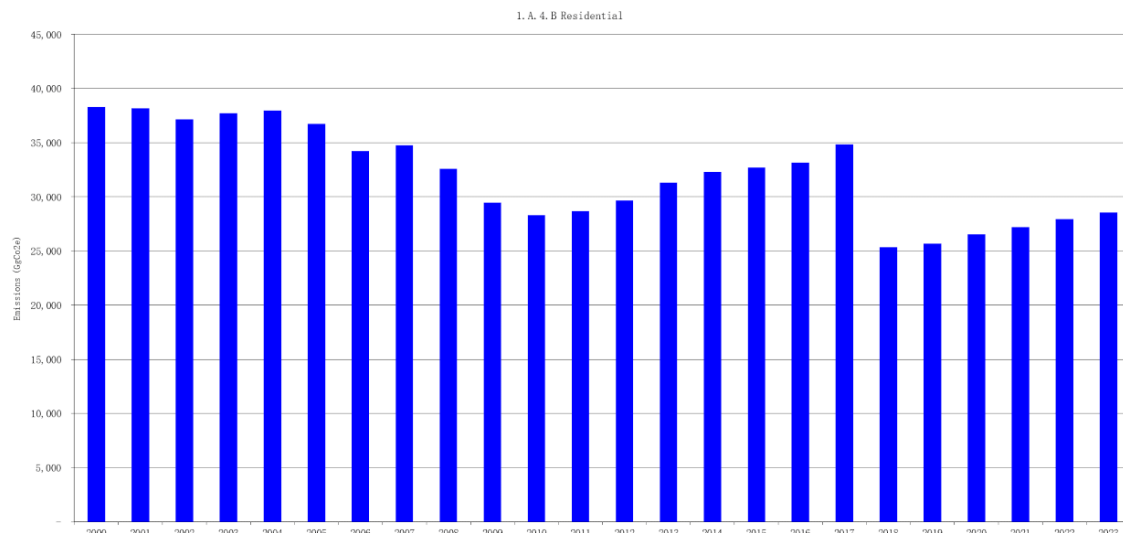
Tren emisi GRK dari sektor komersial mengikuti tren konsumsi energi. Pada tahun 2023 konsumsi dari gas menurun sebesar 16% (2,337 Juta BOE) dan konsumsi biomassa di komersial juga menurun sebesar 1%(1,294 Juta BOE), sedangkan konsumsi bahan bakar minyak meningkat sebesar 5% (1,933 Juta BOE). Tingkat emisi GRK di subsektor komersial tahun 2023 adalah sebesar 1,755 Gg CO₂e menurun sebesar 5% jika dibandingkan tahun 2022.

g. Emisi GRK di Subsektor Rumah Tangga

Perubahan emisi GRK terkait dari subsektor perumahan selama periode tahun 2000 – 2023 disajikan pada Gambar 4.24. Periode tahun 2000 sampai dengan tahun 2017, emisi GRK menurun namun kemudian diikuti dengan peningkatan. Dengan bahan bakar jenis minyak tanah mendominasi antara tahun

2000 dan 2007. Sejak tahun 2008, pangsa minyak tanah telah menurun, tergantikan oleh elpiji yang kemudian menjadi bahan bakar paling dominan di sektor perumahan.

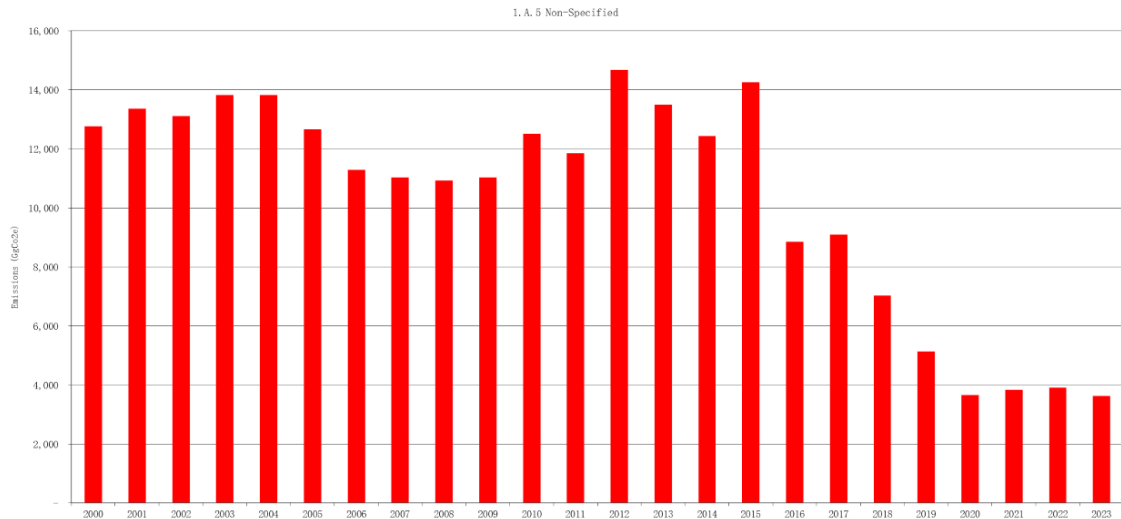
Perkembangan emisi GRK dari subsektor perumahan mengikuti perkembangan penggunaan energi. Tahun 2023 total emisi GRK adalah 28,562 GgCO₂e meningkat sebesar 2% jika dibandingkan dengan tahun 2022 sebesar 27,958 GgCO₂e.



Gambar 4.24 Emisi GRK Subsektor Rumah Tangga Tahun 2000 – 2023

h. Emisi GRK di Subsektor *Non-specified (Agriculture, construction, dan mining)*

Gas rumah kaca yang telah dipancarkan oleh kegiatan konsumsi energi dan tidak termasuk dalam kategori yang dijelaskan di atas diklasifikasikan sebagai emisi dari subsektor *non-specified (Agriculture, construction, dan mining)*. Emisi GRK terkait dari subsektor ini selama periode 2000 – 2023 diilustrasikan pada Gambar 4.25. Selama periode 2000 – 2023, emisi GRK pada subsektor *non-specified* berfluktuasi namun cenderung menurun. Emisi GRK pada tahun 2023 sebesar 3,626 Gg CO₂e menurun sebesar 7% jika dibandingkan dengan tahun 2022 sebesar 3,910 Gg CO₂e.

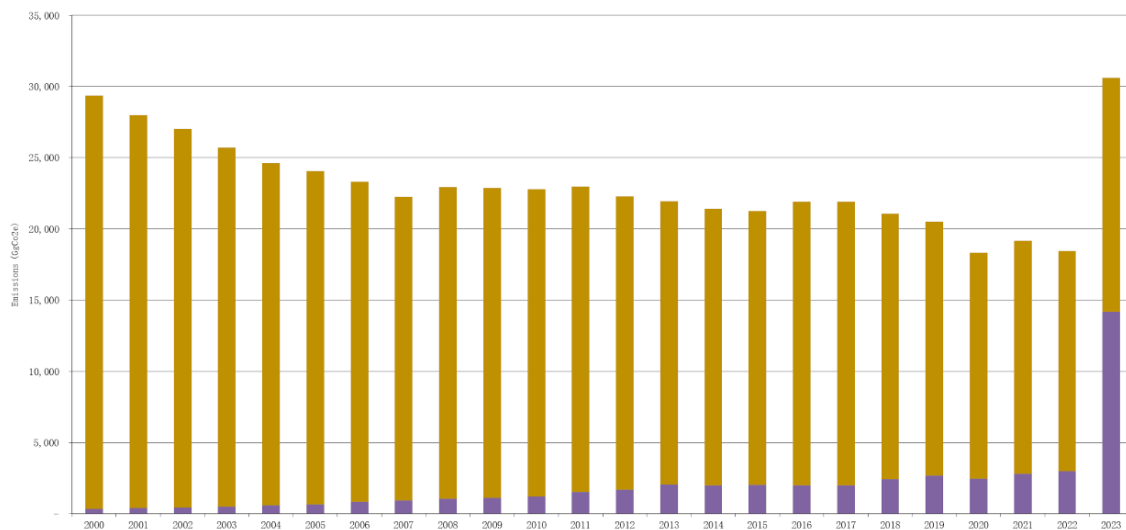


Gambar 4.25 Emisi GRK Subsektor Non-Specified Tahun 2000 – 2023

i. Emisi GRK dari *Fugitives*

Emisi GRK *fugitive* mencakup emisi dari industri minyak dan gas dan pertambangan batu bara. Gambar 4.26 menunjukkan perubahan emisi GRK *Fugitives* periode tahun 2000 – 2023 cenderung menurun. Sumber emisi didominasi oleh kegiatan yang berhubungan dengan minyak, diikuti oleh pertambangan gas alam dan batubara.

Pada tahun 2023, emisi *fugitives* adalah 30,592 GgCO₂e meningkat signifikan sebesar 66% jika dibandingkan tahun 2022 dengan emisi *fugitive* sebesar 18.463 GgCO₂e. Hal ini diakibatkan adanya perubahan faktor emisi pada tambang permukaan yang semula *Low CH₄ Emission Factor* 0,3 m³ tonne-1 menjadi *Average CH₄ Emission Factor* 1,2 m³ tonne-1



Gambar 4.26 Emisi Fugitives Tahun 2000 – 2023

Sumber Emisi Kunci

Key Category Analysis (KCA) merupakan sumber/rosot yang menjadi prioritas dalam sistem inventarisasi GRK karena besar emisi/serapan memiliki pengaruh besar terhadap total inventarisasi baik dari nilai mutlak, tren dan tingkat ketidakpastiannya

Berdasarkan hasil *key category analysis* dapat disimpulkan bahwa kategori kunci sumber emisi utama pada sektor energi pada tahun 2023 adalah pembakaran bahan bakar pada pembangkit listrik (37,61%), yang diikuti oleh penggunaan bahan bakar pada industri manufaktur (30,65%), transportasi (22,04%), dan perumahan (3,80%). Analisis kategori kunci secara detail dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Sumber Emisi Kunci Sektor Energi Tahun 2023

Category	Total GHG Emissions	Level/Rank	Cumulative
1.A.1.a Electricity Generation	282,947	37.61%	37.61%
1.A.2 Manufacturer	230,554	30.65%	68.26%
1.A.3 Transportation	165,788	22.04%	90.30%
1.A.4.B Residential	28,562	3.80%	94.09%
1.B.2 Fugitives Oil&Gas Up-stream	16,413	2.18%	96.28%
1.B.1 Fugitives Solid Fuels Mining	14,179	1.88%	98.16%
1.A.1.b Oil and Gas Refineries	8,453	1.12%	99.28%
1.A.5 Non-Specified	3,626	0.48%	99.77%
1.A.4.A Commercial	1,755	0.23%	100.00%
1.A.1.c Coal Processing	2	0.00%	100.00%
Total	752,280		

4.2.2 Sektor IPPU

A. Kategori Sumber Emisi

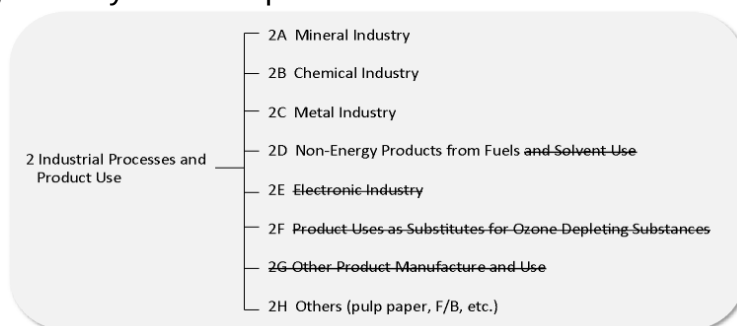
Emisi gas rumah kaca dari sektor industri mencakup CO₂, CH₄, N₂O dan perfluorokarbon (PFC) dalam bentuk CF₄ dan C₂F₆. Emisi yang dihasilkan, terutama CO₂, sebagian besar berasal dari penggunaan energi dan kegiatan proses produksi. Pada bab ini pembahasan hanya mencakup emisi yang dihasilkan dari kegiatan proses produksi, sedangkan untuk emisi yang berasal dari penggunaan energi dibahas pada sektor energi.

Berbagai macam sumber emisi GRK dari industri di Indonesia diklasifikasikan berdasarkan tipe industri. Berdasarkan IPCC Guidelines 2006, tipe industri dikelompokkan menjadi industri mineral, kimia, logam, penggunaan produk bahan bakar non-energi dan pelarut, elektronik, dan lain-lain. Dalam laporan ini kegiatan inventarisasi GRK hanya mencakup emisi dari (i) produksi

mineral, seperti semen, kapur, kaca/gelas dan proses lain penggunaan karbonat (keramik dan penggunaan soda abu), (ii) produksi kimia, seperti ammonia, asam nitrat, karbida, dan petrokimia (methanol, etilen, etilen diklorida, dan carbon black), (iii) produksi logam (besi dan baja, alumunium, timbal, dan seng), (iv) penggunaan produk bahan bakar non-energi dan pelarut (pelumas dan lilin parafin) dan (v) lain-lain yaitu penggunaan karbonat untuk industri pulp and paper serta industri makanan dan minuman.

Emisi GRK dari kegiatan produksi kimia (seperti asam adipat, kaprolaktan, glyoxal, titanium oksida dan industri soda abu) tidak termasuk dalam cakupan inventarisasi GRK karena industri tersebut tidak beroperasi di Indonesia. Selain itu, sumber emisi GRK dari industri ferroalloy, elektronik dan produk manufaktur lainnya (pelarut dan penggunaan produk lain) juga tidak dihitung lagi karena sulit untuk mendapatkan data (Gambar 4.27).

Saat ini, emisi dari kegiatan proses industri elektronik tidak diestimasi karena data yang tersedia merupakan data agregat antara industri yang merupakan sumber emisi GRK dan yang tidak menghasilkan emisi, seperti industri perakitan. Sedangkan untuk emisi GRK terkait penggunaan bahan pengganti Ozone Depleting Substances (ODS) juga sulit untuk diestimasi karena data stok ODS tidak tersedia. Walaupun data impor ODS dapat dilacak tetapi jumlah penggunaannya tidak dapat diketahui.



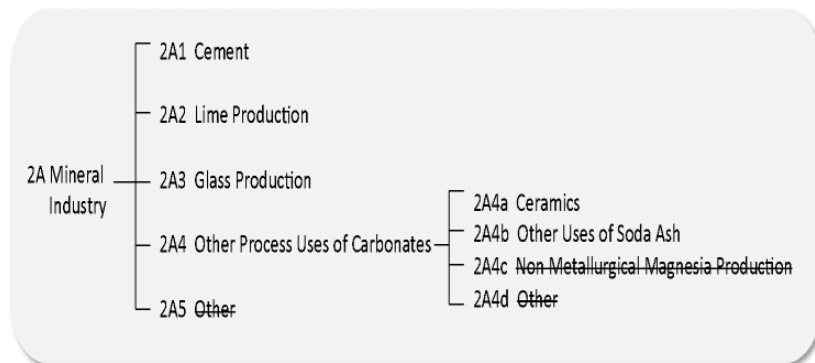
Gambar 4.27 Sumber Emisi dari Sektor IPPU

Saat ini pemerintah sedang mencatat data impor bahan pengganti ODS dimana data tersebut dapat digunakan sebagai dasar untuk mengestimasi pengurangan emisi GRK tetapi tetap saja tidak dapat digunakan untuk menetapkan inventarisasi GRK.

1. Industri Mineral

Emisi dari industri mineral mencakup emisi terkait kegiatan proses kimia dalam industri semen (produksi klinker), kapur, kaca/gelas dan industri yang menggunakan karbonat dalam prosesnya. Gambar 4.28. memperlihatkan cakupan sumber emisi GRK dari industri mineral yang dilaporkan dalam

dokumen ini. Untuk penggunaan karbonat pada produksi *non-metallurgical magnesia* dan *other* tidak diestimasi karena tidak digunakan di Indonesia.

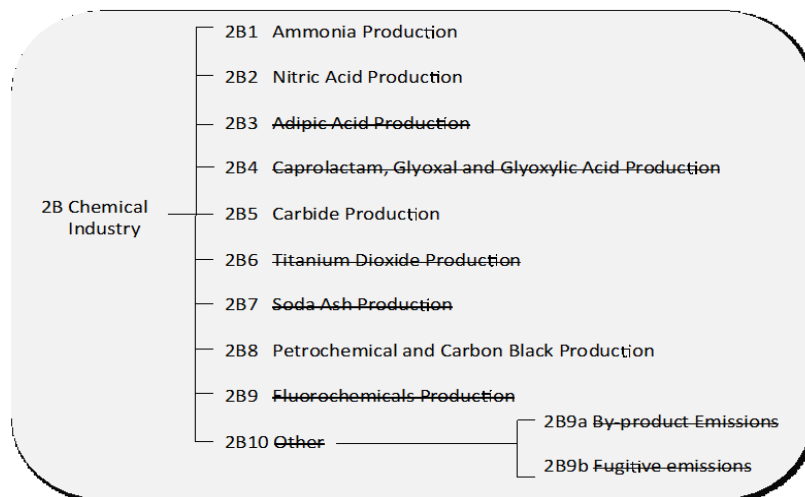


Gambar 4.28 Cakupan Sumber Emisi Sektor IPPU dari Industri Mineral

2. Industri Kimia

Mengacu kepada IPCC *Guidelines* 2006, proses produksi di industri kimia yang tercakup dalam inventarisasi GRK adalah amonia, asam nitrat, karbida, asam adipat, kaprolaktam, glioksal, dan asam glioksilat, titaniumdioksida, produksi soda abu alami, dan petrokimia (metanol, etilen, etilen diklorida, dan karbon hitam).

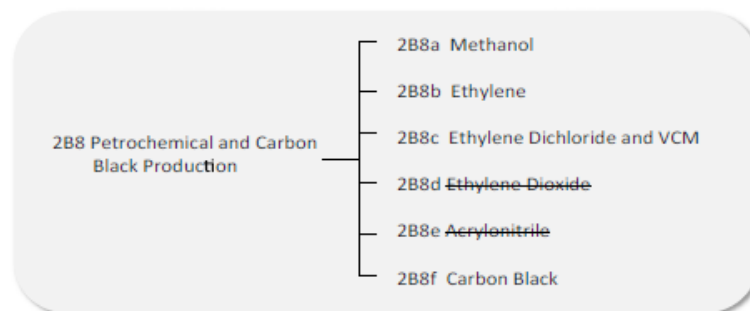
Namun untuk beberapa jenis industri seperti asam adipat, kaprolaktam, glioksal, asam glioksilat, titaniumdioksida, dan industri soda abu tidak dilakukan estimasi emisi GRK karena industri tersebut tidak ada di Indonesia.



Gambar 4.29 Cakupan Sumber Emisi Sektor IPPU dari Industri Kimia

Untuk saat ini keberadaan dan penggunaan produk-produk tersebut berasal dari impor. Estimasi emisi GRK dari jenis industri kimia yang dibahas dalam laporan ini terbatas pada industri yang berada di Indonesia dan ketersediaan data yang diperlukan. Industri tersebut antara lain: industri amonia, asam nitrat,

karbida, metanol, etilen, etilen diklorida, dan karbon hitam (Gambar 4.29 dan Gambar 4.30).



Gambar 4.30 Cakupan Sumber Emisi Sektor IPPU dari Produksi Petrokimia dan Carbon Black

3. Industri Logam

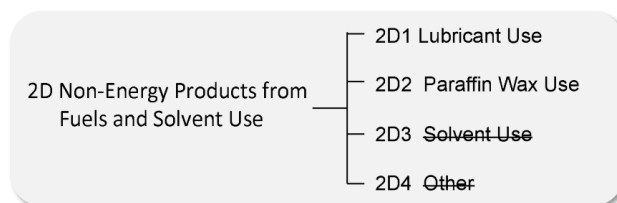
Berdasarkan IPCC *Guidelines* 2006, industri logam mencakup jenis-jenis industri seperti besi & baja, ferroalloy, alumunium, magnesium, timbal dan seng (Gambar 4.31). Namun dalam laporan ini, estimasi emisi pada inventarisasi GRK dari industri logam hanya kegiatan produksi besi dan baja, alumunium, timbal dan seng. Hal ini dikarenakan belum tersedianya data untuk industri tersebut.



Gambar 4.31 Cakupan Sumber Emisi Sektor IPPU dari Industri Logam

4. Penggunaan Produk Non-Energi dan Pelarut

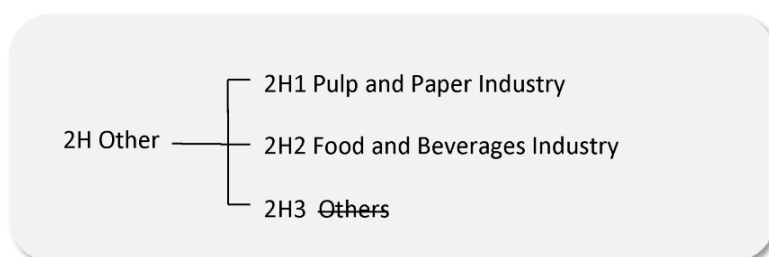
Penggunaan produk yang termasuk dalam kategori ini mencakup pelumas, lilin/parafin dan pelarut. Gambar 4.32 memperlihatkan lingkup sumber emisi GRK dari penggunaan produk yang dibahas dalam laporan ini.



Gambar 4.32 Cakupan Sumber Emisi Sektor IPPU dari Produk Non-energi dan Pelarut

5. Industri Lainnya

Emisi GRK dari kategori industri lainnya mencakup emisi terkait penggunaan karbonat selama kegiatan produksi pada industri pulp/kertas dan makanan/minuman. Dalam industri pulp/kertas, karbonat digunakan pada proses *lime kiln* dan proses *make-up* bahan kimia untuk proses *lime kiln*. Walaupun jumlah penggunaan karbonat tersebut tidak signifikan, proses tersebut tetap melepaskan emisi GRK ke atmosfer.



Gambar 4.33 Cakupan Emisi GRK dari Kategori Industri Lain

Secara garis besar, kategori sumber emisi yang dihitung pada laporan ini meliputi:

1. Produksi Mineral: *cement* (2A1), *lime* (2A2), *glass* (2A3), and *other process utilizing carbonates* (*ceramics* (2A4a), *soda ash* (2A4b), *other-carbonate consumption* (2A4d);
2. Produksi Kimia: *ammonia production* (2B1), *nitric acid* (2B2), *carbide* (2B5), and *petrochemicals* (2B8);
3. Produksi Metal: *iron and steel* (2C1), *aluminium* (2C3), *lead* (2C5), and *zinc* (2C6);
4. Produk *Non-energy products* dari bahan bakar dan pelarut: *lubricant* (2D1) and *paraffin wax* (2D2)

Industri lainnya seperti penggunaan karbonat pada *pulp and paper industry* (2H1) dan industri makanan dan minuman (2H2). Pada industri pulp/kertas, karbonat digunakan sebagai bahan kimia selama proses rekaustikisasi. Meskipun jumlah karbonat tidak signifikan, namun proses kimia yang terjadi masih melepaskan emisi GRK. Sedangkan sumber kategori yang tidak dihitung dalam laporan ini, antara lain:

1. Emisi GRK dari produksi kimia untuk kategori *adipic acid productions* (2B3), *caprolactam*, *glyoxal*, *glyoxylic acid* (2B4), *titanium dioxide* (2B6), dan *natural soda ash* (2B7), *fluorochemical production* (2B9), karena kategori ini tidak tersedia di Indonesia.
2. Emisi GRK dari *ferroalloy* (2C2) dan *magnesium production* (2C4) juga tidak termasuk yang dilaporkan karena keterbatasan dalam pengumpulan data.
3. Emisi GRK dari *electronic industry* (2E1-2E4) tidak diestimasi pada pelaporan ini karena data yang tersedia hanya dalam jumlah agregat (dari industri yang menghasilkan emisi GRK dan dari industri yang tidak menghasilkan emisi GRK, seperti industri perakitan).

Emisi GRK dari penggunaan produk sebagai substitusi untuk *Ozone Depleting Substances* (ODS) (2F1-2F4) tidak tersedia, begitu pula dengan penggunaan karbonat pada produksi *non-metallurgical magnesia* dan industri lainnya.

B. Jenis Gas

Tipe emisi GRK dari sektor IPPU mencakup 5 (lima) gas yaitu CO₂, CH₄, N₂O, dan perfluorocarbon (PFC) dalam bentuk CF₄ and C₂F₆. Pada sektor industri, CO₂ biasanya dilepaskan dari kegiatan pembakaran bahan bakar. Pada beberapa industri, emisi juga dihasilkan selama proses produksi dan penggunaan produk.

Berdasarkan IPCC Guidelines 2006, emisi GRK dari hasil pembakaran bahan bakar fosil tidak dilaporkan dalam kategori IPPU karena sudah tercakup dalam kategori energi. Oleh karena itu pada bab ini hanya dibahas emisi GRK dari kegiatan proses industri dan penggunaan produk saja.

C. Periode Waktu

Inventarisasi GRK yang dilaporkan dalam dokumen ini mencakup emisi GRK yang dihasilkan dari tahun 2000 – 2023.

D. Sumber Data

Data dan informasi terkait inventarisasi GRK sektor IPPU yang semestinya Data dan informasi terkait data produksi pada industri semen tahun 2023 diperoleh dari Pusat Industri Hijau, Kementerian Perindustrian, sedangkan seluruh data aktivitas lainnya pada Inventarisasi GRK pada sektor IPPU menggunakan pendekatan laju pertumbuhan PDB industri manufaktur tahun 2023.

Pemilihan penggunaan proksi laju pertumbuhan PDB industri manufaktur tahun 2023 yang dipublikasikan oleh Badan Pusat Statistik untuk menghitung emisi GRK pada sektor IPPU adalah dengan mempertimbangkan bahwa laju pertumbuhan PDB industri manufaktur merupakan salah satu indikator utama untuk mengukur pertumbuhan ekonomi karena kontribusinya yang signifikan terhadap PDB dan data laju pertumbuhan PDB industri manufaktur juga mengukur kinerja sektor industri manufaktur secara spesifik.

Perhitungan Emisi GRK

Emisi GRK sektoral dari IPPU selama periode 2000 – 2023 terangkum pada Tabel 4.5 Sedangkan rincian pada masing-masing subkategori pada sektor IPPU tahun 2022 dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Emisi GRK dari Sektor IPPU Tahun 2000 – 2023

<i>Tahun</i>	<i>Emisi Sektor IPPU untuk 3 gas utama (CO₂, CH₄, N₂O) (Gg CO₂e)</i>	<i>Emisi Sektor IPPU untuk seluruh gas (CO₂, CH₄, N₂O, CF₄, C₂F₆) (Gg CO₂e)</i>
2000	42.648	42.920
2001	48.043	48.314
2002	41.439	41.711
2003	41.183	41.454
2004	42.930	43.202
2005	42.078	42.349
2006	38.397	38.680
2007	35.675	35.948
2008	36.252	36.526
2009	37.294	37.566
2010	35.579	35.732
2011	34.555	34.601
2012	38.796	38.843
2013	37.824	37.874
2014	45.957	45.996
2015	48.695	48.745
2016	53.718	53.766
2017	57.043	57.085
2018	57.434	57.481
2019	58.128	58.173
2020	57.146	57.194
2021	59.330	59.377
2022	59.138	59.193
2023	59.797	59.854

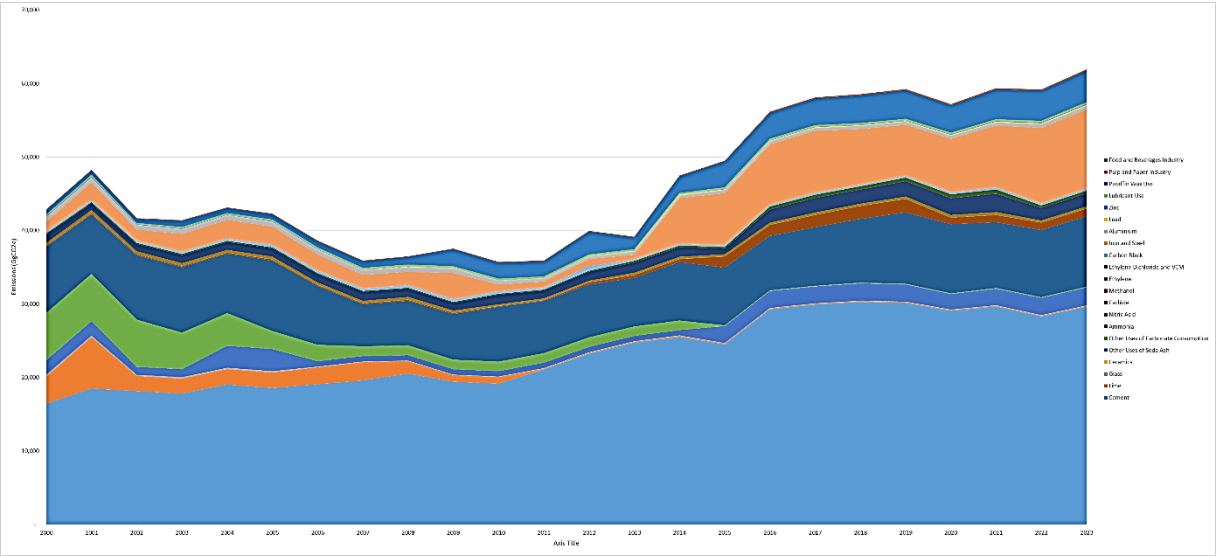
Secara umum, Tabel 4.6 menunjukkan tingkat emisi berfluktuasi pada periode 2000 – 2023, tetapi secara keseluruhan tren emisi meningkat. Pada periode amatan tahun 2000 – 2023 tingkat pertumbuhan emisi sektor IPPU untuk seluruh gas adalah sebesar 2% dari 42.920 GgCO₂e pada tahun 2000 menjadi 59.854 GgCO₂e pada tahun 2023. Sedangkan pada Tabel 4.7 menunjukkan komposisi emisi per subkategori sektor IPPU pada tahun 2023 sebesar 46% emisi dari sektor IPPU berasal dari industri semen, yang diikuti oleh industri besi baja (18%) dan ammonia (16%).

Tabel 4.7 Emisi GRK Per Subkategori Sektor IPPU Tahun 2023

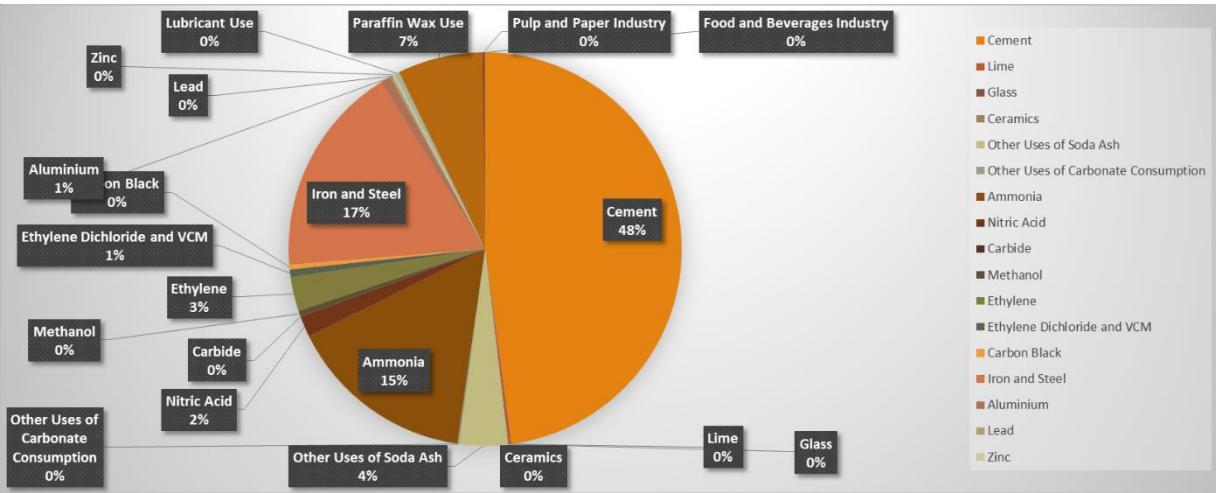
Code	Categories	Emission
		(Gg CO ₂ e)
Mineral		
2.A.1	Cement	29.637
2.A.2	Lime	118
2.A.3	Glass	48
2.A.4.a	Ceramics	4
2.A.4.b	Other Uses of Soda Ash	2.463
2.A.4.d	Other Uses of Carbonate Consumption	92
Chemical		
2.B.1	Ammonia	9.552
2.B.2	Nitric Acid	1.061
2.B.5	Carbide	27
2.B.8.a	Methanol	281
2.B.8.b	Ethylene	1.752
2.B.8.c	Ethylene Dichloride and VCM	382
2.B.8.f	Carbon Black	245
Metal		
2.C.1	Iron and Steel	10.782
2.C.3	Aluminium	525
2.C.5	Lead	124
2.C.6	Zinc	117
Non-Energy Products from Fuels and Solvent Use		
2.D.1	Lubricant Use	252
2.D.2	Paraffin Wax Use	4.308
Others		
2.H.1	Pulp and Paper Industry	156
2.H.2	Food and Beverages Industry	3
	Total	61.929

Berdasarkan tingkat emisi GRK sektor IPPU tahun 2000 – 2023 yang disajikan pada Gambar 4.34 dan komposisi emisi pada setiap subkategori sektor

IPPU (Gambar 4.35) menunjukkan bahwa pada tahun 2023 emisi dari sektor IPPU terbesar berasal dari industri semen, yang diikuti oleh industri besi baja pada urutan kedua.



Gambar 4.34 Tingkat Emisi GRK Sektor IPPU Tahun 2000 – 2023



Gambar 4.35 Kontribusi Emisi GRK Berdasarkan Kategori Sektor IPPU Tahun 2023

Sumber Emisi Kunci

Kategori kunci sumber emisi pada sektor IPPU pada tahun 2023 dapat dilihat pada Tabel 4.8 dimana tiga (3) emisi terbesar pada sektor IPPU berasal dari industri semen, besi dan baja serta ammonia.

Tabel 4.8 Sumber Emisi Kunci Sektor IPPU Tahun 2023

Code	Categories	Total GHG Emissions 2023 (Gg CO ₂ e)	Level/Rank	Cumulative
2.A.1	Cement	27.551,78	46,03%	46,03%
2.C.1	Iron and Steel	10.781,67	18,01%	64,04%
2.B.1	Ammonia	9.551,70	15,96%	80,00%
2.D.2	Paraffin Wax Use	4.308,30	7,20%	87,20%
2.A.4.b	Other Uses of Soda Ash	2.462,54	4,11%	91,31%
2.B.8.b	Ethylene	1.751,96	2,93%	94,24%
2.B.2	Nitric Acid	1.061,33	1,77%	96,02%
2.C.3	Aluminium	525,12	0,88%	96,89%
2.B.8.c	Ethylene Dichloride and VCM	382,45	0,64%	97,53%
2.B.8.a	Methanol	280,89	0,47%	98,00%
2.D.1	Lubricant Use	255,02	0,43%	98,43%
2.B.8.f	Carbon Black	251,99	0,42%	98,85%
2.H.1	Pulp and Paper Industry	155,70	0,26%	99,11%
2.C.5	Lead	124,34	0,21%	99,32%
2.A.2	Lime	117,77	0,20%	99,51%
2.C.6	Zinc	116,82	0,20%	99,71%
2.A.4.d	Other Uses of Carbonate Consumption	92,17	0,15%	99,86%
2.A.3	Glass	47,70	0,08%	99,94%
2.B.5	Carbide	27,47	0,05%	99,99%
2.A.4.a	Ceramics	3,88	0,01%	99,99%
2.H.2	Food and Beverages Industry	2,79	0,00%	100,00%
2.B.8.d	Ethylene Oxide	1,00	0,00%	100,00%
	Total	59.854,36		

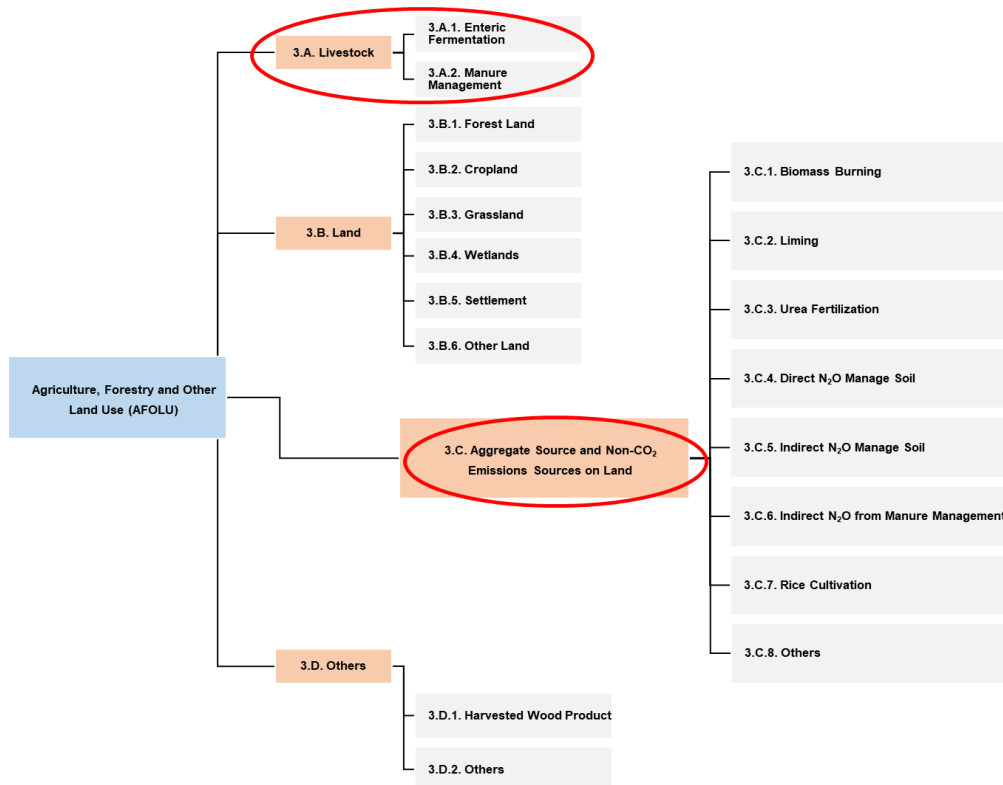
4.2.3 Sektor Pertanian

A. Kategori Sumber Emisi GRK

Pelaksanaan Inventarisasi GRK untuk Sektor Pertanian mengacu pada IPCC *Guidelines* 2006. Di mana pada panduan tersebut, sumber emisi dari Sektor Pertanian, terdiri atas 2 (dua) bagian besar, yaitu emisi dari aktivitas peternakan (3A), emisi dari sumber agregat dan sumber emisi Non-CO₂ pada lahan (3C). Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Sektor Pertanian Tahun 2023 ini disusun berdasarkan data inventarisasi gas rumah kaca Sektor Pertanian periode Tahun 2000 – 2023, dengan sumber data utama dari Badan Pusat Statistik (BPS), Biro Perencanaan Kementerian Pertanian, dan Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia (APPI).

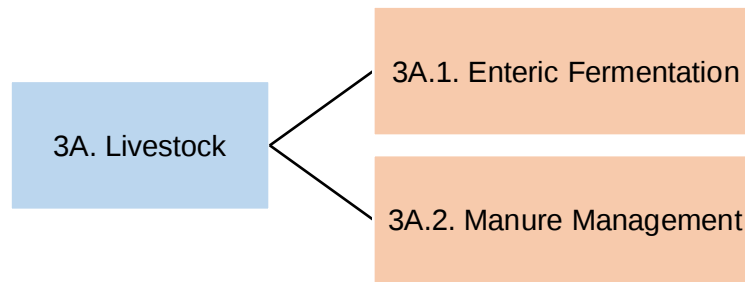
Kategori–kategori sumber emisi di dalam IPCC *Guidelines* 2006 dari Sektor Pertanian yang dihitung dalam laporan ini dapat dilihat pada Gambar 4.36, antara lain:

1. Peternakan (3A); yaitu emisi dari fermentasi enterik (3A1), pengelolaan kotoran ternak (3A2a), termasuk emisi langsung N_2O dari pengelolaan kotoran ternak pada ladang penggembalaan ternak (3A2b) dan emisi tidak langsung N_2O dari pengelolaan kotoran ternak pada ladang penggembalaan ternak (3C6).
2. Pembakaran biomassa residu pertanian (3C1b).
3. Pembakaran biomassa pertanian berpindah (3C1c).
4. Aplikasi kapur pertanian (3C2) dari pengelolaan lahan pertanian (penggunaan *limestone* dan *dolomite*).
5. Aplikasi pupuk urea (3C3) pada lahan pertanian.
6. Emisi langsung N_2O dari tanah terkelola (3C4); aplikasi nitrogen pada tanah terkelola.
7. Emisi tidak langsung N_2O dari tanah terkelola (3C5); deposisi atmosferik dari nitrogen volatil pada tanah terkelola.
8. Emisi dari budidaya padi sawah (3C7); emisi metana dari budidaya persawahan padi.



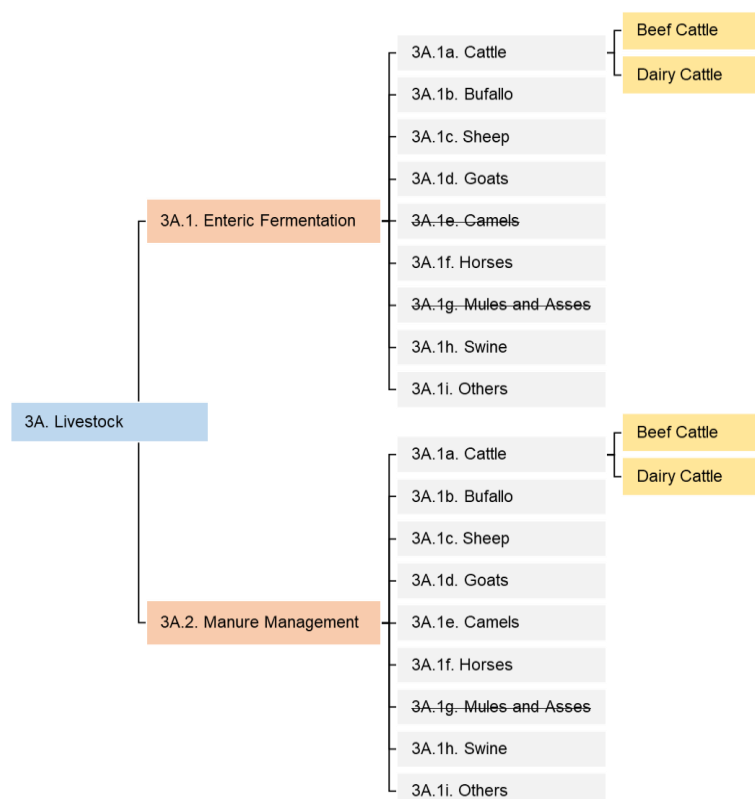
Gambar 4.36 Kategori Sumber Emisi dalam IPCC *Guidelines* Sektor Pertanian

1. Peternakan



Gambar 4.37 Cakupan Sumber Emisi GRK dari Sektor Peternakan

Kategori sumber emisi GRK dari peternakan yaitu emisi GRK dari fermentasi enterik dan pengelolaan kotoran ternak (Gambar 4.37). Emisi dari kedua sumber tersebut dikategorikan berdasarkan populasi ternak, yaitu sapi perah, sapi lainnya, kerbau, domba, kambing, unta, kuda, keledai, babi, dan unggas (Gambar 4.38). Emisi metana dari unta dan keledai tidak diperkirakan karena keterbatasan data.

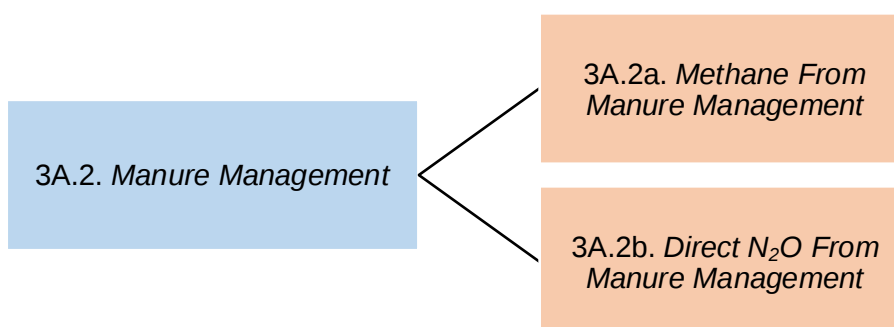


Gambar 4.38 Cakupan Sumber Emisi GRK dari Fermentasi Enterik dan Pengelolaan Kotoran Ternak Berdasarkan Jenis Ternak (catatan: dicoret berarti tidak dihitung)

a. Emisi Metana dari Fermentasi Enterik

Ternak menghasilkan metana sebagai produk sampingan dari fermentasi enterik, proses pencernaan di mana karbohidrat dipecah oleh mikroorganisme menjadi molekul sederhana untuk diserap ke dalam aliran darah. Sumber utama metana adalah ternak ruminansia (misalnya sapi, domba) dengan jumlah moderat yang dihasilkan dari ternak non-ruminansia (misalnya babi, kuda).

Pengelolaan Kotoran Ternak



Gambar 4.39 Cakupan Sumber Emisi GRK dari Pengelolaan Kotoran Ternak

Metana yang dihasilkan selama penyimpanan dan penanganan pupuk, dan dari kotoran disimpan di padang rumput. Dekomposisi pupuk kandang dalam kondisi anaerob (misalnya, dengan tidak adanya oksigen) selama penyimpanan dan perawatan menghasilkan CH_4 . Kondisi ini terjadi paling mudah ketika sejumlah besar hewan dikelola di daerah terbatas (misalnya peternakan sapi, penggemukan sapi, dan babi dan unggas peternakan), dan di mana kotoran dibuang dalam sistem berbasis cairan.

Selain itu, selama penyimpanan dan pengelolaan kotoran ternak, N_2O bisa mengemisi sebelum diaplikasikan ke tanah (Gambar 4.39). Emisi N_2O yang dihasilkan oleh kotoran dalam sistem yang '*pastura*, *range* dan *paddock*' bisa terjadi secara langsung dan tidak langsung dari tanah. Oleh karena itu, emisi N_2O tidak langsung dilaporkan di bawah kategori N_2O Emisi dari Tanah Terkelola (3C6). Emisi N_2O langsung terjadi melalui kombinasi nitrifikasi dan denitrifikasi nitrogen yang terkandung dalam pupuk. Emisi N_2O tidak langsung akibat volatilisasi nitrogen yang terjadi terutama dalam bentuk amonia dan NO_x .

2. Sumber Agregat dan Sumber Emisi Non- CO_2 pada Lahan

Dalam sektor ini, sumber emisi diklasifikasikan ke dalam 6 (enam) kategori, yaitu (a) emisi GRK dari pembakaran biomassa di lahan pertanian (*Cropland*) dan padang rumput (*Grassland*), (b) aplikasi kapur pertanian, (c) aplikasi pupuk urea, (d) emisi N_2O langsung dari tanah yang dikelola, (e) emisi N_2O tidak

langsung dari tanah yang dikelola, (f) emisi N_2O tidak langsung dari pengelolaan kotoran ternak dan (g) budidaya padi sawah. Dalam laporan ini, emisi dari pembakaran biomassa di lahan hutan dan lahan lainnya tidak dihitung, karena data aktivitas mengenai kawasan hutan yang terbakar dan jenis lahan lainnya tidak tersedia.

Pembakaran Biomassa

Emisi dari pembakaran biomassa tidak hanya mencakup CO_2 , tetapi juga GRK lainnya, atau prekursor, karena pembakaran yang tidak sempurna dari bahan bakar, termasuk karbon monoksida (CO), metana (CH_4), senyawa organik yang mudah menguap non-metana (NMVOC) dan nitrogen (misalnya N_2O , NO_x). Emisi GRK Non- CO_2 diperkirakan untuk semua kategori penggunaan lahan. Namun dalam laporan ini, hanya emisi dari pembakaran biomassa dari jerami padi di lahan pertanian (*cropland*), baik padi sawah maupun padi ladang.

a. Aplikasi Kapur Pertanian

Kapur pertanian digunakan untuk mengurangi keasaman tanah dan meningkatkan pertumbuhan tanaman dalam sistem lahan yang dikelola, khususnya lahan pertanian dan hutan yang dikelola. Penambahan karbonat untuk tanah dalam bentuk kapur, misalnya batu kapur (CaCO_3), atau dalam bentuk dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) juga menyebabkan emisi CO_2 sebagai kapur karbonat terlarut dan bikarbonat (2HCO_3^-) yang terlepas, yang berkembang menjadi CO_2 dan air (H_2O).

b. Aplikasi Pupuk Urea

Penambahan urea pada tanah selama pemupukan akan mengakibatkan hilangnya CO_2 yang sebelumnya berada dalam pupuk selama proses produksi industri yang diproduksi itu. Urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) diubah menjadi Amonium (NH_4^+), Ion Hidroksil (OH^-) dan Bikarbonat (HCO_3^-), dengan adanya air dan enzim urease. Serupa dengan reaksi tanah terhadap penambahan kapur, bikarbonat yang terbentuk berkembang menjadi CO_2 dan air (H_2O).

c. Emisi N_2O dari Tanah yang Dikelola

Emisi N_2O yang dihasilkan dari input N antropogenik atau N mineralisasi terjadi secara langsung (yaitu langsung dari tanah di mana N ditambahkan/dirilis), dan secara tidak langsung: (i) setelah penguapan NH_3 dan NO_x dari tanah dikelola dan dari pembakaran bahan bakar fosil dan pembakaran biomassa, dan *redemption* lanjutan gas tersebut dan produk mereka NH_4^+ dan NO_3^- ke tanah dan air; dan (ii) setelah pencucian dan limpasan dari N, terutama sebagai NO_3^- , dari tanah yang dikelola.

d. Budidaya Padi Sawah

Dekomposisi anaerobik dari bahan organik di sawah tergenang menghasilkan metana (CH_4), yang melarikan diri ke atmosfer terutama oleh transportasi melalui tanaman padi. Jumlah tahunan CH_4 dari suatu area sawah merupakan fungsi dari jumlah dan durasi tanaman tumbuh, rezim air sebelum dan selama periode budidaya, dan perubahan tanah organik dan anorganik. Jenis tanah, suhu, dan varietas padi juga mempengaruhi emisi CH_4 .

B. Jenis Gas

Berdasarkan IPCC *Guidelines* 2006, jenis emisi GRK yang dihasilkan dari Subsektor Peternakan adalah gas *methane* (CH_4) dan dinitrogen oksida (N_2O). Sedangkan emisi GRK dari sumber agregat dan sumber emisi Non- CO_2 pada lahan adalah karbon dioksida (CO_2), *methane* (CH_4) dan dinitrogen oksida (N_2O).

C. Periode Waktu

Penyelenggaraan Inventarisasi GRK Nasional Sektor Pertanian dilaksanakan setiap tahun untuk data satu tahun sebelumnya (T-1). Hasil perhitungan emisi yang dilaporkan dalam laporan ini mencakup emisi GRK pada Tahun 2000 sampai 2023.

D. Sumber Data

1. Peternakan

Data populasi ternak dan informasi yang terkait dengan inventarisasi GRK berasal dari sumber publikasi statistik sektoral sektor peternakan (2000 – 2022) dari *website* resmi Badan Pusat Statistik (BPS), sedangkan data untuk tahun 2023 menggunakan data ekstrapolasi dengan berdasarkan data populasi ternak tahun 2021 dan 2022.

2. Sumber Agregat dan Sumber Emisi Non- CO_2 pada Lahan

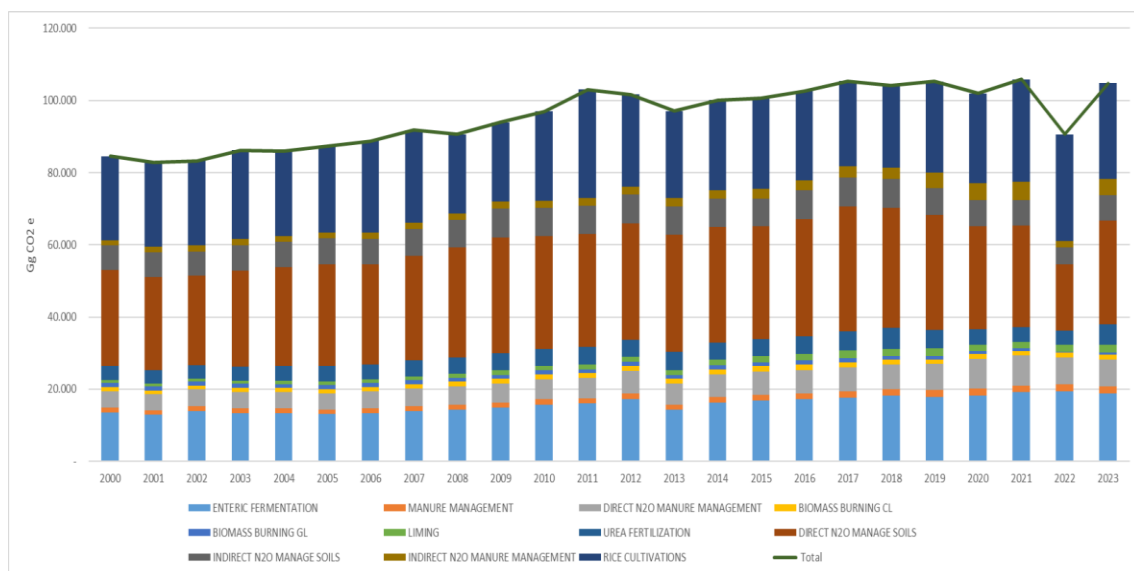
Data aktivitas yang digunakan untuk menghitung emisi GRK dari sumber agregat dan sumber emisi non- CO_2 pada lahan diperoleh dari berbagai sumber publikasi. Data aktivitas estimasi emisi GRK dari pembakaran biomassa dan pengapuran bersumber dari Badan Pusat Statistik (BPS) dan Biro Perencanaan Kementerian Pertanian; aplikasi urea, emisi langsung dan tidak langsung N_2O dari tanah yang dikelola diperoleh dari Biro Perencanaan Kementerian Pertanian dan APPI (Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia). Sementara itu, data aktivitas untuk memperkirakan emisi metana dari budidaya padi diperoleh dari BPS.

E. Perhitungan Emisi GRK

Dari hasil perhitungan emisi GRK Sektor Pertanian, dapat diketahui bahwa pada Tahun 2023, tingkat emisi GRK dari 3 (tiga) gas utama (CO_2 , CH_4 dan N_2O) dari Sektor Pertanian adalah sebesar **104.979,45** Gg CO_2e . Jika dibandingkan

dengan tingkat emisi pada Tahun 2022 sebesar **90.642,73** Gg CO₂e, maka status emisi pada Tahun 2023 naik sebesar 14.336,72 Gg CO₂e, atau sekitar 15,81%. Kenaikan emisi berasal dari kategori Emisi N₂O langsung dari tanah yang dikelola, emisi N₂O tidak langsung dari tanah yang dikelola, emisi N₂O tidak langsung dari pengelolaan ternak dan emisi CH₄ dan N₂O dari pembakaran padang rumput.

Berdasarkan sumber emisi, pada Tahun 2023 emisi utama dari Sektor Pertanian berasal dari kegiatan emisi N₂O langsung dari tanah yang dikelola (27,51%), budidaya padi sawah (25,41%), fermentasi enterik dari ternak (18,01%). Emisi GRK dari Sektor Pertanian dari Tahun 2000-2023 menunjukkan kecenderungan peningkatan dengan fluktuasi yang tidak terlalu signifikan.



Gambar 4.40 Tren Emisi Sektor Pertanian Menurut Kategori Tahun 2000 – 2023

Tabel 4.9 Rekapitulasi Emisi Sektor Pertanian Tahun 2000 – 2010 (Gg CO₂e)

NO.	CATEGORY	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	ENTERIC FERMENTATION	13.591	12.905	13.846	13.358	13.302	13.045	13.408	13.890	14.376	14.872,07	15.711,61
2	MANURE MANAGEMENT	1.326,28	1.270,68	1.375,60	1.337,26	1.321,27	1.270,02	1.300,37	1.333,62	1.357,77	1.404,10	1.469,90
3	DIRECT N ₂ O MANURE MANAGEMENT	4.495,64	4.373,73	4.646,58	4.555,48	4.549,99	4.567,23	4.720,57	4.932,02	5.073,90	5.296,73	5.561,32
4	BIOMASS BURNING CL	1.100,07	1.093,05	1.106,76	1.107,91	1.091,52	1.122,17	1.173,54	1.212,24	1.274,92	1.319,38	1.312,25
5	BIOMASS BURNING GL	1.232,33	1.090,47	1.087,78	1.115,34	1.144,83	1.163,22	1.117,35	1.172,71	1.081,99	1.052,48	1.114,05
6	LIMING	809,84	866,48	906,93	868,82	917,31	947,05	965,28	1.010,55	1.073,77	1.199,55	1.261,77
7	UREA FERTILIZATION	3.900,30	3.562,30	3.547,16	3.808,96	4.055,99	4.209,99	4.123,56	4.439,78	4.580,52	4.864,54	4.709,24
8	DIRECT N ₂ O MANAGE SOILS	26.472,29	25.968,85	24.912,70	26.688,37	27.358,71	28.238,52	27.673,66	29.011,20	30.374,57	32.085,06	31.234,55
9	INDIRECT N ₂ O MANAGE SOILS	6.951,65	6.853,01	6.656,19	7.032,80	6.994,05	7.195,06	7.183,27	7.405,90	7.665,52	7.953,20	7.788,44
10	INDIRECT N ₂ O MANURE MANAGEMENT	1.322,49	1.399,24	1.697,46	1.657,76	1.603,45	1.644,19	1.657,64	1.778,99	1.791,62	1.939,32	1.944,18
11	RICE CULTIVATIONS	23.335,16	23.403,19	23.486,14	24.635,26	23.609,57	24.008,49	25.369,91	25.569,09	21.965,44	21.970,06	24.847,74
	Total	84.537,46	82.786,49	83.269,07	86.166,19	85.948,98	87.410,58	88.693,14	91.755,87	90.616,37	93.956,48	96.955,06

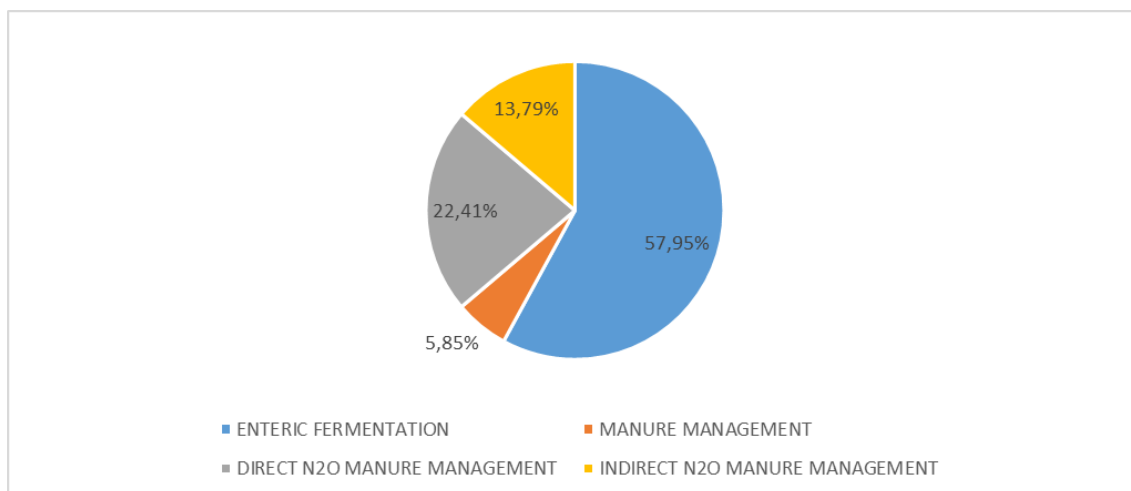
Tabel 4.10 Rekapitulasi Emisi Sektor Pertanian Tahun 2011 – 2023 (Gg CO₂e)

NO.	CATEGORY	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
1	ENTERIC FERMENTATION	15.980,90	17.262,96	14.365,86	16.332,29	16.904,01	17.266,36	17.676,21	18.266,23	17.897,61	18.174,00	19.197,70	19.467,51	19.062,23
2	MANURE MANAGEMENT	1.438,99	1.551,58	1.271,38	1.459,69	1.515,96	1.564,06	1.604,91	1.657,96	1.772,37	2.002,00	1.830,60	1.873,84	1.924,14
3	DIRECT N ₂ O MANURE MANAGEMENT	5.746,49	6.216,52	5.825,00	6.320,43	6.464,23	6.469,51	6.719,77	6.913,61	7.307,24	8.220,00	8.286,30	7.479,04	7.372,37
4	BIOMASS BURNING CL	1.329,65	1.366,21	1.383,50	1.389,30	1.454,80	1.433,86	1.408,28	1.384,76	1.254,56	1.246,38	1.239,62	1.308,94	1.251,55
5	BIOMASS BURNING GL	1.019,73	1.132,18	952,05	1.020,69	1.015,88	1.162,15	1.195,52	842,69	821,64	780,57	686,30	138,05	703,82
6	LIMING	1.292,93	1.357,05	1.432,73	1.563,82	1.717,06	1.836,41	2.054,07	2.125,37	2.160,21	1.781,24	1.757,90	1.970,37	2.140,45
7	UREA FERTILIZATION	4.812,57	4.853,24	5.029,52	4.835,72	4.746,32	4.866,52	5.300,18	5.715,48	5.182,29	4.395,92	4.208,13	3.876,25	5.642,59
8	DIRECT N ₂ O MANAGE SOILS	31.319,54	32.191,46	32.481,51	31.918,65	31.297,00	32.464,14	34.549,79	33.404,16	31.799,81	28.488,80	28.074,37	18.475,21	28.818,06
9	INDIRECT N ₂ O MANAGE SOILS	7.809,82	7.940,52	7.912,16	7.843,27	7.727,89	7.963,79	8.199,69	7.972,24	7.526,45	7.243,04	7.117,12	4.629,67	6.905,33
10	INDIRECT N ₂ O MANURE MANAGEMENT	2.164,93	2.304,60	2.335,79	2.489,16	2.604,60	2.727,07	2.977,52	3.058,97	4.343,48	4.786,06	5.031,00	1.843,49	4.537,38
11	RICE CULTIVATIONS	30.063,14	25.516,89	24.056,66	24.919,07	25.236,93	24.886,29	23.677,44	22.711,99	25.235,20	24.863,76	28.447,61	29.580,36	26.621,53
	Total	102.978,69	101.693,21	97.046,15	100.092,09	100.684,66	102.640,16	105.363,38	104.053,45	105.300,85	101.981,72	105.876,65	90.642,73	104.979,45

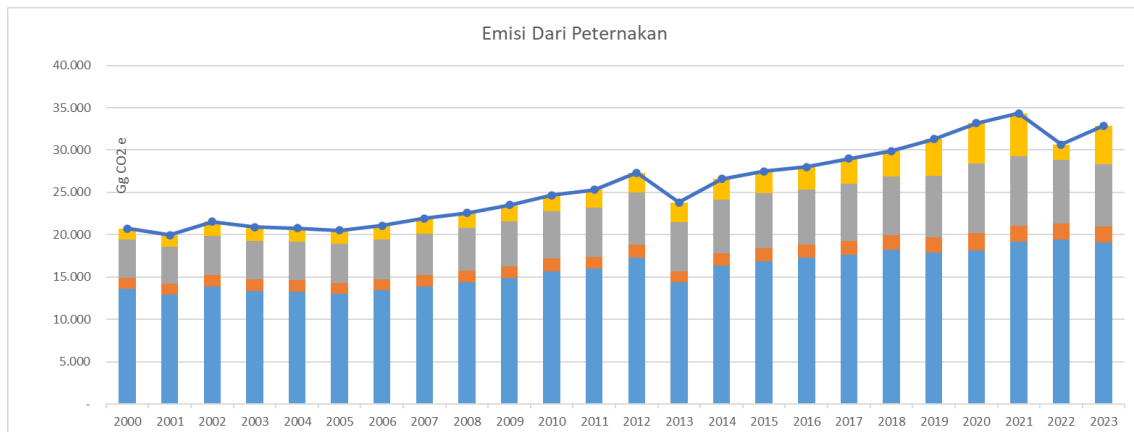
1. Peternakan

Dari hasil perhitungan tingkat emisi dari Subsektor Peternakan pada Tahun 2023 yaitu sebesar 32.896,12 Gg CO₂e, lebih tinggi dari emisi pada Tahun 2022 yaitu sebesar 30.663,88 Gg CO₂e. Secara umum emisi GRK Subsektor Peternakan menunjukkan kecenderungan peningkatan pada periode 2000 – 2023 (Gambar 4.42). Hal ini disebabkan pada data proporsi kelas umur ternak di tahun 2023 masih menggunakan data SUTAS 2017 (Survei Pertanian Antar Sensus) yang berasal dari SIGN SMART, sedangkan di tahun 2022 sudah menggunakan hasil perhitungan Kementerian Pertanian dengan menggunakan SUTAS 2018.

Sumber penyumbang emisi terbesar terhadap total emisi pada Tahun 2023 dari Subsektor Peternakan adalah dari kategori emisi CH₄ dari fermentasi enterik dengan persentase 57,95%, diikuti oleh emisi N₂O langsung dari pengelolaan kotoran ternak 22,41%, emisi N₂O tidak langsung dari pengelolaan kotoran ternak 13,79% dan emisi CH₄ dari pengelolaan kotoran ternak 5,85%. Secara grafis kontribusi masing-masing kategori sumber emisi pada Subsektor Peternakan terlihat pada Gambar 4.41.



Gambar 4.41 Kontribusi Kategori Sumber Emisi pada Subsektor Peternakan

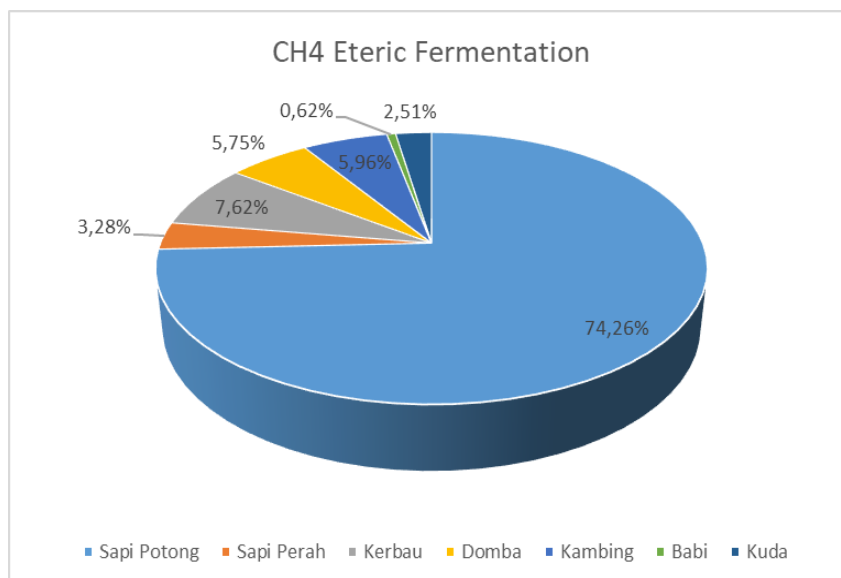


Gambar 4.42 Tren/Kecenderungan Emisi Subsektor Peternakan Tahun 2000 – 2023

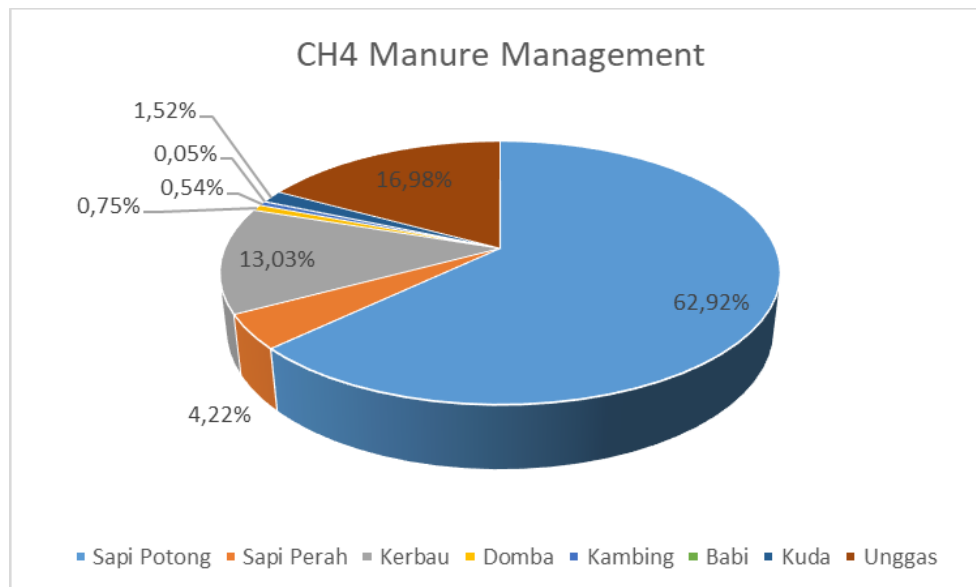
a. Emisi *Methane* dari Peternakan

Dari hasil perhitungan emisi Subsektor Peternakan emisi *methane* dari fermentasi enterik Tahun 2023 di Indonesia disajikan seperti pada Gambar 4.43, emisi terbesar dihasilkan oleh ternak jenis sapi potong (74,26%), kerbau (7,62%), domba (5,75%), dan kambing (5,96%). Sedangkan jenis ternak lainnya masing-masing menyumbang gas *methane* di bawah 4%.

Sedangkan, emisi *methane* dari pengelolaan kotoran ternak Tahun 2023 di Indonesia disajikan seperti pada Gambar 4.44 emisi terbanyak dihasilkan oleh sapi potong (62,92%), unggas (16,98%), kerbau (13,03%) dan sapi perah (4,22%). Sedangkan, jenis ternak lainnya masing-masing menyumbang gas *methane* di bawah 2%.



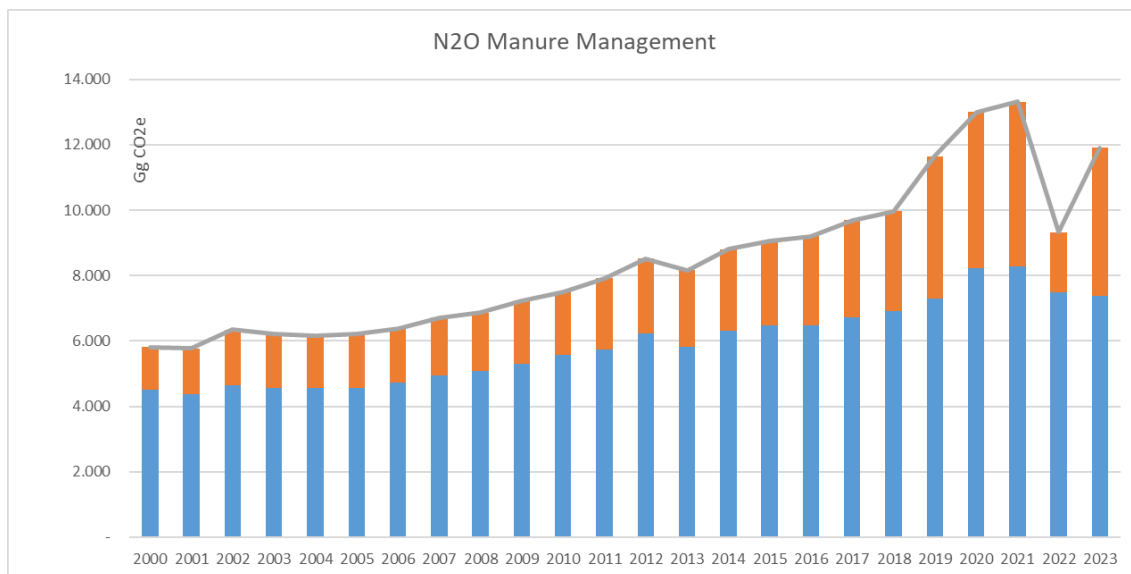
Gambar 4.43 Persentase Gas Metahane dari Fermentasi Enterik Jenis Ternak Tahun 2023



Gambar 4.44 Persentasi Gas Methane dari Pengelolaan Kotoran Jenis Ternak Tahun 2023

b. Emisi N₂O dari Peternakan

Emisi N₂O dari peternakan dihasilkan dari kegiatan pengelolaan kotoran ternak baik secara langsung maupun tidak langsung. Dari hasil perhitungan emisi N₂O langsung dari pengelolaan kotoran ternak tingkat emisi pada Tahun 2023 sebesar 7.372,37 Gg CO₂e, menurun dibandingkan dengan tingkat emisi pada Tahun 2022 sebesar 7.479,04 Gg CO₂e. Sedangkan, tingkat emisi N₂O tidak langsung pada Tahun 2023 sebesar 4.537,38 Gg CO₂e, juga menurun dibandingkan dengan Tahun 2022 sebesar 1.843,49 Gg CO₂e. Kenaikan emisi *indirect* N₂O *Manure Mangement* disebabkan data persentase kelompok umur ternak pada aplikasi SIGN SMART menggunakan SUTAS 2017 dan belum memperhitungkan *life circle* pada unggas. Secara rinci, tingkat dan kecenderungan emisi N₂O dari Subsektor Peternakan dapat dilihat pada Gambar 4.45.



Gambar 4.45 Emisi N₂O Langsung dan Tidak Langsung dari Pengelolaan Kotoran Ternak

2. Estimasi Emisi Sumber Agregat dan Sumber Emisi Non-CO₂ pada Lahan

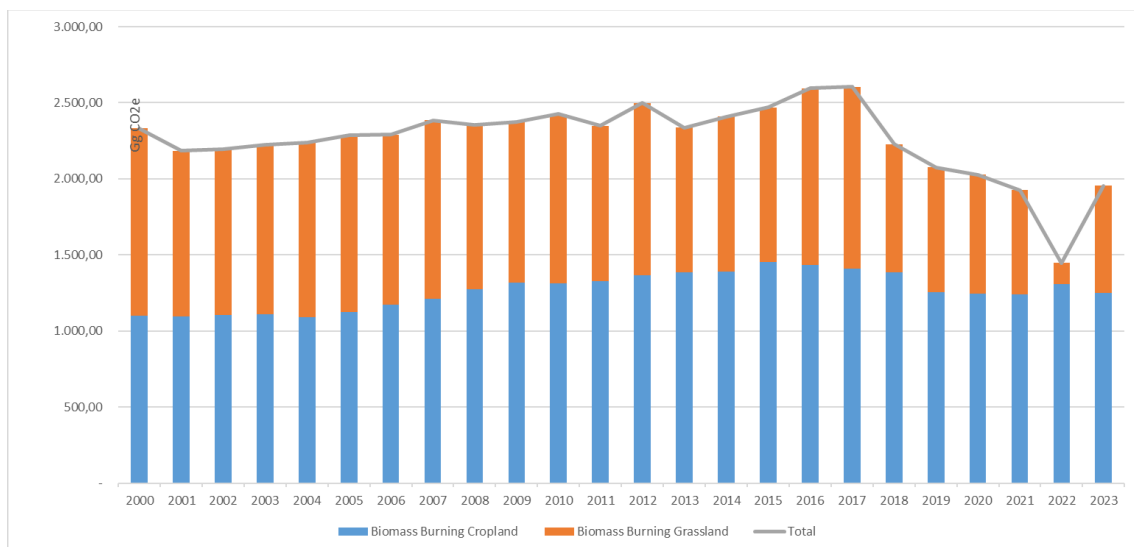
Dalam perhitungan emisi nasional dari sumber agregat dan sumber emisi Non-CO₂ beberapa kategori sumber emisi didasarkan pada agregasi emisi di level provinsi. Untuk budidaya padi sawah dan pembakaran biomassa (lahan pertanian dan padang rumput), data yang dikumpulkan dari tingkat provinsi, sedangkan untuk urea dan aplikasi kapur pertanian serta N₂O dari tanah yang dikelola, data dikumpulkan dari tingkat nasional. Dengan demikian, variasi dalam kondisi biofisik antar provinsi tersebut dipertimbangkan dalam menentukan faktor emisi. Emisi GRK dari sumber agregat dan Non-CO₂, secara detail dipaparkan pada paragraf berikut.

a. Emisi dari Pembakaran Biomassa

Emisi GRK dari pembakaran padang rumput (*Biomass Burning Grassland*) dihitung berdasarkan luas panen padi ladang (gogo) pada periode 2000-2021. Sedangkan emisi dari pembakaran lahan pertanian (*Biomass Burning Cropland*) dihitung berdasarkan data luas panen padi dan produksi padi sawah. Untuk perhitungan emisi GRK dari *biomass burning* pada tahun 2023 dihitung berdasarkan luas panen padi ladang tanpa memperhitungkan semak belukar yang dibakar sebelum penanaman. Kedua data tersebut bersumber dari Badan Pusat Statistik yang diolah/*proxy* karena data yang dipublikasikan hanyalah data luas panen padi secara keseluruhan. Hasil perhitungan menunjukkan tingkat emisi dari pembakaran biomassa pada padi ladang pada Tahun 2023 sebesar 703,82 Gg CO₂e mengalami kenaikan dibandingkan tingkat emisi pada Tahun

2022 sebesar 138,05 Gg CO₂e. Emisi dari pembakaran biomassa pada padi sawah pada Tahun 2023 sebesar 1.251,55 Gg CO₂e mengalami penurunan dibandingkan dengan emisi pada Tahun 2022 sebesar 1.308,94 Gg CO₂e. Kenaikan emisi dari *Biomass Burning* GL pada tahun 2023 disebabkan pada SIGN SMART masih menghitung Semak belukar pada padi ladang sedangkan pada tahun 2022 sudah tidak melakukan perhitungan pada *Biomass Burning* GL karena akan dihitung pada sektor FOLU.

Secara rinci total emisi dari pembakaran biomassa pada Tahun 2023 dapat dilihat pada Gambar 4.46.

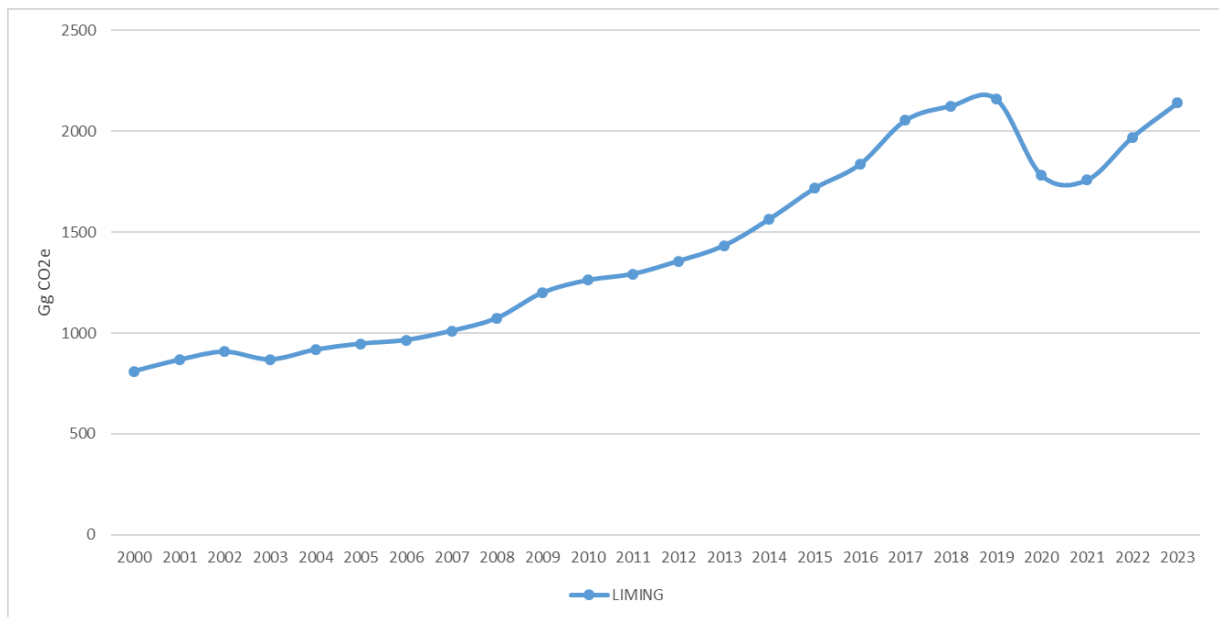


Gambar 4.46 Emisi dari Pembakaran Biomassa Tahun 2000 – 2023

b. Aplikasi Kapur Pertanian

Emisi CO₂ dari aplikasi kapur pertanian dihitung dengan menggunakan pendekatan (*proxy*) terhadap jumlah aplikasi kapur pertanian (sesuai dosis yang dianjurkan) untuk perkebunan kelapa sawit, karet dan kakao, yang ditanam pada tanah sulfat masam dan tanah organik (lahan gambut). Namun demikian untuk perhitungan emisi mulai Tahun 2020, asumsi kapur pertanian hanya digunakan pada lahan kelapa sawit saja. Sedangkan, aplikasi kapur pertanian untuk tanaman pangan relatif jarang diterapkan oleh petani. Dengan menggunakan metode ini, emisi CO₂e dari pengapuran pada 2000 – 2023 ditunjukkan pada Gambar 4.47. Konsumsi kapur di Indonesia meningkat secara konsisten dengan perluasan lahan gambut untuk perkebunan kelapa sawit setelah Tahun 2000. Tingkat emisi dari pengapuran sebesar 2140,45 Gg CO₂e pada Tahun 2023 mengalami peningkatan dibandingkan dengan emisi Tahun 2022 sebesar 1970,37 Gg CO₂e. Hal ini disebabkan karena adanya penggunaan kapur pada tanaman hortikultura. Secara umum, emisi dari pengapuran tanah dari Tahun 2000 – 2019 cenderung meningkat, hal ini akibat adanya penambahan luas

perkebunan yang ada di lahan gambut. Perhitungan emisi aplikasi pengapuran pada tahun 2022 telah menggunakan data konsumsi dolomit pada tanaman perkebunan dan hortikultura. Sedangkan perhitungan pada tahun 2023 masih menggunakan asumsi penggunaan dolomit berdasarkan dosis yang dibandingkan dengan luas lahan perkebunan. Hal ini menjadi penyebab kenaikan emisi aplikasi kapur pada tahun 2023 jika dibandingkan dengan perhitungan tahun 2022.

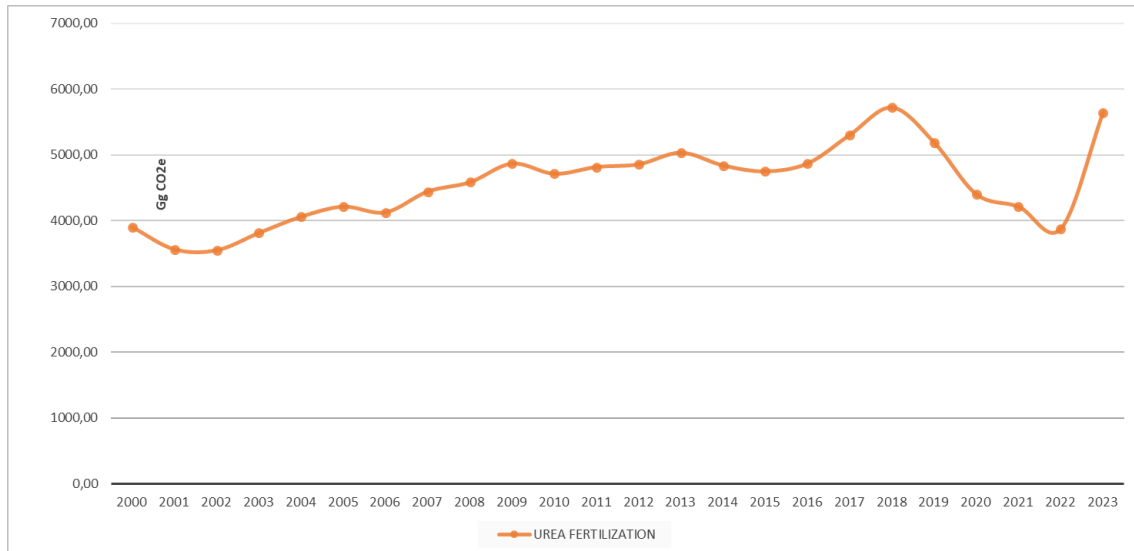


Gambar 4.47 Emisi dari Aplikasi Kapur Pertanian Tahun 2000 – 2023

c. Aplikasi Pupuk Urea

Data aktivitas konsumsi urea untuk Tahun 2000 – 2023 berasal dari konsumsi pupuk di pasar domestik yang diperoleh dari APPI (Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia). Selain itu, aplikasi urea juga diperkirakan dari perkebunan kelapa sawit (termasuk perkebunan rakyat) dengan menghitung dosis urea yang dianjurkan dikalikan dengan luas perkebunan. Namun, asumsi perkiraan dosis pupuk untuk perkebunan besar kelapa sawit tidak lagi digunakan mulai perhitungan Tahun 2020. Dalam laporan telah dilakukan rekalkulasi data konsumsi pupuk yang berasal dari APPI mulai dari tahun 2009 - 2023. Emisi dari aplikasi urea di Sektor Pertanian secara rinci dapat dilihat pada Gambar 4.48, dengan tingkat emisi sebesar 5.642,59 Gg CO₂e pada Tahun 2023, mengalami sedikit penurunan dari tingkat emisi Tahun 2022 sebesar 3.876,25 Gg CO₂e. Emisi dari aplikasi urea cenderung meningkat mengikuti peningkatan produksi tanaman khususnya padi dari Tahun 2000 – 2018, di mana area panen padi sawah yang cenderung meningkat dari tahun ke tahun. Jika dibandingkan dengan emisi aplikasi pupuk urea pada tahun 2023 dengan tahun 2022

mengalami kenaikan dikarenakan adanya peningkatan konsumsi pupuk urea pada tahun 2023.

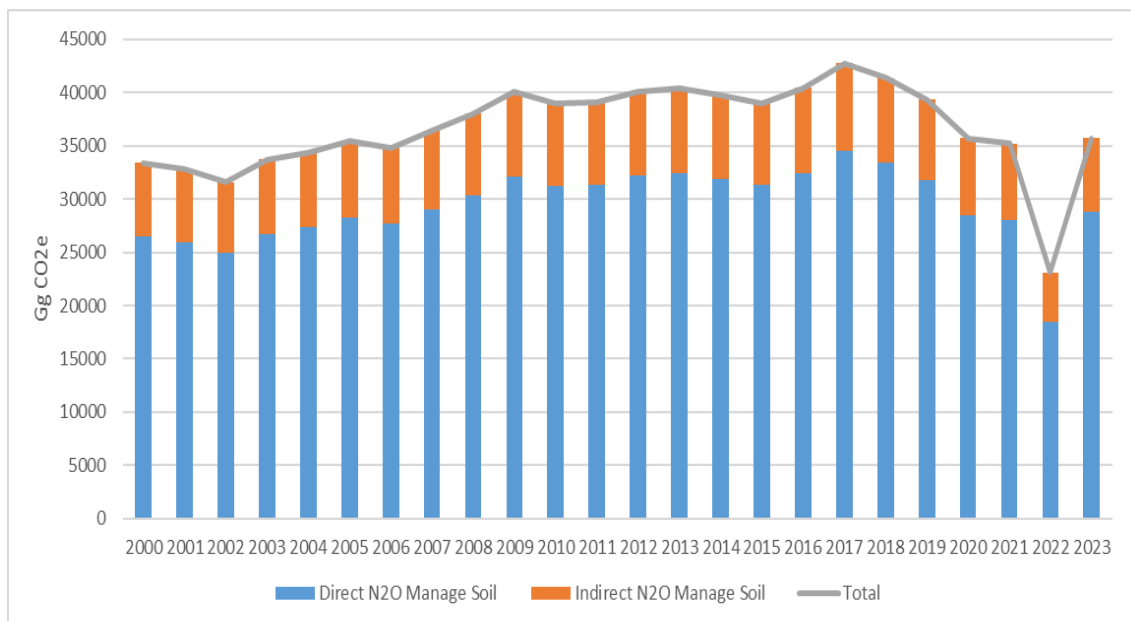


Gambar 4.48 Emisi dari Aplikasi Pupuk Urea Tahun 2000 – 2023

d. Emisi N₂O dari Tanah yang Dikelola

Urea, amonium sulfat (AS) dan nitrogen, fosfor dan kalium (NPK) adalah pupuk nitrogen anorganik (N) yang paling umum digunakan dalam pertanian di Indonesia. Urea dan AS juga merupakan pupuk anorganik berbasis nitrogen yang paling banyak yang digunakan dalam perkebunan besar dan tanaman (APPI, 2008). Selain itu, jenis pupuk tersebut juga diterapkan pada buah–buahan, sayuran dan tanaman tahunan lainnya dengan nilai ekonomi yang tinggi. Konsentrasi nitrogen pada urea, AS dan NPK adalah 46%, 21%, dan 15% masing–masing (Petrokimia Gresik, 2008). Data konsumsi pupuk Urea, AS, dan NPK diperoleh dari APPI.

Emisi N₂O langsung dari tanah yang dikelola dihitung dari tingkat aplikasi pupuk N dan pupuk kandang. Emisi N₂O langsung pada sawah tergenang dihitung berdasarkan luas panen padi. Selain itu, emisi N₂O langsung juga dihitung dari tanah yang dikelola (tanaman pangan, hortikultura, sayuran, buah–buahan serta perkebunan). Emisi N₂O di tanah yang dikelola Tahun 2000 – 2023 ditunjukkan pada Gambar 4.49. Fluktuasi N₂O emisi langsung dari tanah yang dikelola dapat dikaitkan dengan konsumsi urea, NPK, dan AS di bidang pertanian di Indonesia.



Gambar 4.49 Emisi N₂O Dari Tanah yang Dikelola Tahun 2000 – 2023

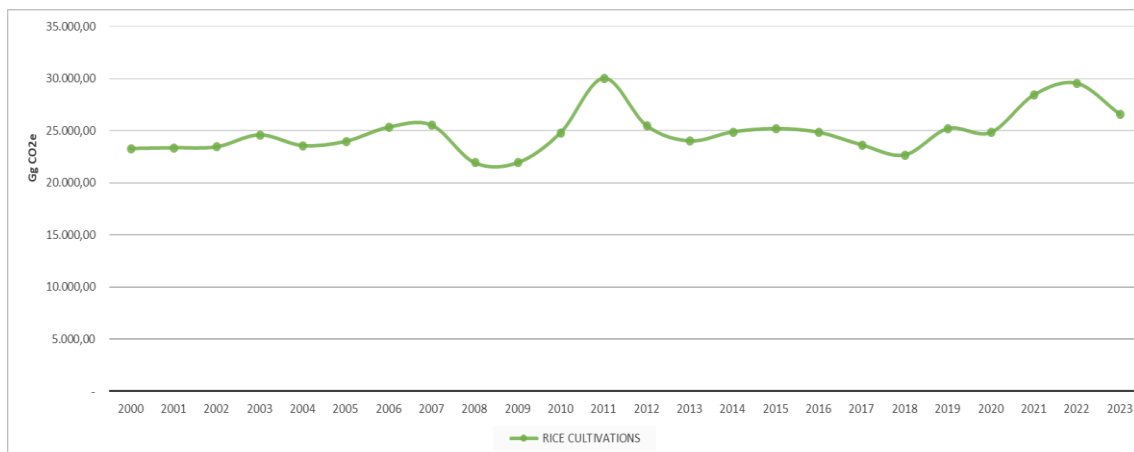
Dari hasil perhitungan pada Tahun 2023, tingkat emisi langsung N₂O dari tanah yang dikelola sebesar 28.818,06 Gg CO₂e mengalami kenaikan yang signifikan dari tingkat emisi pada Tahun 2022 sebesar 18.475,21 Gg CO₂e. Demikian juga untuk tingkat emisi N₂O tidak langsung, angka menunjukkan tren peningkatan emisi. Tingkat emisi pada Tahun 2023 sebesar 6.900,14 Gg CO₂e mengalami peningkatan dibandingkan dengan tingkat emisi Tahun 2022 sebesar 4.629,67 Gg CO₂e. Kecenderungan emisi N₂O dari tanah yang dikelola mengalami peningkatan dari Tahun 2000 – 2017 dan kecenderungan menurun pada Tahun 2018 – 2023. Penurunan tingkat emisi dari *Direct* dan *Indirect N₂O Manage Soils* disebabkan karena berkurangnya luasan lahan kering (tidak memasukkan lahan perkebunan sawit dalam perhitungan). Hal ini sejalan dengan adanya peningkatan lahan sawah yang signifikan sampai dengan Tahun 2017 yang diikuti dengan adanya peningkatan konsumsi pupuk ammonium sulfat dan NPK selain penggunaan pupuk urea dan pupuk kandang. Namun, emisi di Tahun 2018 – 2023 mengalami penurunan jika dibandingkan dengan emisi pada Tahun 2017 karena adanya penurunan luasan lahan sawah. Selain itu juga penyebab kenaikan dan penurunan ini dikarenakan pada perhitungan tahun 2023 masih memasukkan N dari lahan kering termasuk Perkebunan Sawit.

e. Budidaya Padi Sawah

Data aktivitas yang digunakan untuk menghitung emisi dari budidaya padi berdasarkan data dari lahan sawah dan intensitas tanam bersumber dari Pusdatin Kementerian Pertanian dan BPS Tahun 2000 – 2023. Untuk data luas sawah baik sawah irigasi maupun sawah non-irigasi bersumber dari Statistik

Lahan Pertanian Tahun 2014 – 2019 yang diterbitkan oleh Pusdatin Kementerian Pertanian. Data luas panen padi sawah Tahun 2000 – 2017 merupakan data hasil rekalkulasi menyesuaikan dengan metode penghitungan luas panen KSA (Kerangka Sampel Area) yang mulai digunakan pada Tahun 2018. Sedangkan, data luas panen padi sawah bersumber dari Badan Pusat Statistik Tahun 2023 (data diolah). Faktor skala untuk tanah dibobotkan berdasarkan proporsi jenis tanah di tingkat provinsi. Pembobotan juga digunakan untuk menentukan faktor skala nasional untuk varietas padi, yang dihitung dengan mempertimbangkan proporsi semua varietas padi yang digunakan di tingkat provinsi. Nilai ini diterapkan untuk semua tahun inventarisasi.

Dari hasil perhitungan emisi CH_4 dari budidaya padi sawah di Indonesia pada Tahun 2023 tingkat emisi sebesar 26.621,53 Gg CO_2e , mengalami sedikit penurunan jika dibandingkan dengan tingkat emisi pada Tahun 2022 sebesar 29.580,36 Gg CO_2e . Penurunan emisi pada tahun 2023 disebabkan faktor emisi dalam perhitungannya lebih detail per provinsi. Secara rinci emisi CH_4 dari budidaya padi sawah Tahun 2000 – 2023 terlihat pada Gambar 4.50.



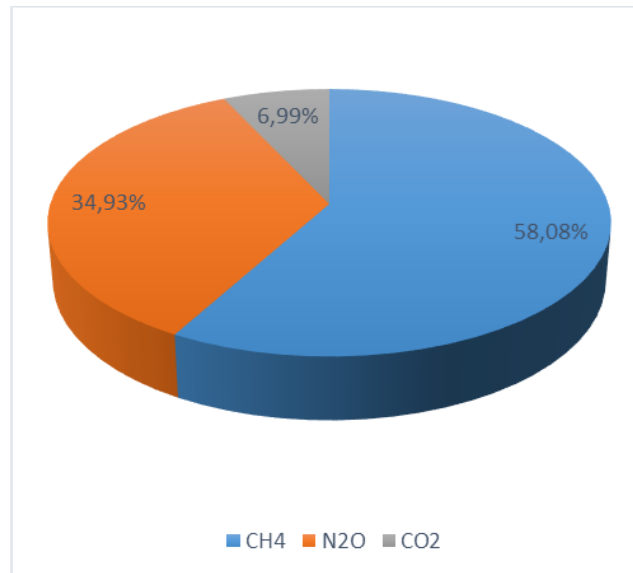
Gambar 4.50 Emisi Gas Methane dari Budidaya Padi Tahun 2000 – 2023

f. Tren Emisi Menurut Jenis Gas

Emisi dari Sektor Pertanian menghasilkan 3 (tiga) gas utama, yaitu gas karbon dioksida (CO_2), gas *methane* (CH_4) dan gas dinitrogen oksida (N_2O). Emisi gas CO_2 sektor pertanian dihasilkan oleh sumber emisi dari kategori aplikasi kapur pertanian (*liming*) dan aplikasi pupuk urea (*urea fertilization*), emisi gas CH_4 dihasilkan oleh sumber emisi dari kategori fermentasi enterik (*enteric fermentation*), pengelolaan kotoran ternak (*manure management*), pembakaran biomassa (*biomass burning*) dan budidaya padi sawah (*rice cultivation*). Sedangkan, gas N_2O dihasilkan oleh sumber emisi dari kategori pengelolaan kotoran ternak (*manure management*), pengelolaan tanah (*manage soil*), baik

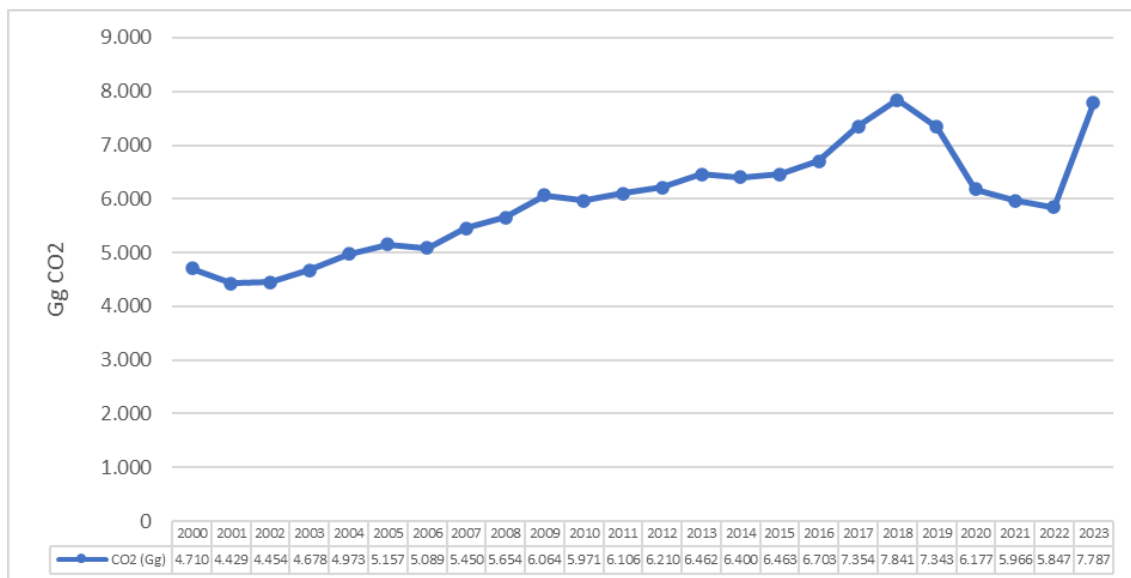
secara langsung maupun tidak langsung dan pembakaran biomassa (*biomass burning*).

Dari hasil perhitungan emisi Sektor Pertanian Tahun 2023, proporsi gas yang diemisikan terbesar adalah gas CH₄ sebesar 58,08% diikuti gas N₂O sebesar 34,93% dan gas CO₂ sebesar 6,99%. Secara grafis komposisi ketiga gas utama dari Sektor Pertanian dapat dilihat pada Gambar 4.51.



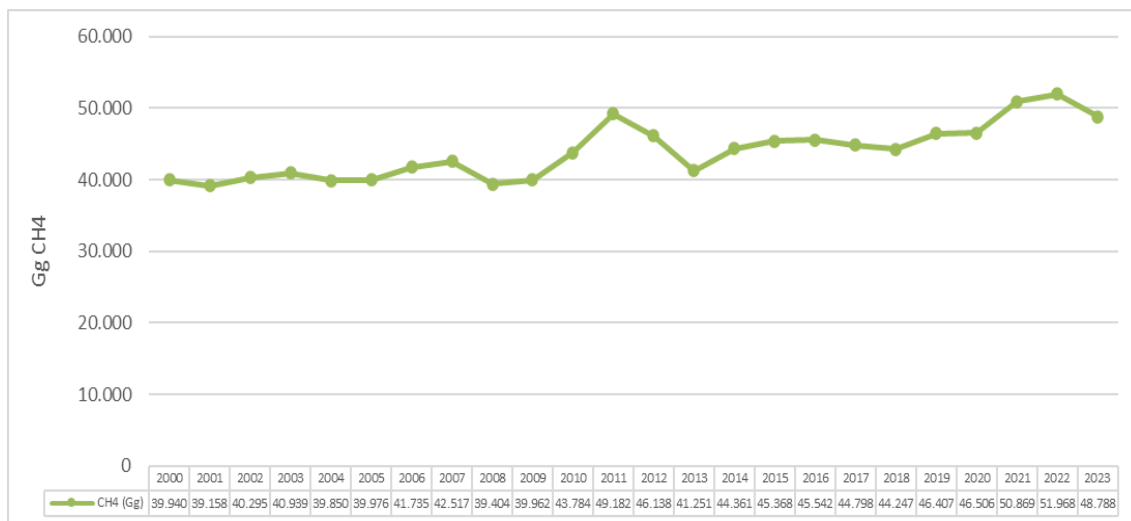
Gambar 4.51 Komposisi Jenis Gas Sektor Pertanian Tahun 2023

Tren emisi gas CO₂ dari Tahun 2000 – 2017 kecenderungannya meningkat dan mengalami sedikit penurunan di Tahun 2019 – 2022 namun pada tahun 2023 mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan kenaikan konsumsi kenaikan penggunaan pupuk urea dan kapur pertanian sebagai sumber emisi gas CO₂. Secara grafis tren emisi gas CO₂ Sektor Pertanian Tahun 2000 – 2023 disajikan seperti pada Gambar 4.52.



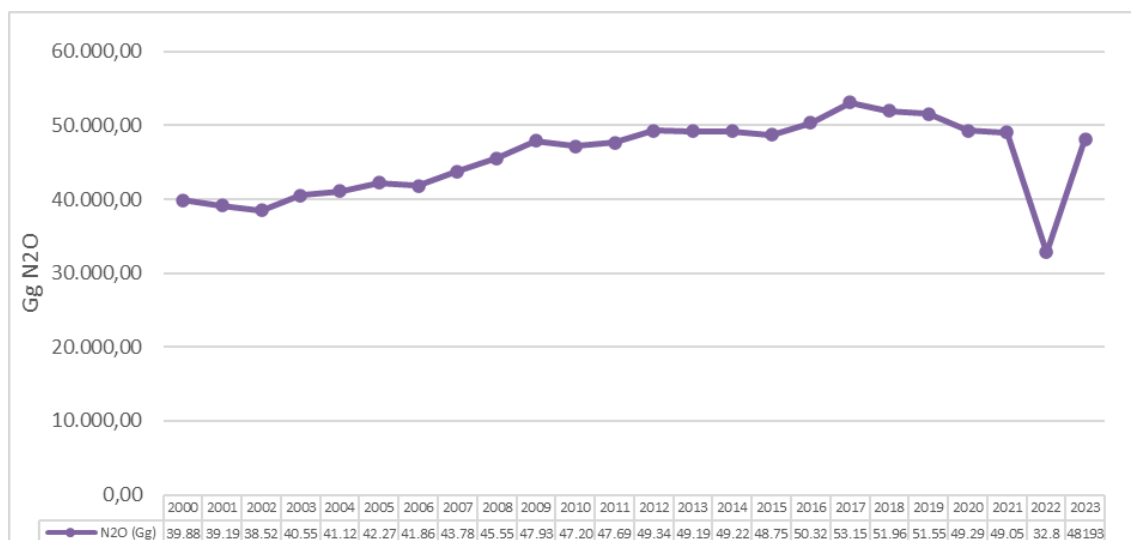
Gambar 4.52 Tren Emisi Gas CO₂ Sektor Pertanian Tahun 2000 – 2023

Tren emisi gas CH₄ dari Tahun 2000-2023 kecenderungannya meningkat dan terdapat sedikit fluktuasi yang tidak terlalu signifikan, hal ini disebabkan karena luas panen padi sawah sebagai sumber emisi utama gas CH₄, masih cukup besar. Secara grafis tren emisi gas CH₄ Sektor Pertanian Tahun 2000-2023 disajikan seperti pada Gambar 4.53.



Gambar 4.53 Tren Emisi Gas CH₄ Sektor Pertanian Tahun 2000 – 2023

Tren emisi gas N₂O dari Tahun 2000 – 2023 kecenderungannya meningkat dan mengalami sedikit fluktuasi yang tidak terlalu signifikan, hal ini disebabkan karena masih tingginya penggunaan pupuk sintetis sebagai sumber utama gas N₂O. Secara grafis tren emisi gas N₂O Sektor Pertanian Tahun 2000 – 2023 disajikan seperti pada Gambar 4.54.



Gambar 4.54 Tren Emisi Gas N₂O Sektor Pertanian Tahun 2000 – 2023

F. Sumber Emisi Kunci

Hasil perhitungan sumber emisi kunci atau analisis kategori kunci pada Sektor Pertanian di Tahun 2023 menunjukkan bahwa kontribusi terbesar adalah emisi dari N₂O langsung dari pengolahan tanah dengan kontribusi emisi sebesar 27,45%, emisi dari budidaya padi sawah dengan kontribusi emisi sebesar 25,36%. Selanjutnya, emisi fermentasi enterik dengan kontribusi emisi sebesar 18,16%, N₂O secara langsung dari pengelolaan kotoran ternak kontribusi emisi sebesar 7,02%, N₂O tidak langsung dari pengolahan tanah dengan kontribusi emisi sebesar 6,58%, CO₂ dari aplikasi pupuk urea kontribusi emisi sebesar 5,37% dan N₂O tidak langsung dari pengelolaan kotoran ternak kontribusi emisi sebesar 4,32% dari total emisi GRK Sektor Pertanian. Sumber emisi kunci dari Sektor Pertanian ini dapat dijadikan sebagai bahan perbaikan penyelenggaraan inventarisasi GRK Sektor Pertanian, bahan perumusan kebijakan pertanian dan bahan penentuan kebijakan aksi mitigasi Sektor Pertanian. Secara rinci, kontribusi emisi GRK dari sumber-sumber emisi Sektor Pertanian Tahun 2023 dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Analisis Kategori Kunci Sektor Pertanian Tahun 2023

No.	Kode	Kategori	Gas	Emisi (CO ₂ e)	Kontribusi %	Akumulasi %
1	3.C4	DIRECT N ₂ O MANAGE SOILS	N ₂ O	28.818,06	27,45	27,45
2	3.C7	RICE CULTIVATIONS	CH ₄	26.621,53	25,36	52,81
3	3.A1	ENTERIC FERMENTATION	CH ₄	19.062,23	18,16	70,97
4	3.A2b	DIRECT N ₂ O MANURE MANAGEMENT	N ₂ O	7.372,37	7,02	77,99
5	3.C5	INDIRECT N ₂ O MANAGE SOILS	N ₂ O	6.905,33	6,58	84,57
6	3.C3	UREA FERTILIZATION	CO ₂	5.642,59	5,37	89,94
7	3.C6	INDIRECT N ₂ O MANURE MANAGEMENT	N ₂ O	4.537,38	4,32	94,27
8	3.C2	LIMING	CO ₂	2.140,45	2,04	96,30
9	3.A2a	MANURE MANAGEMENT	CH ₄	1.924,14	1,83	98,14
10	3.C1a	BIOMASS BURNING CL	CH ₄ , N ₂ O	1.251,55	1,19	99,33
11	3.C1b	BIOMASS BURNING GL	CH ₄ , N ₂ O	703,82	0,67	100,00
				104.979,45	100,00	

4.2.4 Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

A. Kategori Sumber Emisi GRK

Pelaksanaan Inventarisasi GRK untuk sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya mengacu pada IPCC *Guidelines* 2006. Di mana pada panduan tersebut, sumber emisi dari sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya, seperti sudah dijelaskan pada bab 3 Metodologi, terdapat 12 (dua belas) kategori, yaitu: (1) *forest land remaining forest land*, (2) *land converted to forest land*, (3) *cropland remaining cropland*, (4) *land converted to cropland*, (5) *grassland remaining grassland*, (6) *land converted to grassland*, (7) *wetlands remaining wetlands*, (8) *land converted to wetlands*, (9) *settlements remaining settlements*, (10) *land converted to settlements*, (11) *other land remaining other land* dan (12) *land converted to other land* seperti dapat dilihat pada Gambar 4.55. Sumber emisi GRK tersebut akan diperhitungkan pada emisi/removal dari 1) perubahan stok karbon di atas dan bawah permukaan tanah (*above and below ground biomass*), 2) dekomposisi gambut, dan 3) kebakaran gambut.



Gambar 4. 55 Cakupan Sumber Emisi GRK dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

B. Jenis Gas

Berdasarkan IPCC *Guidelines* 2006, jenis GRK utama dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya adalah CO₂, CH₄ dan N₂O.

C. Periode Waktu

Inventarisasi emisi GRK yang dilaporkan pada laporan ini adalah untuk periode 2000 – 2023.

D. Sumber Data

Sumber data aktivitas yang digunakan pada inventarisasi GRK sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya, yaitu:

1) Data Perubahan Tutupan Lahan

Data perubahan tutupan lahan diperoleh dari peta tutupan lahan yang dihasilkan oleh Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumberdaya Hutan, Ditjen Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Set data tutupan lahan yang tersedia dan digunakan untuk melengkapi inventarisasi GRK pada sektor ini adalah data tahun 1996, 2000, 2003, 2006, 2009, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, dan 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, dan 2023.

Untuk menghasilkan data perubahan tutupan lahan tahunan, seperti 2000-2001, 2001-2002,..., 2011-2012, *annual loss* dari hutan primer (*natural forest*) dan lahan lainnya berdasarkan terminologi yang dihasilkan oleh pendekatan/formulasi yang dikembangkan oleh Margono et.al (2014) digunakan sebagai proporsi referensi untuk mem-partisi set data asli (2000-2003) menjadi perubahan tutupan lahan tahunan, yaitu 2000-2001, 2001-2002,..., 2011-2012. Set data ini memungkinkan untuk dilakukan perhitungan emisi dari sektor kehutanan dan penggunaan lainnya secara tahunan. Estimasi emisi yang dianalisis dari perubahan tutupan lahan tahun 2000-2001 merupakan emisi pada tahun 2001 dan begitu seterusnya. Khusus untuk emisi tahun 2000, dianalisis dengan membagi set data tahun 1996-2000 menjadi data tahunan dengan asumsi proporsi perubahan setiap tahun dan setiap region sama yaitu 25%.

2) Data Produksi Kayu

Data produksi kayu yang digunakan untuk pendugaan emisi/serapan dari perubahan stok karbon yaitu volume kayu bulat dan kayu bakar. Data kayu bulat diperoleh dari Statistik Direktorat Jenderal Pengelolaan Hutan Produksi Lestari, pada dokumen Laporan Kinerja 2023 Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Sedangkan untuk data kayu bulat tahun 2000 menggunakan data yang diperoleh dari BPS.

Data kayu bakar diperoleh dari statistik Food and Agriculture Organization (FAO) yang didapatkan pada data global dari website FAO berdasarkan hasil tangkapan layar pada tanggal 25 September 2024.

3) Data Luas Kebakaran Hutan dan Lahan

Data luas kebakaran hutan dan lahan digunakan untuk menduga emisi dari kebakaran gambut dan emisi non-CO₂ dari *Biomass Burning*. Data luas kebakaran hutan dan lahan pada tanah gambut dan mineral diperoleh dari Direktorat Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan, Ditjen Pengendalian Perubahan Iklim, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

Pada periode 2000 – 2014, data yang tersedia berupa data luasan total lahan gambut yang terbakar dan tidak tersedia data mengenai luas kebakaran yang

terjadi di atas tanah mineral. Luas area gambut yang terbakar diestimasi berdasarkan data *hotspot* MODIS dengan tingkat kepercayaan (*confidence level*) lebih dari 80% yang di *overlay* dengan peta raster dengan 1 × 1 km grid (ukuran pixel). *Hotspot* yang berada dalam pixel mewakili daerah yang terbakar sekitar 76,9% dari grid 1 × 1 km (yaitu 7.690 ha). Hal ini berlaku untuk semua pixel terlepas dari jumlah *hotspot* yang ada di dalam pixel tersebut (KLHK, 2016).

Sejak tahun 2015 luasan area yang terbakar ditentukan dengan metode visual, dimana luasan area terbakar diestimasi berdasarkan data *hotspot* (MODIS, NOAA, Landsat 8, SNPP) data spasial laporan kejadian kebakaran, *Burnt Area* (BA) Landsat dan Sentinel dari ORPA-BRIN, dan digitasi secara manual visual pada citra landsat 8. Metode ini menghasilkan informasi yang lebih detil, antara lain luas area yang terbakar pada lahan gambut dan mineral, kelas tutupan lahan yang terbakar, wilayah administrasi, maupun fungsi kewasannya. Dengan tersedianya informasi luas yang terbakar pada jenis tanah dan kelas tutupan lahan, maka dapat dilakukan estimasi emisi non-CO₂ dari kategori *Biomass Burning* (3C). Khusus untuk data tahun 2015, data aktivitas yang tersedia berupa luasan total yang terbakar pada tanah gambut dan mineral, dan tidak tersedia informasi terkait luas di setiap kelas tutupan, sehingga untuk memperoleh luas areal yang terbakar per kelas tutupan pada tahun tersebut dilakukan *filling the gap* (*proxy*) dengan menggunakan rerata persentase luasan tahun 2016 – 2018.

Pada tahun 2020, proses rekalkulasi penyeragaman metode dalam mengestimasi luas kebakaran hutan dan lahan periode 2000 – 2014 dan 2015 – 2020 yang dilaksanakan oleh walidata dan Direktorat teknis terkait telah selesai, dan ditindaklanjuti dengan proses rekalkulasi pada penghitungan emisi-nya.

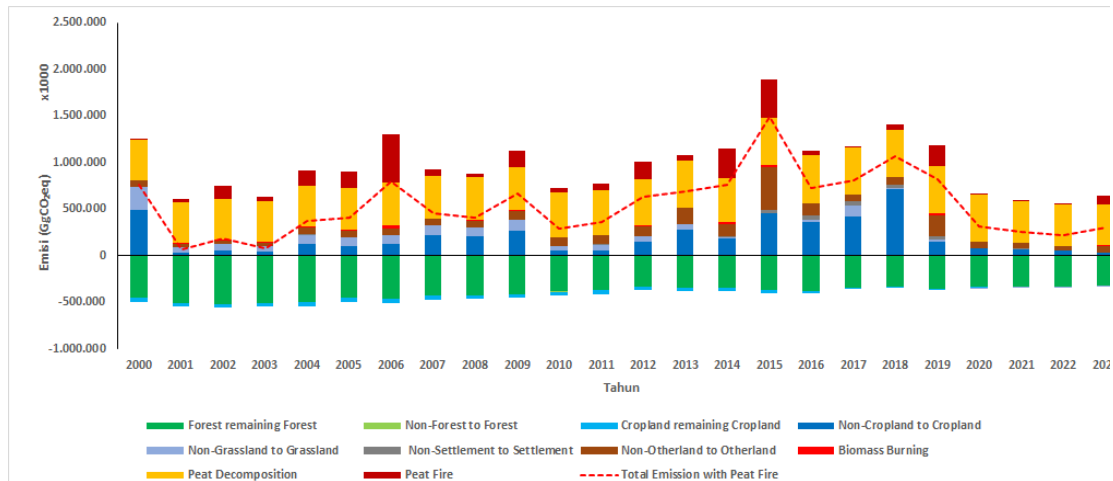
4) Peta Sebaran Gambut BBPSI SDLP (Kementerian Pertanian)

Peta sebaran gambut digunakan sebagai data pendukung dalam pendugaan emisi pada dekomposisi gambut dan kebakaran hutan dan lahan pada tanah gambut. Dimana sejak tahun 2021 telah digunakan peta sebaran gambut dengan skala 1 : 50.000.

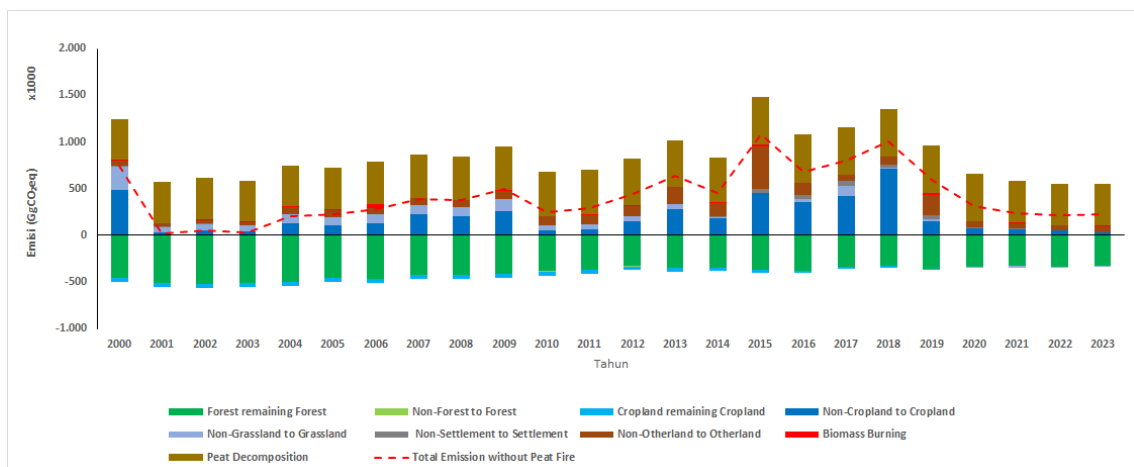
E. Perhitungan Emisi GRK/Serapan GRK

Dari hasil inventarisasi dan penghitungan, total emisi GRK pada Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya pada Tahun 2023 adalah sebesar 306.897,69 Gg CO₂e lebih tinggi 39,78% dari Tahun 2022. Gambar 4.56 menunjukkan tren emisi Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya dengan memasukkan kategori *other* (*peat fire*), sedangkan Gambar 4.57 menunjukkan tren emisi tanpa *peat fire*. Melihat kedua grafik tersebut, dapat

diketahui bahwa emisi GRK Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya memiliki tren yang fluktuatif, dan *peat fire* memiliki pengaruh besar dalam menentukan tren emisi/serapan GRK sektor ini.



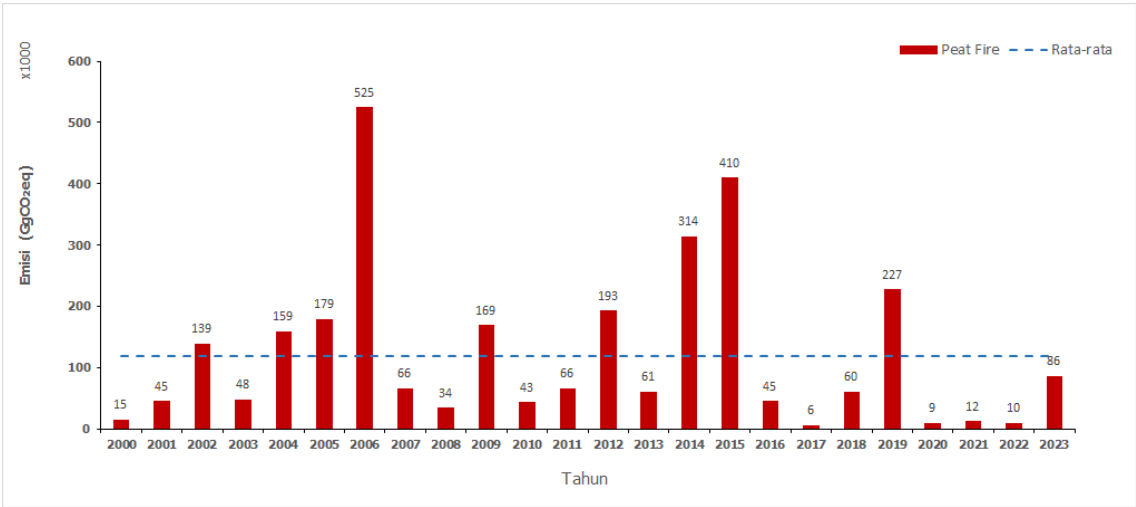
Gambar 4. 56 Emisi dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lainnya Tahun 2000-2023 (dengan *Peat Fire*)



Gambar 4. 57 Emisi dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lainnya Tahun 2000-2023 (tanpa *Peat Fire*)

Rata-rata emisi GRK selama periode tahun 2000 – 2023 adalah sebesar 539.981,11 Gg CO₂e/tahun. Terjadi peningkatan emisi yang ekstrem pada tahun 2006, 2009, 2014 dan 2015 di mana di tahun-tahun tersebut terjadi fenomena El Nino. El Nino merupakan fenomena pemanasan suhu muka laut di Samudra Pasifik bagian tengah hingga timur. Di Indonesia sendiri secara umum terjadi iklim yang kering dan berkurangnya curah hujan sehingga menyebabkan lahan gambut menjadi kering dan sangat mudah terbakar. Fenomena El Nino

tersebut ditengarai merupakan salah faktor penyebab kebakaran gambut dengan intensitas yang cukup lama dan mencakup wilayah yang cukup luas. Pada Gambar 4.58 menunjukkan di Tahun 2023, emisi dari kebakaran gambut adalah sebesar 86.154,02 Gg CO₂e, naik 792,45% dari Tahun 2022 yang sebesar 9.653, 67 Gg CO₂e. Kenaikan emisi tersebut disebabkan adanya fenomena El-Nino pada tahun 2023 sehingga menyebabkan bertambahnya luas karhutla dari 204.896,41 ha pada tahun 2022 menjadi 1.161.192,59 ha pada tahun 2023. Namun demikian, jika dibandingkan dengan tahun 2019 dimana juga terjadi fenomena El-Nino, angka emisi kebakaran gambut di tahun 2023 turun sebesar 62,12%.



Gambar 4. 58 Emisi dari Kebakaran Gambut 2000 – 2023

Selain itu, terdapat gas non-CO₂ yang dihasilkan dari kebakaran yang menambah emisi dari biomassa di atas permukaan tanah, yaitu CH₄ sebesar 5.892,53 Gg CO₂e dan N₂O sebesar 3.992,76 Gg CO₂e. Pada penghitungan emisi dari *Biomass Burning*, gas CO₂ tidak dihitung karena sudah dihitung pada penghitungan emisi dari perubahan penutupan lahan. Hal ini dilakukan untuk menghindari *double counting*.

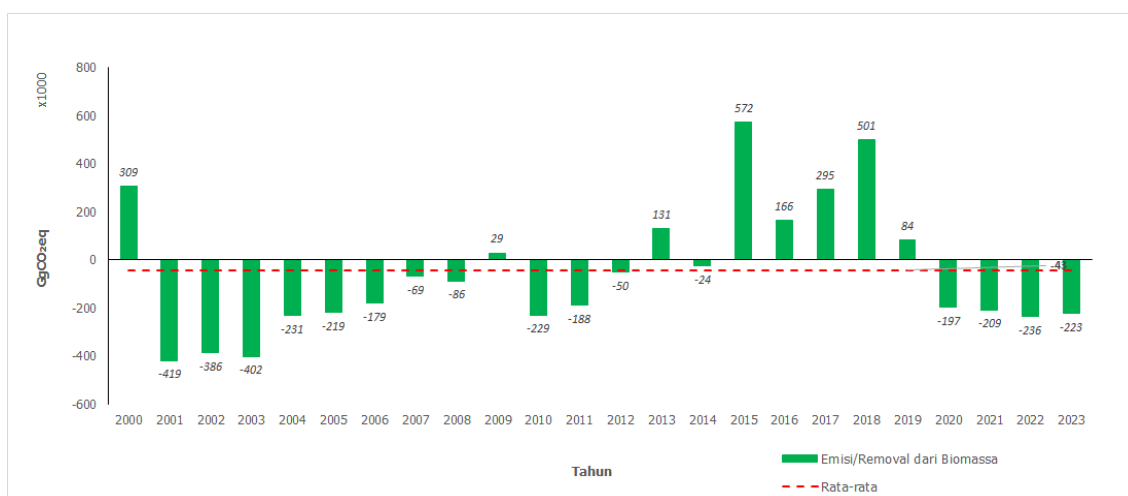
Tabel 4.12 Emisi Biomass Burning Gas Non-CO₂

Kategori		CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ e
3C1. Biomass Burning				
	3C1a. Biomass Burning in Forest Land	70,13	2,06	2.112,09
	3C1b. Biomass Burning in Crop Land	134,57	3,89	4.031,15

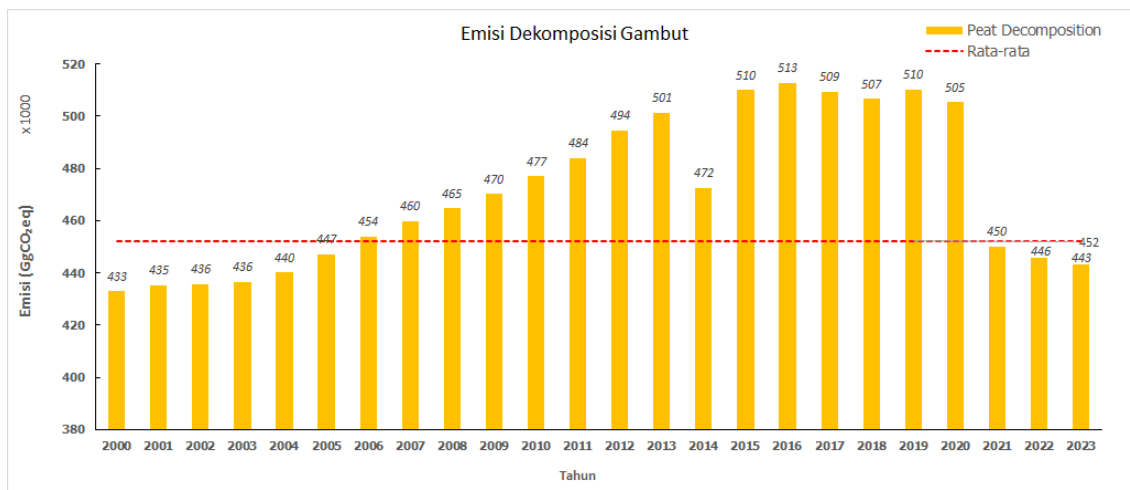
	3C1c. Biomass Burning in Grass Land	75,90	6,93	3.742,05
	Total CO ₂ e	5.892,53	3.992,76	9.885,29

Emisi dari biomassa di atas permukaan tanah ini berasal dari kedua jenis tanah yaitu gambut dan mineral. Gambar 4.59 menunjukkan bahwa dalam tahun 2000 – 2023 terjadi beberapa fluktuasi emisi dari perubahan tutupan lahan, yaitu pada tahun 2004, 2007, 2009, 2012, 2013, 2015, dan 2018. Fluktuasi emisi pada tahun-tahun tersebut sebagian besar disumbang oleh subkategori Non Cropland to Cropland dan Non Otherland to Otherland. Hal ini dapat diindikasikan terjadi perubahan dari kategori kelas tutupan hutan ke non-hutan.

Penurunan emisi dari biomassa di atas permukaan tanah dapat diartikan bahwa terjadi peningkatan cadangan karbon, khususnya pada Subkategori Forestland remaining Forestland. Penurunan emisi dari biomassa di atas permukaan tanah yang signifikan terjadi pada tahun 2001, 2010, 2014, 2016, 2020, dan 2022.



Gambar 4.59 Emisi Karbon di Atas Permukaan Tanah dari Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya 2000 – 2023



Gambar 4.60 Emisi Dekomposisi Gambut 2000 – 2023

Gambar 4.60 menunjukkan tren emisi dari dekomposisi gambut. Pada umumnya, emisi dari dekomposisi gambut mempunyai kecenderungan yang tetap, dan mengalami peningkatan secara linear. Peningkatan emisi dari dekomposisi gambut disebabkan oleh perubahan tutupan lahan gambut menjadi fungsi lain. Terjadi penurunan emisi dari tahun 2021 ke 2023. Hal ini dimungkinkan karena pengaplikasian parameter (peta gambut) terbaru, sedangkan tahun 2000 sampai dengan tahun 2020 masih menggunakan parameter lama. Untuk memenuhi prinsip konsistensi, rekalkulasi penggunaan parameter terbaru akan dilakukan pada saat penyusunan 4th BUR/1st BTR pada tahun 2024.

Emisi Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya dari tahun 2000 – 2023 dirangkum menggunakan format IPCC *Guideline* 2006 seperti disajikan pada Tabel 4.13 dan Tabel 4.14 serta pada Gambar 4.56 dan Gambar 4.57 menggambarkan perubahan-perubahan nilai emisi GRK dari Tahun 2000-2023. Tabel 4.13 menunjukkan bahwa sumber emisi utama dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya pada Tahun 2023 adalah *Peat Decomposition* pada urutan pertama dengan emisi sebesar 443.403 Gg CO₂e, dan *Peat Fire* pada urutan kedua dengan emisi sebesar 86.154 Gg CO₂e. Sedangkan, sumber serapan utama adalah *Forest Remaining Forest* dengan serapan sebesar 325.713 Gg CO₂e. Secara lengkap, emisi/removal GRK pada Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya dari 1) perubahan stok karbon di atas dan bawah permukaan tanah (*above and below ground biomass*), 2) dekomposisi gambut, dan 3) kebakaran gambut tahun 2000-2012 dan tahun 2013-2023, dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan Tabel 4.14.

Tabel 4.13 Emisi dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lainnya Tahun 2000 – 2012 (Gg CO₂e)

NO.	Code	Source Category	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
1	3B1a	Forest remaining Forest	-455.180	-507.268	-516.357	-505.420	-495.071	-454.213	-464.647	-426.614	-424.651	-413.846	-385.885	-368.838	-331.479
2	3B1b	Non-Forest to Forest	-2.055	-1.562	-1.652	-1.453	-2.863	-3.041	-2.814	-2.382	-2.468	-3.036	-5.641	-5.253	-4.673
3	3B2a	Cropland remaining Cropland	-40.474	-42.666	-42.579	-42.635	-42.488	-42.268	-41.830	-40.836	-39.778	-38.500	-38.279	-37.787	-36.787
4	3B2b	Non-Cropland to Cropland	488.359	33.063	53.202	42.059	130.405	101.514	126.386	222.109	208.531	262.411	51.269	60.527	144.909
5	3B3a	Grassland remaining Grassland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	3B3b	Non-Grassland to Grassland	246.927	55.814	68.860	60.881	94.675	92.753	94.093	98.803	92.691	121.155	51.966	55.963	60.605
7	3B4a	Wetland remaining Wetland	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
8	3B4b	Non-Wetland to Wetland	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
9	3B5a	Settlement remaining Settlement	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	3B5b	Non-Settlement to settlement	7.833	3.777	3.059	2.785	2.776	1.708	2.480	2.029	1.508	2.204	2.720	3.302	2.330
11	3B6a	Otherland remaining Otherland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	3B6b	Non-Otherland to Otherland	60.771	34.964	37.225	31.831	69.849	75.769	68.530	73.314	74.583	90.413	93.082	99.820	104.132
13	3C	Biomass Burning	2.545	4.785	12.216	10.400	12.110	8.323	38.775	4.822	3.102	8.668	1.666	3.974	10.496
14		Biomass FOLU	308.726	-419.092	-386.028	-401.553	-230.608	-219.456	-179.026	-68.755	-86.481	29.469	-229.101	-188.293	-50.466
15	Other	Peat Decomposition	432.929	435.202	435.724	436.496	440.093	447.009	453.869	459.705	464.707	470.172	476.996	483.823	494.459
16		Total emission without Peat Fire	741.655	16.110	49.696	34.943	209.484	227.553	274.843	390.950	378.226	499.641	247.895	295.530	443.993
17	Other	Peat Fire	14.849	45.400	139.032	47.687	159.448	179.466	524.807	66.382	34.018	168.771	42.925	65.637	192.757
18		Total emission with Peat Fire	756.504	61.509	188.728	82.630	368.933	407.019	799.650	457.332	412.244	668.412	290.820	361.167	636.750

Tabel 4.14 Emisi dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lainnya Tahun 2013 – 2023 (Gg CO₂e)

NO.	Code	Source Category	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
1	3B1a	Forest remaining Forest	-345.487	-345.140	-367.876	-375.925	-340.318	-330.486	-357.188	-336.979	-328.826	-335.012	-325.713
2	3B1b	Non-Forest to Forest	-5.781	-3.555	-2.157	-2.498	-2.055	-734	-52	-85	-549	-346	-439
3	3B2a	Cropland remaining Cropland	-35.199	-33.580	-30.184	-21.764	-14.503	-15.022	-10.189	-3.464	1.624	1.180	6.328
4	3B2b	Non-Cropland to Cropland	275.738	185.460	451.661	357.386	423.199	708.649	147.464	79.424	66.672	49.502	21.876
5	3B3a	Grassland remaining Grassland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
6	3B3b	Non-Grassland to Grassland	59.755	6.546	1.965	28.384	110.734	19.322	19.435	-11.142	-15.218	-3.753	-6.870
7	3B4a	Wetland remaining Wetland	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
8	3B4b	Non-Wetland to Wetland	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
9	3B5a	Settlement remaining Settlement	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
10	3B5b	Non-Settlement to settlement	1.767	15.115	38.923	44.806	46.074	30.718	46.884	2.200	7.808	1.752	4.516
11	3B6a	Otherland remaining Otherland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
12	3B6b	Non-Otherland to Otherland	176.311	134.307	455.680	131.080	70.983	84.238	222.616	70.649	57.550	49.290	67.757
13	3C	Biomass Burning	3.736	16.523	24.369	4.221	1.149	4.202	14.573	2.088	2.206	1.381	9.885
14		Biomass FOLLU	130.841	-24.323	572.381	165.688	295.264	500.887	83.542	-197.309	-208.735	236.004	222.659
15	Other	Peat Decomposition	501.198	472.413	509.914	512.841	509.394	506.615	510.198	505.345	450.163	445.904	443.403
16		Total emission without Peat Fire	632.039	448.090	1.082.295	678.529	804.659	1.007.502	593.740	308.036	241.429	209.900	220.744
17	Other	Peat Fire	60.725	314.078	410.013	44.985	6.236	60.461	227.462	9.200	11.919	9.654	86.154
18		Total emission with Peat Fire	692.763	762.168	1.492.308	723.514	810.894	1.067.963	821.202	317.236	253.348	219.554	306.898

F. Sumber Emisi Kunci

Tabel 4.15 Analisis Kategori Kunci Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

<i>Kategori</i>	<i>Emisi CO₂ Eq (Gg)</i>	<i>Absolute</i>	<i>Kontribusi (%)</i>	<i>Kumulatif (%)</i>
<i>Other: Peat Decomposition</i>	443.402,79	443.402,79	45,57	45,57
<i>3B1a. Forest Remaining Forest</i>	-325.712,73	325.712,73	33,48	79,05
<i>Other: Peat Fire</i>	86.154,02	86.154,02	8,86	87,91
<i>3B6b. Non-Otherland to Otherland</i>	67.757,24	67.757,24	6,96	94,87
<i>3B2b. Non-Cropland to Cropland</i>	21.876,25	21.876,25	2,25	97,12
<i>3C1. Biomass Burning</i>	9.885,29	9.885,29	1,02	98,13
<i>3B3b. Non-Grassland to Grassland</i>	-6.870,19	6.870,19	0,71	98,84
<i>3B2a. Cropland Remaining Cropland</i>	6.327,75	6.327,75	0,65	99,49
<i>3B5b. Non-Settlement to Settlement</i>	4.516,14	4.516,14	0,46	99,95
<i>3B1b. Non-Forest to Forest</i>	-438,87	438,87	0,05	100,00
<i>3B3a. Grassland Remaining Grassland</i>	0,00	0,00	0,00	100,00
TOTAL	306.897,69	972.941,27	100,00	100,00

4.2.5 Sektor Limbah

A. Kategori Sumber Emisi GRK

Sumber emisi sektor limbah, berdasarkan IPCC *Guidelines* 2006, adalah pada kegiatan pengelolaannya. Sumber ini diklasifikasikan kedalam 4 (empat) kategori yaitu: (a) Pengelolaan limbah padat domestik (sampah) di TPA/*landfill*, pengelolaan secara biologi atau komposting, pembakaran terbuka (*open burning*) dan insinerasi, (b) pengelolaan limbah cair domestik (baik pengelolaan terpusat di IPAL maupun pengelolaan dengan septik tank, cubluk, dan lainnya), (c) pengelolaan limbah cair industri dan (d) pengelolaan sampah padat industri.

Jika laporan pada dokumen *First Biennial Update Report* (1st BUR) dan *Third National Communication* (TNC) baru diperhitungkan emisi dari 3 (tiga) subkategori saja yaitu: limbah padat domestik (*domestik solid waste*), limbah cair domestik (*domestic wastewater*) dan limbah cair industri (*industrial wastewater*), maka sejak tahun 2018 melalui pelaporan 2nd BUR dilakukan perbaikan dengan menyertakan sumber emisi dari kategori baru yaitu limbah padat industri (*industrial solid waste*), meskipun baru sebatas pada penghitungan emisi dari lumpur (*sludge*) pada industri pulp dan kertas yang dilandfill-kan (*landfill of sludge removal*), lumpur dari kertas yang dikomposkan (*composting of sludge removal*), dan penanganan lumpur dari industri kertas (*sludge handling*). Pada laporan 3rd

BUR tahun 2021, kembali disertakan kategori baru pada penghitungan limbah padat industri yaitu pengolahan tandan kosong sawit di pabrik kelapa sawit (*stockpiles of EFB*).

Pelaporan emisi sektor limbah dengan mencakup 4 (empat) kategori ini kemudian secara konsisten disampaikan pada dokumen laporan 1st BTR dan laporan tahunan nasional untuk penghitungan emisi tahun 2017 sampai dengan emisi 2023.

B. Jenis Gas

Berdasarkan IPCC *Guidelines* 2006, tipe emisi GRK dari sektor limbah mencakup CO₂, CH₄, dan N₂O. Emisi CO₂ yang dihitung berasal dari kegiatan pembakaran terbuka (*open burning*) limbah padat domestik dan *treatment of sludge removal for biomass fuel* (CO₂) pada limbah padat industri. Untuk CH₄ sebagian besar dihasilkan dari proses anaerobic seperti proses pembusukan sampah di TPA dan degradasi materi organik pada unit IPAL. Sedangkan N₂O dihasilkan dari proses biologis pada kegiatan komposting dan IPAL domestik.

C. Periode Waktu

Inventarisasi GRK yang dilaporkan dalam laporan ini adalah periode tahun 2000 – 2023.

D. Sumber Data

Data aktivitas dan parameter inventarisasi GRK sektor limbah diklasifikasikan berdasarkan kategori dalam IPCC *Guidelines* 2006, yaitu pengelolaan limbah padat domestik, pengelolaan limbah padat industri, pengelolaan limbah cair domestik dan pengelolaan limbah cair industri, dengan sumber data diuraikan sebagai berikut:

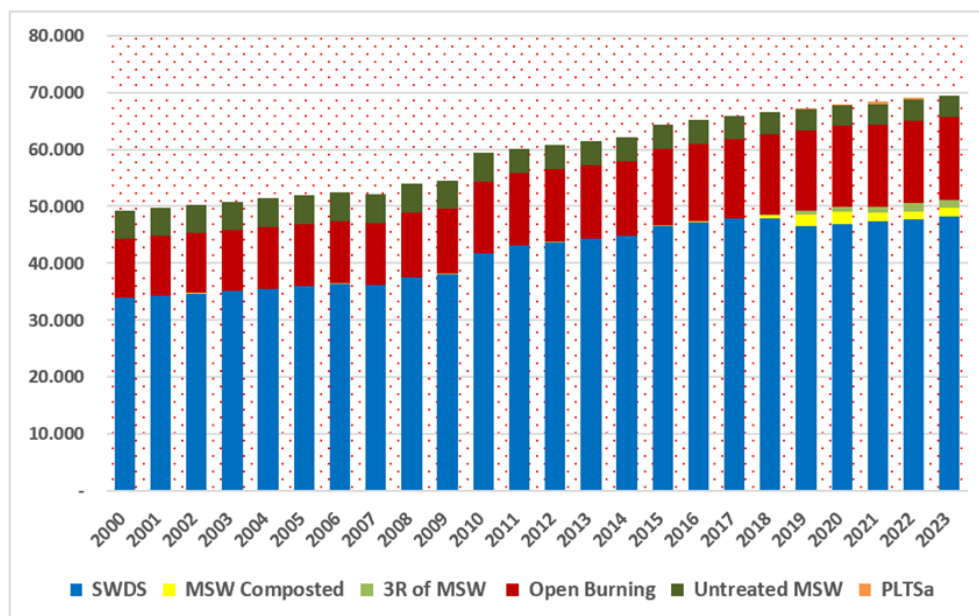
1. Pengelolaan Limbah Padat Domestik

Limbah padat domestik yang diolah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) berasal dari permukiman, pertamanan, pasar, area komersial, dan lain-lain di daerah perkotaan dan pedesaan. Di daerah perkotaan sampah padat domestik umumnya sudah dibawa dan diolah di TPA atau disebut juga *landfill*, sedangkan sampah padat domestik dari daerah pedesaan sebagian masih diolah setempat dengan cara pembakaran terbuka (*open burning*) dan/atau *open dumping*.

Sejak 2018, data aktivitas sampah padat domestik nasional tahunan diperoleh dari Direktorat Penanganan Sampah, Ditjen PSLB3 berupa olahan data provinsi/kabupaten/kota yang masuk melalui portal SIPSN (Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional). Sebelumnya, data pengelolaan sampah padat domestik diperoleh dari Direktorat Pengelolaan Sampah Ditjen PSLB3 dengan sumber data dari program ADIPURA. Program ADIPURA ini telah berlangsung sejak tahun 2003, namun hingga 2013 data provinsi/kabupaten/kota yang masuk

belum memadai untuk pemenuhan dokumen laporan nasional dan internasional (seperti BUR dan Natcom). Setelah tahun 2014 barulah tersedia data ADIPURA yang mengakomodir lebih banyak data provinsi/kabupaten/kota, dan semakin membaik setelah tersedia portal SIPSN. Hingga tahun 2023, SIPSN telah menghimpun data *bottom up* dari sebanyak 448 dari 514 kab/kota atau telah mencapai 87,16% data. Namun baru tervalidasi sebanyak 366 kab/kota.

Dalam pengelolaan limbah padat domestik, estimasi emisi GRK telah ditingkatkan dengan memperbarui data jumlah sampah yang diolah di TPA, sampah yang dikomposkan, sampah 3R (khususnya kertas bekas daur ulang), dan jumlah sistem pemulihan LFG (*landfill gas*) yang dipasang di tempat pembuangan sampah. Neraca sampah padat domestik yang ditimbun di TPA, dibakar secara terbuka, dikomposkan, dimanfaatkan 3R kertas, dimanfaatkan untuk PLTSa dan sampah tidak terkelola ditunjukkan pada Gambar 4.61.



Gambar 4. 61 Neraca Sampah Padat Domestik 2000 – 2023

Parameter lokal seperti komposisi sampah dan *dry matter content* dikembangkan oleh KLHK dengan lokasi pilot studi yang semula hanya di Provinsi Sumatera Utara dan Sumatera Selatan, saat ini telah berkembang ke Provinsi Jawa Timur, DKI Jakarta, dan Riau. Tabel 4.16 menunjukkan nilai perbandingan komposisi sampah antara nilai rata-rata hasil penelitian di lokasi pilot studi dengan nilai *default IPCC Guidelines 2006*.

Tabel 4.16 Komposisi Sampah di TPA

No.	Komponen	Komposisi Sampah (% berat basah)						IPCC GL 2006 (Asia Tenggara)
		Sumatera Utara	Sumatera Selatan	Riau	DKI Jakarta	Jawa Timur	Rata-Rata ^{*)}	
1	Sisa Makanan	54,62%	56,62%	47,23%	49,72%	53,30%	49,86%	43,50%
2	Kertas	11,39%	10,01%	11,34%	10,79%	3,63%	10,82%	12,90%
3	Nappies	6,06%	5,35%	7,50%	5,93%	6,26%	6,04%	-
4	Taman	8,02%	5,90%	4,12%	7,70%	9,02%	7,39%	-
5	Kayu	0,01%	0,44%	3,50%	0,78%	0,60%	0,95%	9,90%
6	Tekstil	3,28%	2,43%	3,56%	4,10%	2,30%	3,97%	2,90%
7	Karet dan Kulit	0,84%	0,59%	1,79%	0,37%	0,07%	0,51%	0,60%
8	Plastik	13,15%	16,15%	16,74%	19,26%	23,42%	18,80%	6,30%
9	Logam	0,37%	0,50%	0,84%	0,30%	0,21%	0,35%	1,30%
10	Kaca	1,59%	1,11%	1,46%	0,59%	0,75%	0,71%	2,20%
11	Lain-lain (anorganik, inert)	0,68%	0,90%	1,94%	0,47%	0,44%	0,60%	5,40%

Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup, 2017

*) Penghitungan nilai rata-rata dilakukan menggunakan metode *weighted average*.

Sementara untuk nilai *dry matter content* masih menggunakan nilai di Sumatera Utara dan Sumatera Selatan dikarenakan nilai dari provinsi lainnya masih membutuhkan penelitian lebih lanjut.

Tabel 4.17 Dry Matter Content Sampah di TPA

Komponen	Dry matter content (%berat basah)			
	Sumatera Selatan	Sumatera Utara	Rata-rata	IPCC 2006 GL (Asia Tenggara)
a. Sisa makanan	23%	59%	46%	40%
b. Kertas + kardus + nappies	51%	44%	48%	90%
c. Kayu dan sampah taman	50%	57%	55%	85%
d. Tekstil	56%	73%	64%	80%
e. Karet & Kulit	84%	89%	90%	84%
f. Plastik	76%	57%	68%	100%
g. Logam	100%	97%	97%	100%
h. Gelas	92%	66%	79%	100%
i. Lainnya (inert)	85%	95%	92%	N/A

Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup, 2017

2. Limbah Padat Industri

Emisi GRK dari pengolahan limbah industri juga telah ditingkatkan dengan dimasukkannya kategori sumber baru dalam perhitungannya, yaitu emisi dari limbah padat industri. Pada perhitungan sebelumnya, baik 2nd BUR, 3rd BUR, dan laporan nasional, emisi GRK dari limbah padat industri terbatas pada emisi GRK

dari pengolahan lumpur di industri pulp & kertas terpadu dan penanganan lumpur (kolam anaerobik) di industri kertas, dimana pengolahan lumpur meliputi TPA (*landfill of sludge removal*), diolah di kolam aerobik, pengomposan (*composting of sludge removal*), dan dimanfaatkan untuk bahan baku dan energi. Sejak laporan nasional 2021 dan juga laporan 3rd BUR, sumber emisi GRK dari *Industrial Solid Waste* (ISW) ditambahkan dengan memasukkan sumber emisi tambahan, yaitu pengolahan limbah padat industri seperti tandan buah kosong (TKKS) di pabrik kelapa sawit.

Emisi limbah padat industri memungkinkan untuk dihitung karena tersedia data yang diperoleh dari industri pulp dan kertas, dan data EFB dari pabrik kelapa sawit. Data terdiri dari kapasitas produksi, parameter organik dari pengolahan air limbah di WWTP dan *sludge removal and treatment*. Data aktivitas dan data mitigasi limbah padat industri secara umum diperoleh dari Kementerian Perindustrian. Namun, data hanya diperoleh untuk periode 2010 dan seterusnya.

3. Limbah Cair Domestik

Limbah cair domestik pada umumnya diolah di tempat atau dialirkan menuju pusat pengolahan limbah cair ataupun dibuang tanpa pengolahan melalui saluran pembuangan menuju sungai. Data aktivitas dari limbah cair domestik adalah TOW (*Total Organics in Wastewater*) yang merupakan jumlah BOD (kg) total yang dihitung berdasarkan jumlah populasi penduduk dikalikan dengan kg BOD perkapita. Parameter BOD/orang/tahun digunakan untuk mengestimasi nilai TOW (*Total Organics in Wastewater*) dan faktor emisi ($EF = Bo \times MCF$, kg CH₄/kg BOD) merujuk pada nilai *default IPCC Guidelines 2006* untuk Negara Asia, Timur Tengah dan Afrika sebesar 40 gram/kapita/hari. Sedangkan untuk parameter konsumsi protein sudah menggunakan data spesifik Indonesia yang diterbitkan oleh BPS setiap tahunnya. Tabel 4.18 memperlihatkan parameter dan faktor emisi yang digunakan.

Tabel 4.18 Parameter dan Faktor Emisi Limbah Cair Domestik

<i>Uraian</i>	<i>Jenis Data</i>	<i>Karakteristik</i>	<i>Sumber Data</i>
<i>Data</i>	<i>Populasi</i>		<i>BPS: Proyeksi Penduduk Indonesia 2020 – 2050</i>
<i>Aktivitas</i>	<i>Konsumsi Protein (Kg/Orang/Tahun)</i>		<i>BPS: Konsumsi Kalori dan Protein Penduduk Indonesia dan Provinsi (Survey Susenas)</i>
	<i>Fraksi Pembuangan air limbah domestik</i>		<i>BPS Statistik Kesejahteraan Rakyat (hasil survey susenas)</i>
	<i>BOD (Biological Oxygen Demand)</i>	<i>40 gram/org/hari atau Setara 14,6 kg/org/tahun</i>	
	<i>Kapasitas Produksi CH₄ max</i>	<i>0,60 kg CH₄/kgBOD</i>	
	<i>Fraksi N dalam protein</i>	<i>0,16 kg N/kg protein</i>	

Uraian	Jenis Data	Karakteristik	Sumber Data
	<i>F non-consumption protein</i>	1,10	<i>Angka Default IPCC Guidelines 2006</i>
	<i>F protein industri yang dibuang di saluran pembuangan</i>	1,25	
	<i>N sludge (default = 0)</i>	0 kGram	
	<i>Faktor Emisi N₂O</i>	0,005 kg N ₂ O-N/kg N	
	<i>Faktor konversi kg N₂O-N menjadi kg N₂O, 44/28</i>	1,571	
	<i>Emisi dari IPAL (default = 0)</i>	- kg N ₂ O-N/year	
<i>Faktor Emisi</i>	<i>Kapasitas maksimum produksi CH₄</i>	0,6 Kg CH ₄ /Kg BOD atau 0,25 Kg CH ₄ /kg COD	
	<i>MCF</i>	<i>Treated dan untreated</i>	
	<i>EF Effluent (Kg N₂O-N/kg-N)</i>	0,005	
	<i>EF Plants (g N₂O/orang/thn)</i>	3,2	

Pada pengolahan limbah cair domestik, cakupan inventarisasi emisi GRK ditingkatkan dengan melengkapi data jumlah lumpur yang dikeluarkan dari septik tank dan diolah di fasilitas pengolahan lumpur, jumlah septik tank yang diganti dengan biodigester yang dilengkapi dengan pemulihan biogas, dan jumlah *Domestic Waste Water* (DWW) yang diolah di IPAL terpusat. Perlu dicatat bahwa emisi GRK dari pengolahan limbah cair domestik di dokumen *Third National Communication* (TNC) diperkirakan berdasarkan data dari fasilitas pengolahan limbah cair domestik yang diterbitkan oleh Kementerian Kesehatan (RISKESDAS), sedangkan di laporan Inventarisasi GRK nasional termasuk 2nd BUR dan 3rd BUR, data emisi limbah cair domestik telah diperkirakan berdasarkan data Statistik Kesejahteraan Rakyat oleh BPS yang lebih komprehensif dan tersedia secara reguler tiap tahunnya.

Tabel 4.19 Parameter Fraksi Populasi dan Derajat Penggunaan pada Pengolahan Limbah Cair Domestik

	<i>Treatment</i>	<i>Fraction</i>	<i>Degrees of Utilization</i>
<i>Before 2010 (assumed)</i>			
Rural	Septic tank	0,500	0,52
	Non Septic tank	0,500	0,48
Urban	Septic tank	0,500	0,79
	Non Septic tank	0,500	0,21
<i>2010 (updated with processed data from Welfare Statistics and MoEF monitoring of treatment facilities)</i>			
Rural	Septic tank	0,502	0,43
	Non Septic tank	0,502	0,57
Urban	Septic tank	0,498	0,79
	Non Septic tank	0,498	0,22
	Centralized	0,498	0,00
	Bio-digesters	0,498	0,00
<i>2011</i>			
Rural	Septic tank	0,495	0,45
	Non Septic tank	0,495	0,55
Urban	Septic tank	0,505	0,79
	Non Septic tank	0,505	0,22
	Bio-digesters	0,505	0,00
<i>2021</i>			
Rural	Septic tank	0,427	0,72
	Non Septic tank	0,427	0,28
Urban	Septic tank	0,574	0,84
	Non Septic tank	0,573	0,10
	Centralized	0,573	0,055
	Bio-digesters	0,573	0,005
<i>2022</i>			
Rural	Septic tank	0,420	0,74
	Non Septic tank	0,420	0,26
Urban	Septic tank	0,580	0,84
	Non Septic tank	0,580	0,10
	Centralized	0,580	0,056
	Bio-digesters	0,580	0,005
<i>2023</i>			
Rural	Septic tank	0,41	0,73
	Non Septic tank	0,41	0,26
Urban	Septic tank	0,59	0,86
	Non Septic tank	0,59	0,08
	Centralized	0,59	0,05
	Bio-digesters	0,59	0,005

4. Limbah Cair Industri

Penghitungan emisi dari pengolahan air limbah industri menggunakan data aktivitas berupa data produksi olahan dari 22 tipe industri dengan satuan

ton/tahun. Data produksi olahan ini utamanya diperoleh dari Kementerian Perindustrian melalui Pusat Industri Hijau (PIH) dan Direktorat Industri minuman hasil tembakau dan bahan penyegar sampai dengan tahun 2019. Sejak tahun 2020 Kementerian Perindustrian menyampaikan data produksi olahan yang bersumber dari data SIINas (Sistem Informasi Industri Nasional), namun karena fluktuasi data SIINas yang masih sangat besar, sejumlah data produksi industri pengolahan di tahun 2020 - 2023 menggunakan data dari beragam sumber seperti Laporan kinerja Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI), Data primer dari Asosiasi Pulp Kertas Indonesia (APKI), *Handbook of Energy Economic Statistic of Indonesia* (HEESI), Statistik Peternakan dan Kesehatan Hewan, Statistik Perkebunan Unggulan Nasional Ditjen Perkebunan, dan data Index Mundi, serta menggunakan angka proyeksi (ekstrapolasi).

Emisi GRK dari limbah cair industri diestimasi berdasarkan jumlah limbah cair yang diolah, karakteristik limbah dan tipe unit pengolahannya. Parameter seperti COD/m³ dan debit air limbah digunakan untuk mengestimasi nilai TOW (*total organics degradable material in wastewater for each industry sector*, kg COD/yr). Pada laporan ini nilai COD dan debit air limbah dan faktor emisi diperoleh dari beberapa sumber seperti PROPER, penelitian lokal (BPPT dan universitas), peraturan menteri LH dan asosiasi industri. Sedangkan untuk beberapa kategori industri yang belum ada penelitiannya, masih menggunakan nilai *default IPCC Guidelines 2006*.

E. Perhitungan Emisi GRK

Emisi GRK sektoral dari limbah selama periode 2000 – 2023 terangkum pada Tabel 4.19 Hampir semua kategori, cenderung mengalami peningkatan dari tahun ke tahun dengan tingkat kenaikan yang relatif kecil tanpa lonjakan yang signifikan. Dalam laporan ini, dilakukan perbaikan sejumlah data aktivitas yaitu perbaikan data petroleum *refineries* (kilang minyak), data *meat and poultry* (daging dan unggas), data produksi *crude palm oil* (CPO), data oleokimia berbasis sawit, data produksi biodiesel, data minyak goreng sawit dan margarin. Lainnya, dilakukan juga pembaruan data kegiatan pemanfaatan pulp dan kertas. Perbaikan sejumlah data dimaksud, mengakibatkan perubahan pada total angka emisi GRK sektor limbah, khususnya pada rentang tahun 2020 – 2023, sehingga kiranya perlu dilakukan penyesuaian penghitungan angka emisi total pada laporan ini.

Pada laporan sebelumnya telah dilakukan juga perbaikan pada penggunaan nilai *default Methan Correction Factor* (MCF) *Wastewater Treatment* (WWT) pada industri pati (*starch*) dengan MCF lebih tinggi, yaitu 0,9 yang merupakan unit WWT anaerobik dalam (*anaerobic deep lagoon*). Survei lapangan primer untuk sejumlah industri pati di Lampung menunjukkan bahwa IPAL di sebagian besar industri pati dapat diklasifikasikan sebagai kolam

anaerobik dalam. Pada laporan sebelumnya, WWT diasumsikan sebagai kolam anaerobik dangkal (*anaerobic shallow lagoon*), di mana TNC menggunakan nilai rata-rata MCF (= 0,2) sedangkan 2nd BUR menggunakan nilai *default* maksimum MCF (= 0.3).

Selain itu, faktor emisi POME yang diolah di kolam terbuka mengacu pada Pedoman Produksi Biomassa Berkelanjutan (*Indonesian Sustainable Palm Oil, ISPO*), di mana EF adalah 0,51 kg CO₂e/kg CPO atau 0,16 kg CO₂e/kg POME dengan 3,25 kg POME/kg CPO). Pada Inventarisasi GRK Nasional sebelumnya, parameter EF mengacu pada parameter yang ditunjukkan oleh regulasi baku mutu (pembangkitan air limbah) dari beberapa fasilitas, data lingkungan (COD), karena belum tersedia data baku dari ISPO (*Indonesian Sustainable Palm Oil System*).

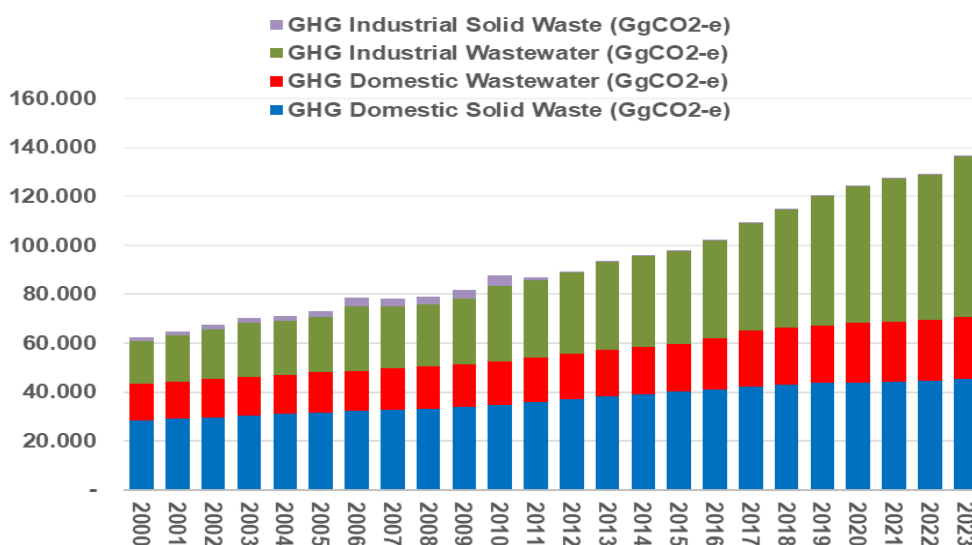
Total emisi sektor limbah pada tahun 2023 adalah sebesar **136.335,38 Gg CO₂e**. Pengolahan limbah cair industri (*Industrial Wastewater*) masih menjadi penyumbang emisi terbesar dari sektor limbah dengan angka sebesar 65.412,82 Gg CO₂e (47,98%). Selanjutnya berturut-turut diikuti oleh emisi dari limbah padat domestik (MSW) sebesar 45.244,63 Gg CO₂e (33,19%), limbah cair domestik sebesar (DWW) sebesar 25.509,33 Gg CO₂e (18,71%) dan limbah padat industri (ISW) sebesar 168,60 Gg CO₂e (0,12%).

Angka emisi tahun 2023 naik sebesar sekitar **4,72%** dibandingkan angka emisi tahun 2022, relatif besar dibandingkan yang terjadi beberapa tahun sebelumnya. Peningkatan emisi sektor limbah terutama dipengaruhi oleh peningkatan emisi dari limbah cair industri yang meningkat sebesar **8,48%** dibandingkan emisi tahun sebelumnya.

Tabel 4.20 Emisi GRK dari Sektor Limbah Tahun 2000 – 2023

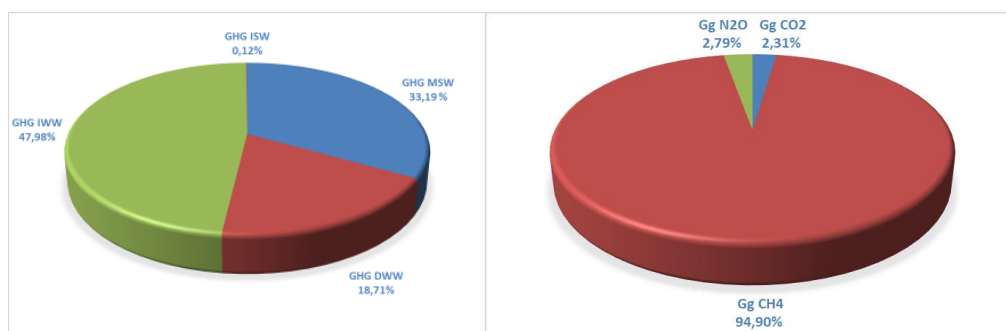
Tahun	GHG MSW (Gg CO ₂ e)	GHG DWW (Gg CO ₂ e)	GHG IWW (Gg CO ₂ e)	GHG ISW (Gg CO ₂ e)	GHG TOTAL (Gg CO ₂ e)
2000	28.198	14.977	17.735	1.281	62.191
2001	28.950	15.196	19.175	1.537	64.857
2002	29.649	15.659	20.346	1.761	67.415
2003	30.310	15.926	22.008	1.911	70.155
2004	30.939	16.129	22.020	1.982	71.070
2005	31.546	16.392	22.763	2.171	72.871
2006	32.135	16.560	26.502	3.175	78.373
2007	32.630	16.982	25.485	3.233	78.329
2008	33.153	17.223	25.242	3.210	78.827
2009	33.801	17.330	26.909	3.536	81.576
2010	34.783	17.602	30.935	4.446	87.766
2011	35.967	17.899	31.851	1.219	86.937
2012	37.079	18.491	33.135	504	89.209
2013	38.212	18.973	36.138	246	93.569
2014	39.170	19.294	37.246	174	95.884
2015	40.119	19.508	37.766	121	97.539

Tahun	GHG MSW (Gg CO ₂ e)	GHG DWW (Gg CO ₂ e)	GHG IWW (Gg CO ₂ e)	GHG ISW (Gg CO ₂ e)	GHG TOTAL (Gg CO ₂ e)
2016	41.180	20.886	39.918	116	102.105
2017	42.147	22.805	43.871	128	108.939
2018	43.019	23.321	48.168	132	114.637
2019	43.785	23.584	52.832	173	120.333
2020	43.957	24.009	56.509	188	124.753
2021	44.269	24.635	59.202	168	128.274
2022	44.743	24.986	60.302	156	130.188
2023	45.245	25.509	65.413	169	136.335



Gambar 4.62 Emisi GRK dari Kegiatan Pengelolaan Limbah 2000 – 2023

Berdasarkan jenis gasnya, CH₄ merupakan gas utama yang dihasilkan dari sektor ini yaitu sebesar 129.388 Gg CO₂e (94,90%), selanjutnya gas N₂O sebesar 3.798 Gg CO₂e (2,79%), dan yang terkecil adalah gas CO₂ sebesar 3.149 Gg (2,31%). Distribusi emisi GRK dari sektor sampah tahun 2023 menurut sumber dan jenis gasnya disajikan pada Gambar 4.63.



(a) Sumber

(b) Jenis Gas

Gambar 4. 63 Distribusi Emisi Sektor Limbah Tahun 2023 berdasarkan sumber dan jenis gas

Tabel pelaporan umum (*common reporting format*) emisi GRK sektor limbah tahun 2023 disajikan pada Tabel 4.21 di bawah ini, untuk tiga gas CO₂, CH₄ dan N₂O yang telah dikonversikan dalam satuan Giga gram CO₂e

Tabel 4.21 Common Reporting Format of the GHG Emissions from Waste Category in 2023

GHG Source and Sink Categories			CO ₂ *	CH ₄	N ₂ O	TOTAL
			(Ggram CO ₂ e)			
Total Waste			3.149,02	129.388,19	3.798,17	136.335,38
A.	Solid waste disposal					
	1.	Manage waste disposal sites				
	1.1	Managed domestic waste disposal sites				
	1.2	Manage Industrial waste disposal		25,04		25,04
	2.	Unmanage domestic waste disposal sites		39.694,80		39.694,80
	3.	Uncategorised waste disposal sites				
B.	Biological treatment of solid waste					
	1.	Composting of domestic solid waste		0,70	38,41	39,11
	2.	Composting of industrial solid waste		0,50	0,45	0,95
	3.	Anaerobic digestion at biogas facilities				
C.	Incineration and open burning of waste					
	1.	Waste incineration				
	2.	Open burning of domestic solid waste	3.147,60	2.001,39	361,74	5.510,72
D.	Wastewater treatment and discharge					
	1.	Domestic wastewater		22.111,75	3.397,58	25.509,33
	2.	Industrial wastewater		65.412,82		65.412,82
	3.	Other (as specified in Table 5 D)				
E.	Other (please specify)					
	1.	Industrial solid waste handling	1,43	141,19		142,62
*CO ₂ emission from waste sector is derived from fossil content (C2) and as CO ₂ equivalent emitted from pretreatment of biomass fuel (E1)						

F. Analisis Kategori Kunci

Berdasarkan analisis kategori kunci (*the key category analysis*), diketahui sumber utama emisi pada sektor limbah ada pada 3 (tiga) kategori, yaitu pengolahan limbah cair industri (*industrial wastewater treatment and discharge*), pengelolaan limbah padat domestik pada TPA (*unmanaged solid waste disposal*) dan pengelolaan limbah cair domestik (Tabel 4.12).

Tabel 4.22 Analisis Kategori Kunci Sektor Limbah Tahun 2023

Code	Category	Total GHG Emissions	Level/ Rank	Cumulative
4D 2	Industrial Wastewater Treatment and Discharge	65.412,82	47,98%	47,98%
4A 2	Unmanaged Solid Waste Disposal	39.694,80	29,12%	77,10%
4D 1	Domestic Wastewater	25.509,33	18,71%	95,81%
4C	Open Burning of waste	5.510,72	4,04%	99,85%
4E 1	Other – Industrial Solid Waste Handling	142,62	0,10%	99,95%
4B 1	Biological Treatment of Domestic Solid Waste	39,11	0,03%	99,98%
4A 1.2	Managed Industrial Solid Waste Disposal	25,04	0,02%	100%
4B 2	Biological Treatment of Industrial Solid Waste	0,95	0,00%	100%
TOTAL		136.335,38	100%	



BAB V HASIL CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK

BAB V. HASIL CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK

5.1 Pengurangan Emisi GRK Nasional dari Agregat Aksi Mitigasi

Secara nasional, target pengurangan emisi pada tahun 2030 berdasarkan NDC adalah sebesar **915 Juta ton CO₂e** pada target *unconditional* (CM1) dan sebesar **1.240 Juta ton CO₂e** pada target *conditional* (CM2). Untuk memenuhi target tersebut, secara nasional telah dilakukan berbagai aksi mitigasi pada lima sektor oleh penanggung jawab aksi mitigasi.

Hasil perhitungan capaian pengurangan emisi GRK secara nasional dari aksi mitigasi di 5 sektor untuk tahun kegiatan 2022 yaitu sebesar **428,43 Juta ton CO₂e**, dan sebesar **614,62 Juta ton CO₂e** untuk tahun 2023 sebagaimana disajikan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Capaian Pengurangan Emisi GRK Nasional dari Aksi Mitigasi Tahun 2022 – 2023

No.	Sektor	Capaian Pengurangan emisi GRK (ton CO ₂ e)	
		2022	2023
1.	Energi	123.224.401	143.155.878
2.	IPPU	4.613.395	2.778.335
3.	Kehutanan dan penggunaan lahan lainnya	285.339.564	452.275.791
4.	Pertanian	13.554.000	14.533.000
5.	Limbah	1.694.692	1.878.990
	Total	428.426.052	614.621.994

Tabel di atas menunjukkan adanya peningkatan terhadap capaian pengurangan emisi GRK dari sektor energi, kehutanan, pertanian, dan limbah pada tahun 2023 dibandingkan tahun sebelumnya. Sementara pada sektor IPPU, pengurangan emisi GRK menurun jika dibandingkan dengan pengurangan emisi GRK tahun 2022. Hal ini disebabkan karena pada perhitungan tahun 2023 hanya menghitung pengurangan emisi GRK dari aksi mitigasi pengurangan rasio clinker pada industri semen.

Pada sektor energi, capaian pengurangan emisi GRK pada tahun 2023 mengalami peningkatan dibanding tahun 2022 karena adanya peningkatan dari aksi mitigasi kelompok Energi Baru dan Terbarukan, Penggunaan Teknologi Pembangkit Bersih, dan kegiatan aksi mitigasi pada subsektor Transportasi

Untuk Sektor Limbah capaian pengurangan emisi di tahun 2023 mengalami peningkatan dari tahun sebelumnya diakibatkan pada subkategori limbah cair dan padat industri data aksi mitigasi didukung pelaporan pada industri "vegetable, fruits, juices" dan "industri paper" maupun "pulp-paper". Sedangkan penurunan capaian pengurangan emisi GRK di Sektor Kehutanan dan penggunaan lahan mengalami peningkatan, hal tersebut disebabkan karena adanya peningkatan pengendalian kebakaran gambut dan penurunan degradasi hutan. Pada Sektor Pertanian mengalami peningkatan pada aksi BATAMAS, UPPO, Penanaman Padi Varietas Rendah Emisi dan luas sebaran varietas padi rendah emisi tahun 2023 menjadi 2.271.117 Ha.

5.2 Pengurangan Emisi GRK dari Aksi Mitigasi

Dalam rangka mendukung target pengurangan emisi GRK sebagaimana tertuang dalam dokumen NDC, Indonesia telah mengeluarkan rangkaian perangkat hukum dan kebijakan dalam mengetahui capaian pengurangan emisi GRK dari aksi mitigasi di lima sektor (energi, IPPU, pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan lainnya, dan limbah) yang telah dilaporkan oleh kementerian teknis selaku penanggung jawab aksi sesuai tupoksi kementerian kepada KLHK melalui Tim MRV untuk dilakukan proses verifikasi atas capaian pengurangan emisi GRK.

Untuk memperoleh data capaian pengurangan emisi dan/atau peningkatan serapan GRK yang memenuhi prinsip TACCC (*Transparent, Accurate, Consistence, Complete, and Comparable*) atau Transparan, Akurat, Konsisten, Komprehensif, dan Komparabel, KLHK telah menerbitkan Peraturan Menteri LHK Nomor 12 Tahun 2024 tentang Penyelenggaraan Kontribusi Yang ditetapkan secara Nasional dalam Penanganan Perubahan Iklim sebagaimana amanat pada Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021.

5.2.1 Sektor Energi

Target pengurangan emisi GRK CM1 dari sektor energi tahun 2030 adalah sebesar 358 Juta ton CO₂e (12,5%), sebagaimana tertuang dalam dokumen *enhanced* NDC. Untuk mencapai target tersebut Kementerian ESDM, Kementerian Perhubungan, dan Kementerian Perindustrian menghitung capaian pengurangan emisi aksi mitigasi sektor energi yang dapat dikelompokkan dalam lima kelompok aksi, yaitu:

1. Efisiensi Energi
2. Energi Baru dan Terbarukan
3. Bahan Bakar Rendah Karbon
4. Penggunaan Teknologi Pembangkit Bersih
5. Kegiatan Lainnya, yang terdiri dari kegiatan reklamasi lahan pasca tambang, aksi mitigasi subsektor transportasi, dan subsektor industri.

Berdasarkan proses perhitungan yang dilakukan oleh Kementerian ESDM, Kementerian Perhubungan, dan Kementerian Perindustrian, didapatkan hasil penghitungan pengurangan emisi sektor energi terverifikasi sebesar **143.155.878 ton CO₂e**. Jika dibandingkan dengan capaian pengurangan emisi tahun kegiatan 2022 sebesar 123,22 juta ton CO₂e, pengurangan emisi sektor energi total tahun 2023 meningkat sebesar 16,19%. Capaian pengurangan emisi sektor energi untuk setiap aksi mitigasi dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2023

No	Kategori Emisi GRK	Capaian Emisi GRK (ton CO ₂ e)	
		2022	2023
1	Sektor Energi	112.046.371	135.317.281
2	Subsektor Energi di Transpotasi	3.354.092	4.139.978
3	Subsektor Energi di Industri	7.823.938	3.698.619
	Total (ton CO₂e)	123.224.401	143.155.878

Dari klaim yang disampaikan oleh Kementerian ESDM selaku koordinator sektor energi, terdapat aksi mitigasi reklamasi lahan pasca tambang yang dapat menurunkan emisi sebesar 4.440.150 ton CO₂e dan kegiatan penghijauan di lingkungan bandara udara sebesar 586.747 ton CO₂e, yang termasuk pada kategori emisi sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya. Capaian pengurangan emisi GRK untuk Tahun Kegiatan 2023 di Sektor Energi termasuk subsektor energi di industri dan subsektor energi di transportasi untuk setiap aksi mitigasi yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 5.3, Tabel 5.4, dan Tabel 5.5

Tabel 5.3 Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2023

No	Aksi Mitigasi	Capaian Pengurangan Emisi GRK (ton CO ₂ e)	
		2022	2023
I	EFISIENSI ENERGI	31.874.748	30.253.463
1	Penerapan mandatori manajemen energi untuk pengguna padat energi	14.035.811	18.163.425
2	Peningkatan efisiensi peralatan rumah tangga	17.695.716	11.929.223
	- Lampu Compact Fluorescent Lamp (CFL)	3.067.908	81.946
	- Piranti Pengkondisi Udara (Air Conditioning)	14.528.951	11.124.139
	- Piranti Lemari Pendingin (Kulkas)	6.926	194.279
	- Piranti Penanak Nasi	91.932	317.513
	- Kipas Angin		48.682
	- LED		162.663
3	Penggantian (Retrofitting) Lampu LED -- PJU Hemat energi	18.003	98.959
4	KBLBB	110.294	46.931
	- Sepeda Motor	51	22.285
	- Mobil	110.242	24.647

No	Aksi Mitigasi	Capaian Pengurangan Emisi GRK (ton CO ₂ e)	
		2022	2023
5	Implementasi Joint Crediting Mechanism (JCM) di Indonesia	14.925	14.925
	PERSENTASE (%)	26%	21%
II	ENERGI BARU DAN TERBARUKAN	51.295.834	74.726.532
6	Pembangkit Energi Baru Terbarukan		
	- PLTP	7.097.083	6.465.045
	- PLTMH		9.860.870
	a. PLTMH off grid	43.605	53.831
	b. PLTMH on grid	770.607	205.632
	- PLTM	4.124.371	4.656.561
	- PLTS	583.110	906.329
	a. PLTS off grid	56.571	126.973
	b. PLTS on grid	270.758	412.121
	- PLTS Rooftop		
	a. PLTS Rooftop PLN	72.756	184.210
	b. PLTS Rooftop Non PLN	9.178	9.178
	IUPTLS PLTS	166.729	166.729
	- PLTBayu	266.891	266.891
	a. PLT Bayu off grid	6.128	6.128
	b. PLT Bayu on grid	260.763	260.763
	- PLT Hybrid	7.117	7.117
	Bioenergi		21.061.788
	- PLT Biomassa	1.394.743	20.347.852
	IUPLTS PLTBm	654.447	654.447
	- Pembangunan PLTA	4.881.732	4.944.847
	IUPTLS PLTA & SLO PLTA	3.072.053	3.072.053
	Pemanfaatan Biogas	10.647	42.148
	IUPTLS PLTBg	17.342	17.342
7	Pemanfaatan Biodiesel	27.746.961	31.960.912
8	Lampu Tenaga Surya Hemat Energi (LTSHE)	8.413,5	8.532,6
	- FotoVoltaik (PV)		
	- Lampu LED		
9	Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya	26.499	70.182
10	Pemanfaatan Co-Firing	595.786	1.052.383
11	Pemanfaatan Langsung Panas Bumi	1.546	1.546
12	Pemanfaatan Langsung Bioenergi	2.077.179	0
	PERSENTASE (%)	42%	52%
III	BAHAN BAKAR RENDAH KARBON	15.547.603	15.177.420
13	Fuel Switching BBM Transportasi (RON 88 ke RON 92)	224.246	224.311
14	Program Konversi Minyak Tanah ke LPG	15.273.493	14.744.321
15	Peningkatan Sambungan Rumah yang Teraliri Gas Bumi melalui Pipa	49.865	208.788
	PERSENTASE (%)	13%	11%
IV	PEMBANGKIT TEKNOLOGI EFISIEN	13.328.182	15.159.867
16	Aksi Mitigasi Sektor Ketenagalistrikan		
	- Penggunaan Clean Coal Technology pada PLTU Batubara (Supercritical)	6.157.891	9.513.524
	- Pengoperasian Pembangkit Listrik Gas Baru	7.170.291	5.061.831

No	Aksi Mitigasi	Capaian Pengurangan Emisi GRK (ton CO ₂ e)	
		2022	2023
	- Konversi dari Pembangkit Single Cycle menjadi Combined Cycle		584.511
	PERSENTASE (%)	11%	11%
V	KEGIATAN LAIN	11.142.368	7.853.394
18	Reklamasi Lahan Pasca Tambang	0	0
19	Kegiatan Aksi Mitigasi Sub Sektor Transportasi	3.354.092	4.139.978
20	Kegiatan Aksi Mitigasi Sub Sektor Industri	7.823.938	3.698.619
	PERSENTASE (%)	9%	5%
TOTAL (ton CO ₂ e)		123.224.401	143.155.878

Tabel 5.4 Capaian Pengurangan Emisi GRK Subsektor Industri Tahun 2023

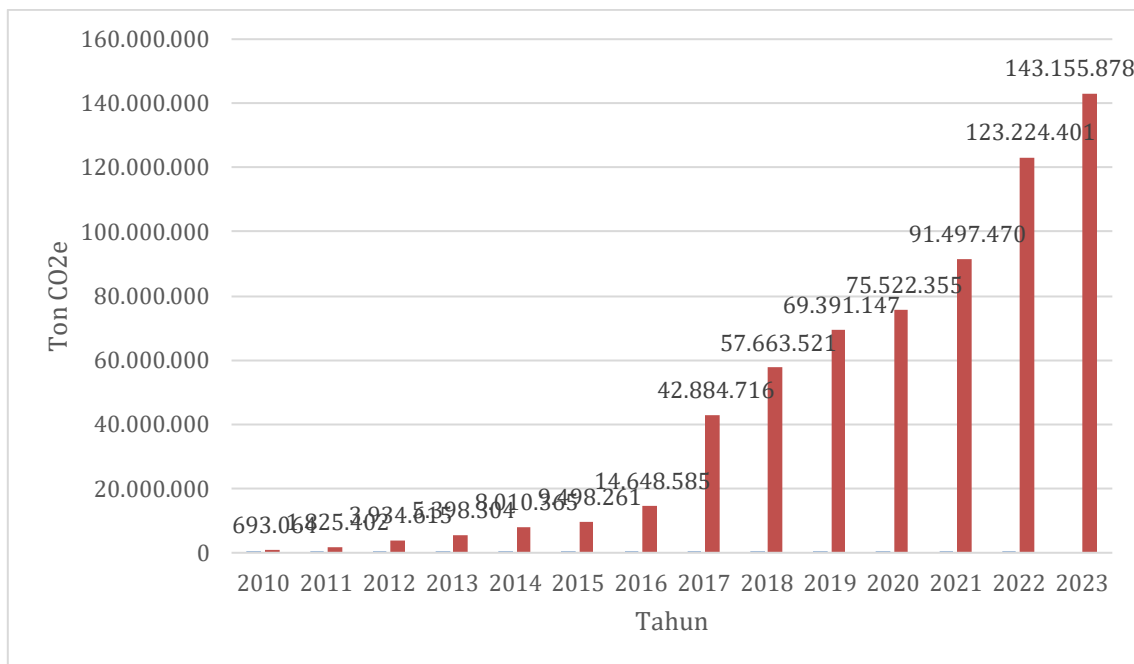
No	Aksi Mitigasi	Capaian Pengurangan Emisi GRK (ton CO ₂ e)	
		2022	2023
1	Pemanfaatan Bahan Bakar Alternatif dan Pemanfaatan Energi di Industri Semen	7.823.938	3.698.619
	Total (ton CO ₂ e)	7.823.938	3.698.619

Tabel 5.5 Capaian Pengurangan Emisi GRK Subsektor Transportasi Tahun 2023

No	Aksi Mitigasi	Capaian Pengurangan Emisi GRK (ton CO ₂ e)	
		2022	2023
SUBSEKTOR TRANSPORTASI DARAT			
1	a. Mendorong Pembinaan dan Pengembangan sistem transit - Bus Rapid Transit (BRT)/ semi BRT	768.533,77	541.946,44
	b. Mendorong Pembinaan dan Pengembangan sistem transit - Bus Rapid Transit (BRT)/ semi BRT dengan skema <i>Buy The service</i>		43.019,98
2	Pemanfaatan Teknologi Lalu Lintas untuk Kelancaran Lalu Lintas di Jalan Nasional / (<i>Area Traffic Control System/ ATCS</i>)	120.826,67	176.494,01
3	Pemanfaatan Solar Cell pada Penerangan Jalan Umum (PJU)	18.727,64	16.959,98
4	Penggunaan Sarana Bantu Navigasi Pelayaran (SBNP) pada TSDP berbasis solar cell	7.586,16	5.156,53
5	Implementasi LDF (<i>Long Distance Ferry</i>)	1.589,23	3.020,63
	TOTAL	917.263,47	786.597,57
SUBSEKTOR PERKERETAAPIAN			
1	Pemanfaatan Jalur Ganda Lintas Jawa & KA Lintas Sumatera		
	a. KA Penumpang	740.051,96	995.878,51
	b. KA Barang	1.019.269,57	1.033.087,04
2	Pemanfaatan KA Bandara :		

No	Aksi Mitigasi	Capaian Pengurangan Emisi GRK (ton CO ₂ e)	
		2022	2023
	a. KA Bandara Soekarno Hatta	6.854,49	9.629,76
	b. KA Bandara Kualanamu	0,00	1.776,92
	c. KA Bandara YIA	2.499,29	11.135,82
	d. KA Bandara Adi Soemarmo	0,00	0,00
	e. KA Bandara Minangkabau Ekspres	0,00	86,44
3	Pemanfaatan KRL Perkotaan Jabodetabek	242.689,23	546.869,27
4	Pemanfaatan KRL Yogyakarta-Solo	12.602,68	15.914,95
5	Pemanfaatan MRT dan LRT (Palembang & Jakarta)	0,00	9.793,07
	TOTAL	2.023.967,22	2.624.171,78
SUBSEKTOR PERHUBUNGAN LAUT			
1	Pemanfaatan Teknologi Solar Cell pada Sarana Bantu Navigasi Pelayaran (SBNP)	1.883,89	1.740,64
2	Modernisasi Kapal (Pemanfaatan Kapal Navigasi & KPLP Baru)	215.027,67	121.674,14
3	Efisiensi Manajemen Operasional Pelabuhan (Pemanfaatan Shore Connection)	454,86	231,55
4	Elektrifikasi Peralatan Pelabuhan	8.427,09	1.736,13
5	Pemanfaatan PLTS, PJU dan LED di Pelabuhan	10.825,34	719,94
	TOTAL	236.618,85	126.102,40
SUBSEKTOR UDARA			
1	Peremajaan Angkutan Udara	169.387,65	154.260,14
2	Navigasi Penerbangan:		
	Performanced Based Navigation (PBN) RNAV 2	0,00	124.527,00
	PBN SID/STAR/IAP	0,00	283.079,00
	UPR	0,00	4.271,00
3	Pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan	3.215,00	
	Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya/ Solar Panel		30.076,77
	Pemanfaatan Solar cell untuk Penerangan Jalan		3.405,73
4	Penggunaan lampu <i>Light Emitting Diode</i> (LED) untuk penerangan bandar udara dan rambu navigasi penerbangan	3.640,00	3.486,31
5	Penghijauan Lingkungan Bandar Udara	0,00	0
	TOTAL	176.242,65	541.946,44
	TOTAL	3.354.092,19	4.139.977,70

Capaian pengurangan emisi GRK sektor energi tahun 2010 – 2023, sebagaimana terlihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5. 1 Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2010 – 2023

5.2.2 Sektor IPPU

Menurut dokumen *Enhanced NDC*, target pengurangan emisi CM1 tahun 2030 dari sektor IPPU adalah sebesar 7 juta ton CO₂e (0,2%). Pengurangan emisi dari rencana/kegiatan aksi mitigasi pada sektor IPPU dihitung oleh Kementerian Perindustrian selaku penanggung jawab aksi mitigasi pada sektor IPPU. Aksi mitigasi yang akan dihitung pengurangan emisinya adalah:

1. Penurunan rasio *clinker* di industri semen, dan
2. Pengurangan emisi di industri pupuk.

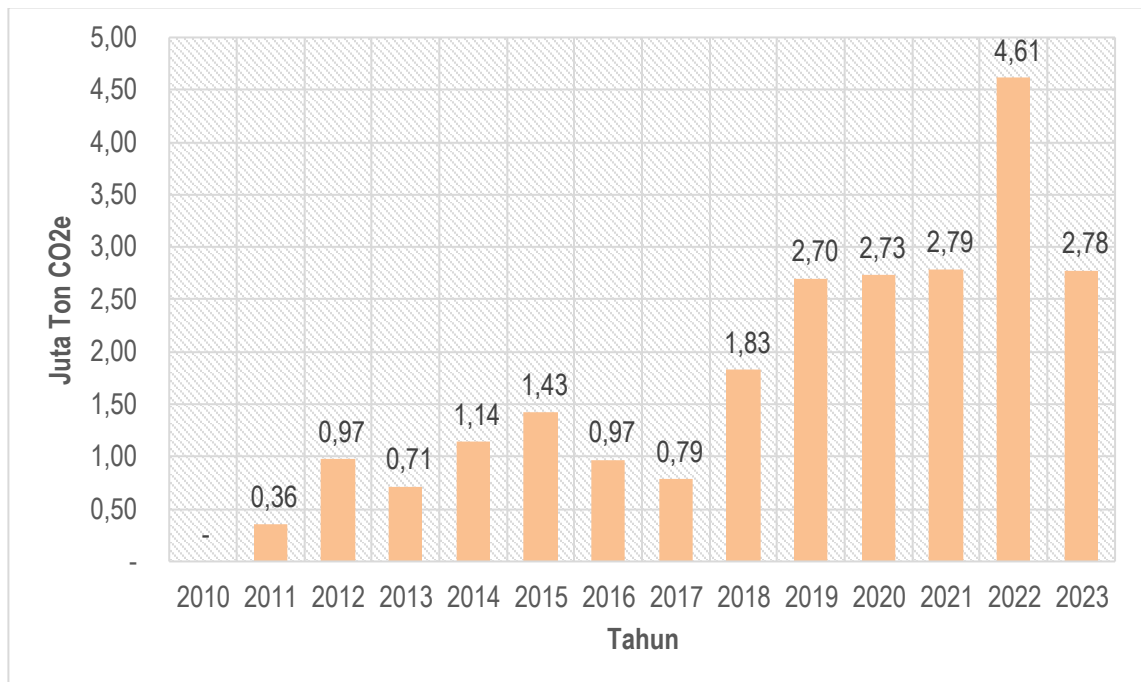
Kementerian Perindustrian telah melakukan pengumpulan data dan perhitungan aksi mitigasi di industri semen dan pupuk, namun pada tahun kegiatan 2023 ini hanya mendapatkan data dari industri semen. Berdasarkan proses verifikasi yang dilakukan, perhitungan pengurangan emisi GRK pada industri semen dapat ditingkatkan menjadi lebih representatif dengan memperhitungkan produksi semen ekspor.

Tabel 5. 6 Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor IPPU Tahun 2023

No	Aksi Mitigasi	Capaian Pengurangan Emisi GRK (ton CO ₂ e)	
		2022	2023 (sementara)
1	Penurunan Rasio Clinker di Industri Semen	2.613.272	2.778.335
2	Penurunan Rasio Clinker di Industri Pupuk	2.000.123	0
	TOTAL	4.613.395	2.778.335

Keterangan: *) Masih dalam proses penghitungan

Capaian pengurangan emisi GRK Sektor IPPU terhitung dari tahun 2010 – 2023, dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5. 2 Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor IPPU Tahun 2010 – 2023

5.2.3 Sektor Pertanian

Sejak tahun 2010 sampai 2018 Kementerian Pertanian melaporkan 3 (tiga) aksi mitigasi yaitu:

1. Penerapan teknologi budidaya tanaman (SLPTT, STI, Varietas Rendah Emisi).
2. Pemanfaatan pupuk organik dan biopestisida (UPPO).
3. Pemanfaatan kotoran/urin ternak dan limbah pertanian untuk biogas (BATAMAS).

Kementerian Pertanian dalam pertemuan yang diadakan di Semarang pada tanggal 7 - 8 Oktober 2024 menyampaikan Laporan Inventarisasi GRK dan Aksi Mitigasi GRK Sektor Pertanian Tahun 2023 menyebutkan bahwa aksi mitigasi yang dilakukan oleh Kementerian Pertanian sebagai berikut:

1. Mitigasi emisi CH_4 melalui pemanfaatan biogas kotoran ternak (BATAMAS);
2. Peningkatan cadangan karbon tanah melalui penggunaan pupuk organik sebagai dampak penggunaan UPPO dan pengelolaan bahan organik;
3. Desa Organik;

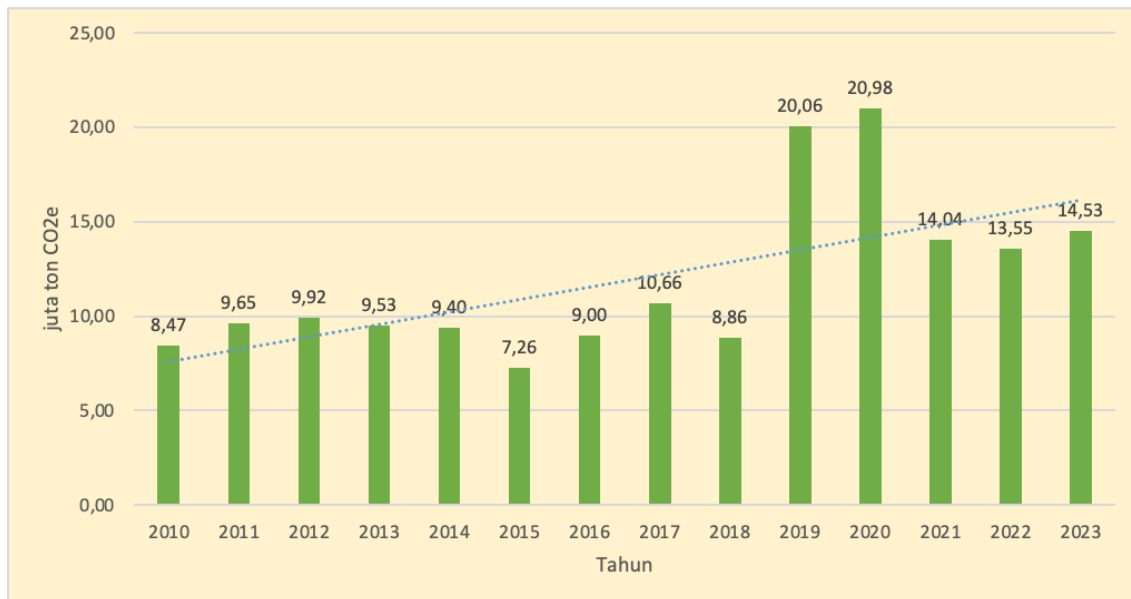
4. Penanaman padi varietas rendah emisi (Mitigasi emisi CH₄ dari pengelolaan lahan sawah melalui pengaturan rezim air dan varietas padi);
5. Perbaikan kualitas pakan;
6. Pemupukan berimbang;
7. Pengelolaan muka air tanah (MAT) lahan gambut;
8. C-stock penanaman tanaman buah tahunan.

Kementerian Pertanian melaporkan capaian pengurangan emisi total Tahun 2023 sebesar 14,53 juta ton CO₂e. Pengurangan emisi Tahun 2023 terbesar berasal dari aksi penanaman padi varietas rendah emisi sebesar 3,50 juta ton CO₂e, yaitu dari luas sebaran varietas rendah emisi sebesar 2.271.117 Ha.

Data aktivitas dari Aksi Mitigasi yang dilaporkan Kementerian Pertanian pada Tahun 2023 sebagaimana Tabel 5.7

Tabel 5. 7 Data Aktivitas Sektor Pertanian Tahun 2010 – 2023

[illegible]



Gambar 5.3 Capaian Pengurangan Emisi GRK Kementerian Pertanian Tahun 2010 - 2023

Kementerian Pertanian menyampaikan aksi mitigasi baru yaitu C-Stock Penanaman Tanaman Buah Tahunan sebesar 2,512 Juta ton CO₂e yang berasal dari:

- Cadangan karbon buah tahunan metode *Gain and Loss* Tahun 2006 – 2023 sebesar 2,512 Juta ton CO₂e;
- Cadangan karbon buah tahunan metode *Gain and Loss* Tahun 2023 belum tersedia.

Enhanced NDC Indonesia Tahun 2022 dalam lampirannya menyampaikan bahwa aksi mitigasi yang diasumsikan menyumbang pengurangan emisi terhadap *baseline* berasal dari aksi:

- Mitigasi dari penggunaan varietas rendah emisi dalam penanaman padi di sawah. Luas lahan yang menggunakan varietas rendah emisi menjadi 902.000 Ha di Tahun 2030;
- Mitigasi efisiensi penggenangan air di penanaman padi sawah. Target penggunaan luas lahan menjadi 2.583.000 Ha di Tahun 2030;
- Mitigasi penggunaan pupuk organik sebagai konversi pupuk anorganik menjadi 1.287.000 ton di Tahun 2030;
- Mitigasi manajemen *manure* untuk *biodigester*. Manajemen *manure* menggunakan jumlah ternak sebesar 166.000 ekor di Tahun 2030;

- e. Mitigasi *feed supplement* untuk ternak. *Feed supplement* digunakan terhadap 6.942.000 ruminan di Tahun 2030.

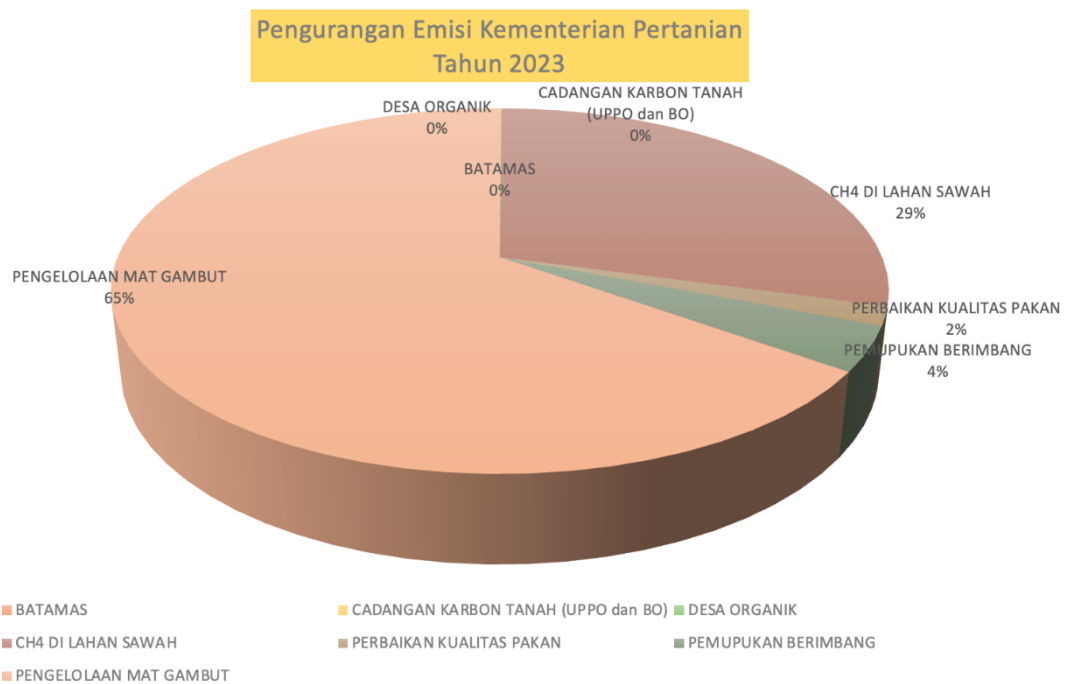
Dalam laporan mitigasi dari Kementerian Pertanian, terdapat aksi mitigasi yang berasal dari non-ENDC, antara lain mitigasi pengelolaan muka air tanah di lahan gambut dan c-stock penanaman tanaman buah tahunan. Aksi mitigasi ini termasuk aksi mitigasi dalam kelompok kehutanan dan penggunaan lahan lainnya.

Aksi Mitigasi Pengaturan Air dan Varietas Padi untuk Mitigasi CH₄ dari Lahan Sawah sejak tahun 2018 hanya melaporkan data yang berasal dari Varietas Rendah Emisi. Aksi SLPTT (Sekolah Lapang Pengelolaan Tanaman Terpadu) dan SRI (*System of Rice Intensification*) sudah tidak dilaporkan karena data aksi ini sudah tidak ditemukan di Kementerian Pertanian. Aksi mitigasi Desa Organik mulai dilaporkan sejak tahun 2018, sedangkan aksi mitigasi perbaikan kualitas pakan, pemupukan berimbang dan pengelolaan MAT gambut mulai dilaporkan sejak tahun 2019.

Tim verifikasi melakukan *review* dengan teliti terhadap dokumen laporan mitigasi tahun 2023 beserta dokumen yang berhubungan dengan laporan tersebut, yaitu:

- a. Laporan Inventarisasi GRK dan Aksi Mitigasi Sektor Pertanian Tahun 2023 yang disampaikan melalui pertemuan di tanggal 7 - 8 Oktober 2024;
- b. Buku Metode Perhitungan Mitigasi Emisi dan Serapan Gas Rumah Kaca Sektor Pertanian yang diterbitkan oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Jakarta diterbitkan tahun 2020

Metode verifikasi dilakukan secara *review* dokumen, wawancara dan pertemuan *Focused Group Discussion* sebanyak 2 (dua) kali. Pengurangan Emisi Total Sektor Pertanian Tahun 2023 disajikan pada Gambar 5.4.



Gambar 5. 4 Pengurangan Emisi Total Sektor Pertanian Tahun 2023

Tabel 5. 8 Capaian Pengurangan Emisi Aksi Mitigasi Kementerian Pertanian Tahun 2010 – 2023

No.	Aksi Mitigasi	Pengurangan Emisi (Juta ton CO ₂ e)													
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
1.	BATAMAS	0,040	0,040	0,050	0,050	0,050	0,010	0,010	0,010	0,000	0,103	0,006	0,007	0,004	0,002
2.	UPPO + subsidi pupuk organik	0,130	0,260	0,420	0,440	0,430	0,410	0,410	0,400	0,410	0,010	0,006	0,011	0,082	0,005
3.	Desa Organik	-	-	-	-	-	-	-	-	0,008	0,004	0,001	0,003	0,003	0,005
4.	CH ₄ di Lahan Sawah (SLPTT, SRI, VRE)	8,310	9,340	9,450	9,040	8,920	6,780	8,580	10,250	8,440	11,893	12,698	5,624	5,030	3,504
5.	Perbaikan Kualitas Pakan Sapi Perah	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,014	0,057	0,085	0,112	0,201
6.	Pemupukan Berimbang	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,209	0,385	0,483	0,492	0,473
7.	Pengelolaan MAT Lahan Gambut	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,831	7,831	7,831	7,831	7,831
8.	C-stock Penanaman Tanaman Buah Tahunan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,063	2,512
	Total	8,470	9,650	9,920	9,530	9,400	7,260	9,000	10,660	8,860	20,063	20,983	14,043	15,617	14,533

5.2.3 Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

Sebagai bagian dari upaya pemantauan upaya pencapaian target NDC pada sektor Kehutanan dan penggunaan lahan lainnya, Direktorat Mitigasi Perubahan Iklim telah menyampaikan laporan capaian aksi mitigasi sektor kehutanan Tahun 2023 melalui Nota Dinas Direktur Mitigasi Perubahan Iklim Nomor: ND.326/MPI/PPM/PPI.2.2/B/09/2024 tanggal 24 September 2023 perihal penyampaian laporan pengurangan emisi GRK sektor kehutanan tahun 2023. Selanjutnya berdasarkan laporan pengurangan emisi GRK tersebut serta hasil inventarisasi GRK sektor kehutanan tahun 2023 dilakukan proses verifikasi oleh Tim MRV dengan dukungan pakar/ahli melalui serangkaian tahapan diskusi. Proses verifikasi tersebut meliputi *desk review* berdasarkan kesepakatan terhadap kriteria dan metodologi yang disepakati. *Desk review* dilakukan dengan mengkaji data aktivitas, metodologi dan didukung oleh klarifikasi dari sumber atau pengampu data aktivitas.

Berbeda dengan sektor lain, pelaporan pelaksanaan mitigasi perubahan iklim pada sektor FOLU dilakukan terhadap kelompok/kategori aksi, bukan pada aktivitas atau kegiatan. Kelompok aksi pengurangan emisi GRK dan/atau peningkatan serapan GRK sektor FOLU dalam strategi pencapaian target NDC, meliputi:

1. Penurunan deforestasi (<0,45 - 0,325 MHa/tahun di 2030)
2. Peningkatan penerapan prinsip pengelolaan hutan berkelanjutan, baik di hutan alam (penurunan degradasi hutan) maupun di hutan tanaman
3. Rehabilitasi 12 juta Ha lahan terdegradasi pada tahun 2030 atau 800.000 ha/tahun dengan tingkat kesuksesan sebesar 90%
4. Restorasi lahan gambut seluas 2 juta Ha pada tahun 2030 dengan tingkat kesuksesan sebesar 90%
5. Pengendalian *peat fire* (kebakaran gambut)

Proses verifikasi yang diawali dengan desk review dilakukan dengan mencermati hasil pemantauan mitigasi dengan tingkat emisi aktual setelah mitigasi yang ditampilkan pada tingkat emisi (inventarisasi GRK). Berdasarkan kajian ini diperoleh nilai capaian mitigasi sektor FOLU yang terverifikasi pada tahun 2023 (data aktivitas tahun 2023) memiliki nilai pengurangan emisi GRK dan/atau serapan GRK sebesar **452.275.791 ton CO₂e**.

Tabel 5. 9 Definisi Kondisi Baseline yang Disepakati

No	Kelompok Aksi Mitigasi	Kategori berdasarkan Roadmap NDC	Kategori berdasarkan Inventarisasi GRK	Nilai baseline (ton CO ₂ e)
1	Penurunan deforestasi	Deforestasi	Perubahan kelas hutan menjadi non hutan (Forest to non forest), namun tidak termasuk perubahan dari hutan menjadi hutan tanaman	270.163.740
2	Penurunan degradasi hutan	Wood harvesting, secondary forest	Kelas hutan tetap sebagai kelas hutan (forest remaining forest)	57.264.283
3	Rehabilitasi Hutan dan Lahan (Peningkatan serapan karbon)	Afforestasi (Aff/Rff), Timber plantation	Perubahan kelas tutupan lahan lain menjadi hutan (Land to forest)	(217.278.402)*
4	Pengurangan emisi dekomposisi gambut	Peat	Peat	373.928.545
5	Pengendalian kebakaran gambut	Peat fire	Peat fire	240.030.446
	Total baseline sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya (ton CO ₂ e)			724.108.613

Ket: *= serapan

Berikut adalah catatan penting hasil *desk review* :

1. Penggunaan faktor emisi yang menggunakan nilai rujukan pada FRL.
2. Mengingat klasifikasi yang digunakan saat penyusunan roadmap NDC menggunakan definisi aksi mitigasi, maka perlu penyesuaian/sinkronisasi kondisi *baseline* yang disepakati dalam penggunaan data untuk penghitungan. Definisi tersebut dideskripsikan pada Tabel 5.9.

Tabel 5.10 Capaian Mitigasi Terverifikasi Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya Tahun 2023

No	Kelompok Aksi Mitigasi	Baseline ENDC (Ton)	Emisi/Serapan Aktual (Data Inventory) Ton	Mitigasi_NDC (Ton)
1	Penurunan Deforestasi	270.163.740	61.204.527	208.959.213
2	Penurunan Degradasi Hutan	57.264.283	14.093.279	43.171.004
3	Rehabilitasi Hutan dan Lahan (Melalui Peningkatan Serapan Karbon)*	(217.278.402)	(333.021.789)	115.743.388
4	Pengurangan Emisi Dekomposisi Gambut	373.928.545	443.402.788	- 69.474.242
5	Pengendalian Kebakaran Gambut	240.030.446	86.154.018	153.876.428
	TOTAL	724.108.613	271.832.823	452.275.791

Keterangan: *= serapan GRK

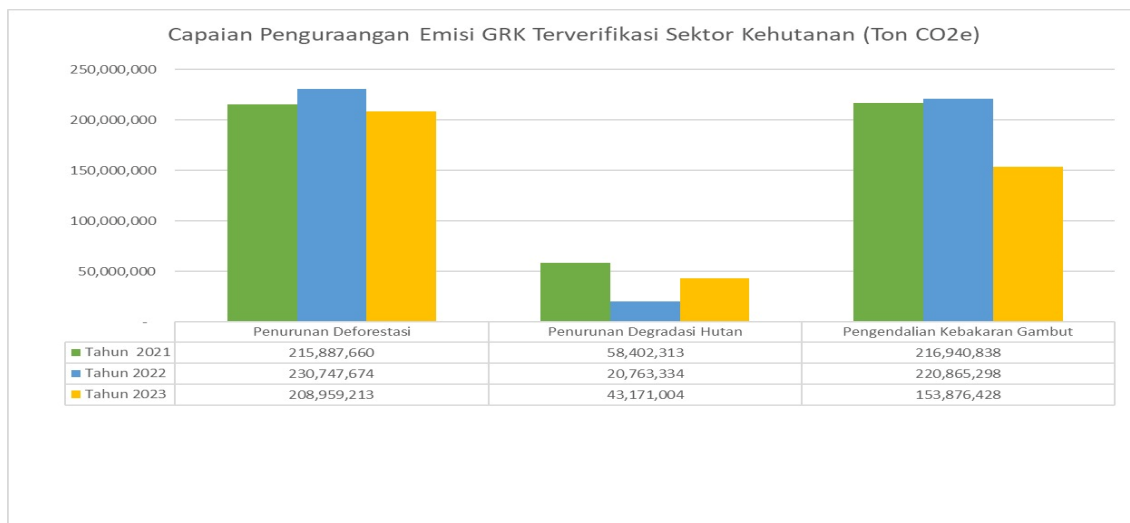
Berdasarkan capaian tersebut dapat disimpulkan bahwa capaian mitigasi pada sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya di tahun 2023 secara total mengalami penurunan dari capaian tahun sebelumnya (Tabel 5.10)

Tabel 5.11 Tren Capaian Mitigasi Terverifikasi Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya Tahun 2022 dan 2023

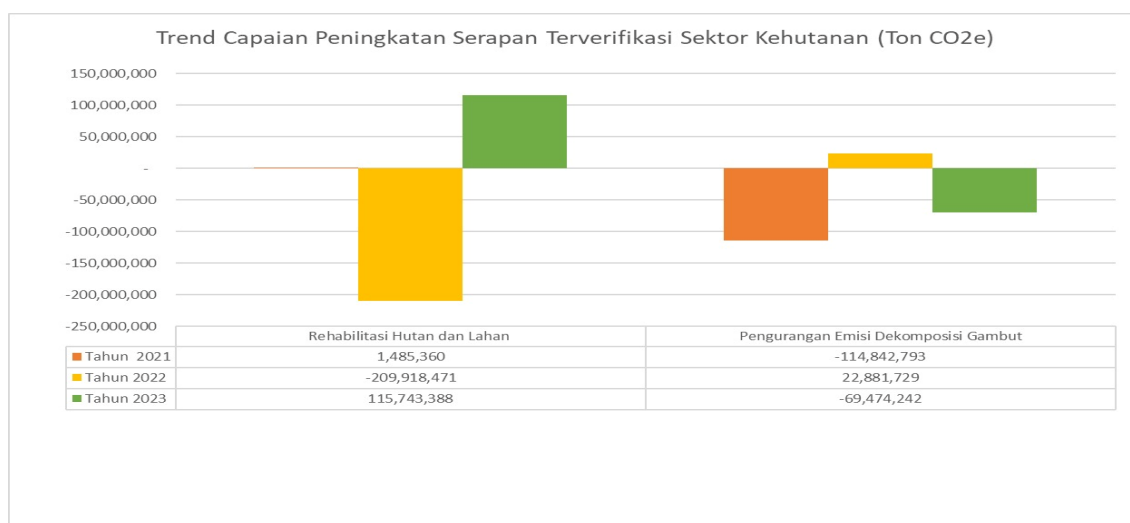
No	Kelompok Aksi Mitigasi	Capaian Mitigasi Terverifikasi Tahun 2022 (ton CO ₂ e)	Capaian Mitigasi Terverifikasi Tahun 2023 (ton CO ₂ e)
1	Penurunan Deforestasi	230.747.673,57	208.959.212,70
2	Penurunan Degradasi Hutan	20.763.334,35	43.171.004,41
3	Rehabilitasi Hutan dan Lahan	(209.918.470,98)*	115.743.387,89
4	Pengurangan Emisi Dekomposisi Gambut	22.881.729,08	- 69.474.242,32
5	Pengendalian Kebakaran Gambut	220.865.297,51	153.876.428,05
	Total capaian	285.339.563,52	452.275.790,73

Kenaikan capaian mitigasi terjadi pada 2 (dua) kelompok aksi, yaitu pada pengendalian penurunan degradasi dan upaya pengendalian kebakaran gambut. Dari kedua kelompok aksi tersebut, kenaikan signifikan terjadi pada capaian dari

upaya pengendalian kebakaran gambut. Kondisi tren dari masing – masing capaian dari kelompok aksi digambarkan pada Gambar 5.5 dan Gambar 5.6.



Gambar 5.5 Penggunaan Emisi Tahun 2021, 2022, dan 2023



Gambar 5.6 Peningkatan Serapan Tahun 2021, 2022, dan 2023

5.2.4 Sektor Limbah

Pengurangan emisi GRK sektor limbah diperoleh dari pelaksanaan aksi mitigasi pada 4 (empat) kategori subsektor, yaitu pengelolaan limbah domestik (padat dan cair) dan pengelolaan limbah industri (padat dan cair). Kegiatan pengurangan emisi GRK dalam proses pengelolaan limbah tersebut secara spesifik dikelompokkan sebagai kegiatan penghindaran emisi GRK (*GHG avoidance*) yaitu melakukan kegiatan pencegahan terbentuknya GRK; dan kegiatan pengurangan emisi GRK (*GHG reduction*) dengan melakukan pengurangan sumber emisi GRK.

Beberapa catatan penting terkait dengan capaian pengurangan emisi GRK tahun 2023 yakni:

1. Penghitungan pengurangan emisi GRK dari sub-sektor limbah padat domestik dilakukan oleh Direktorat Penanganan Sampah. Adapun data aksi mitigasi sub sektor limbah padat domestik disupport melalui data SIPSN. Seperti tahun sebelumnya, laporan pengurangan emisi GRK yang dilaporkan hanya mencakup kegiatan-kegiatan yang dapat dimonitor oleh KLHK.
2. Metodologi penghitungan tingkat emisi *baseline* maupun tingkat emisi setelah mitigasi merujuk *Tier-1* atau *Tier-2 IPCC Guidelines 2006*:

a. Pengolahan Limbah Padat Domestik (Sampah)

Tingkat emisi GRK pengolahan sampah di TPA dihitung menggunakan pendekatan *First Order Decay (FOD)*. Penghitungan tingkat emisi GRK pengolahan sampah di TPA dapat dikategorikan sebagai *Tier-2 IPCC Guidelines 2006*, dimana data jumlah sampah yang ditimbun di *landfill* telah menggunakan data yang terinput pada SIPSN sedangkan data komposisi dan kandungan *dry matter content* telah menggunakan data karakteristik sampah yang merupakan data nasional. Data timbunan sampah, data sampah dikomposkan, dan sampah 3R kertas, PLTSa dan RDF menggunakan data SIPSN.

b. Pengolahan Limbah Cair Domestik

Aksi mitigasi pada IPAL domestik yang dilaporkan pada tahun 2023 mencakup mitigasi pada IPAL domestik yang merupakan data Direktorat Sanitasi Kementerian PUPR. Metodologi penghitungan tingkat emisi GRK merujuk *Tier-1 IPCC Guidelines 2006*, dimana semua parameter untuk penghitungan menggunakan *default value* IPCC sedangkan data aktivitas menggunakan hasil pengukuran ditingkat unit (tiap-tiap IPAL domestik)

c. Pengolahan Limbah Padat Industri

Pada tahun ini data capaian pengurangan GRK sub sektor limbah Industri diperoleh dari data *Proper. Update* data aksi mitigasi yang terlaporkan pada kegiatan pengolahan limbah padat industri di tahun 2023 meliputi industri yang memiliki proses *pulping*, *sludge* ditimbun di *landfill* dan aksi mitigasinya pemanfaatan *sludge* sebagai kompos.

d. Pengolahan Limbah Cair Industri

Aksi mitigasi pada limbah cair industri yang dilaporkan hanya mencakup mitigasi pada IPAL industri *Vegetable, fruits and Juices*. Data biogas IPAL Tahu (Direktorat Pengendalian Pencemaran Air, KLHK) di input dalam pemanfaatan gas metan di Industri *Vegetable, fruits and Juices* dan data pemanfaatan CH₄ (gas metana) dari Industri Paper berdasarkan Laporan Keberlanjutan APP.

3. Penghitungan total capaian pengurangan emisi GRK dari seluruh aksi mitigasi dilakukan dengan menghitung selisih tingkat emisi *baseline* aksi

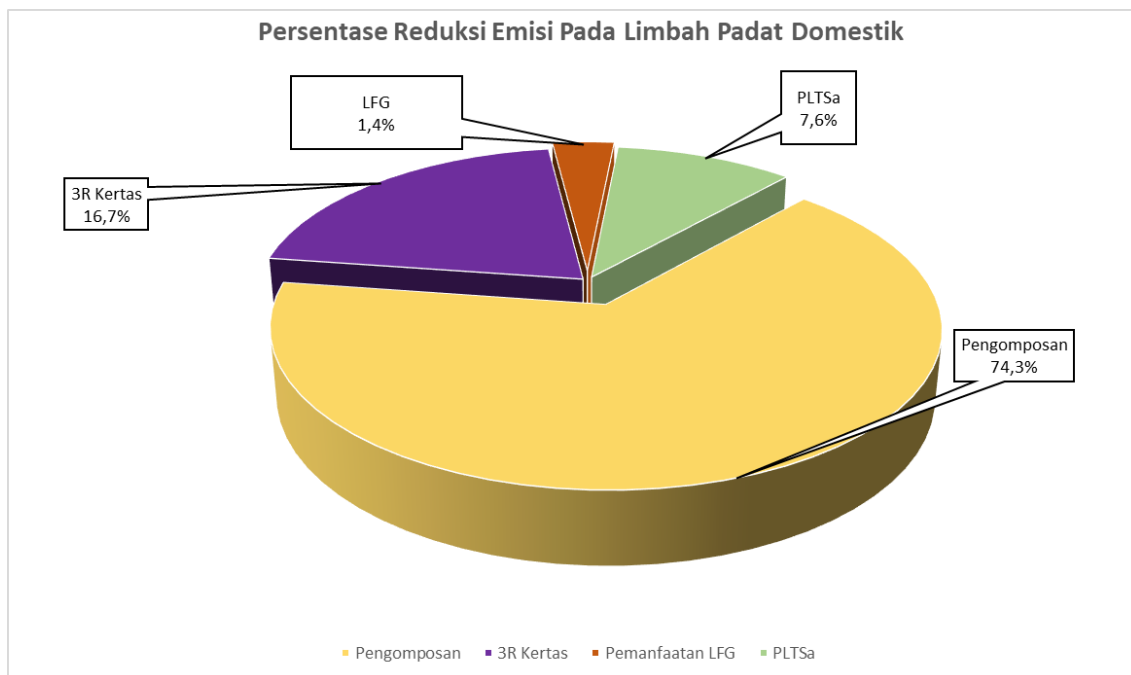
mitigasi dengan tingkat emisi GRK setelah mitigasi dari semua aksi diimplementasikan.

Aksi mitigasi yang dipantau pada sektor limbah tidak berbeda dari tahun sebelumnya. Capaian pengurangan emisi GRK pada sektor limbah yang telah terverifikasi secara ringkas disajikan pada Tabel 5.11.

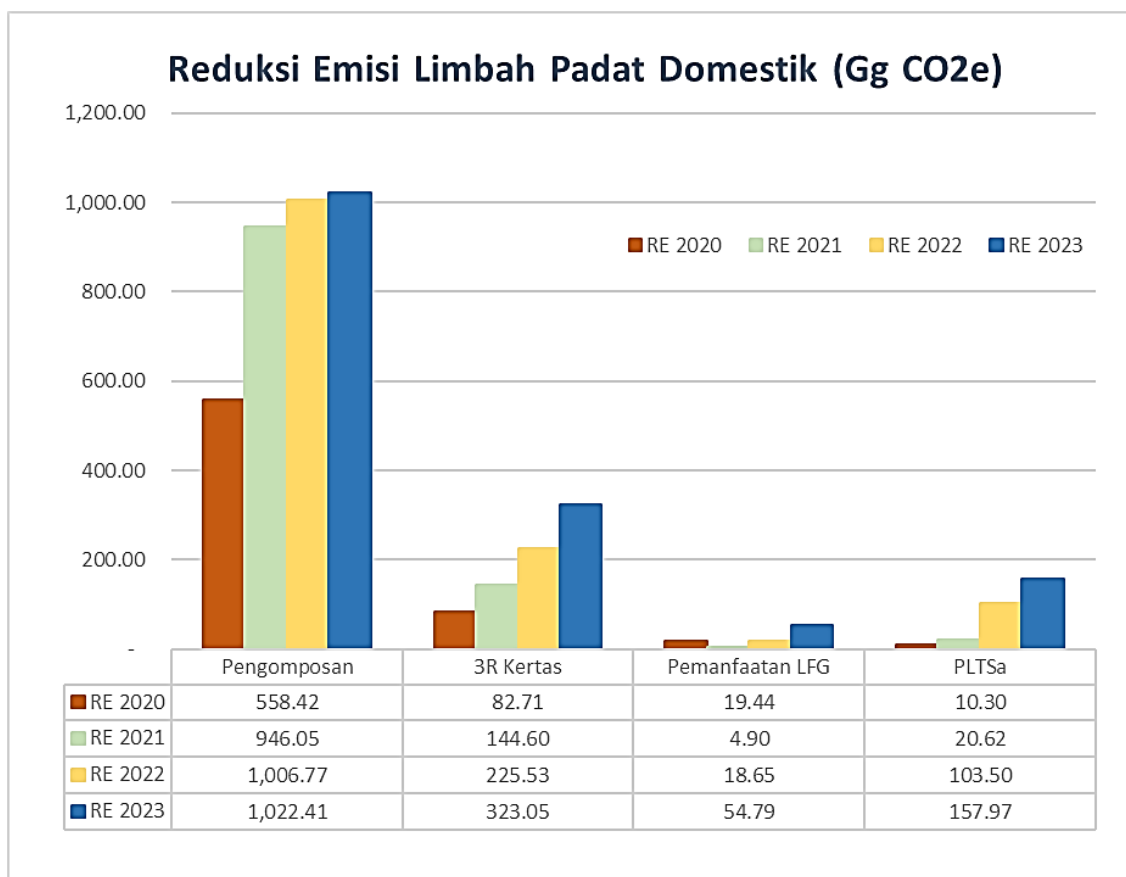
Tabel 5.12 Capaian Pengurangan Emisi GRK pada Sektor Limbah yang Telah Terverifikasi Tahun 2023

<i>Aksi Mitigasi</i>	<i>Baseline (Ton CO₂e)</i>	<i>RE Terverifikasi 2023 (Ton CO₂e)</i>
<i>Pengomposan</i>	46.890.030	1.022.410
<i>3R Kertas</i>		323.050
<i>Pemanfaatan LFG</i>		54.790
<i>PLTSa</i>		157.970
<i>IPAL Terpadu</i>	25.948.170	237.170
<i>Penggunaan Biodigester</i>		3.920
<i>IPLT</i>		7.350
<i>Penggunaan IPAL Statistik</i>		62.550
<i>CH₄ Recovery</i>	65.638.310	5.930
<i>Sludge IPAL dan Limbah Padat</i>	278.640	3.850
Total		1.878.990

Pada tabel tersebut di atas tampak bahwa pengurangan emisi dari pengolahan limbah padat domestik bersumber dari aksi mitigasi pengomposan, pemanfaatan gas methan dalam pembangkit listrik dan bahan bakar di rumah tangga, aksi PLTSa dan 3R kertas. Terjadi peningkatan capaian pengurangan emisi sub sektor limbah padat domestik dari tahun 2022 (Gambar 5.7). Perbaikan dokumentasi pada data aktivitas merupakan salah satu alasan terlaporkannya jumlah pengurangan emisi pada sub sektor limbah padat domestik. Adapun proporsi capaian pengurangan emisi dari aksi mitigasi pada limbah padat domestik disajikan pada Gambar 5.6.

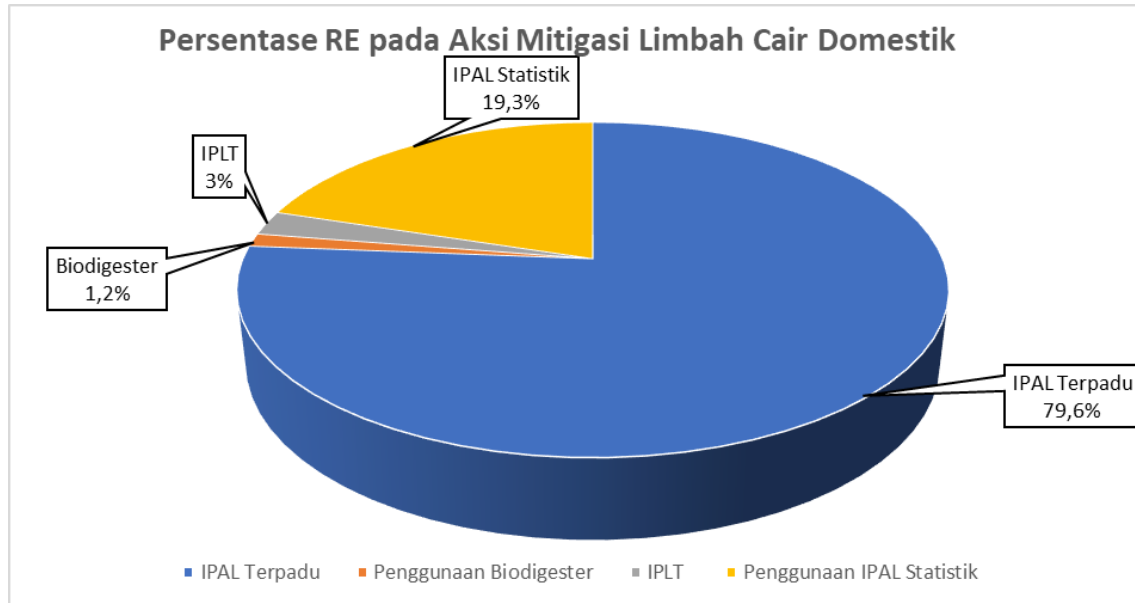


Gambar 5. 7 Proporsi Pengurangan Emisi pada Pengolahan Limbah Padat Domestik



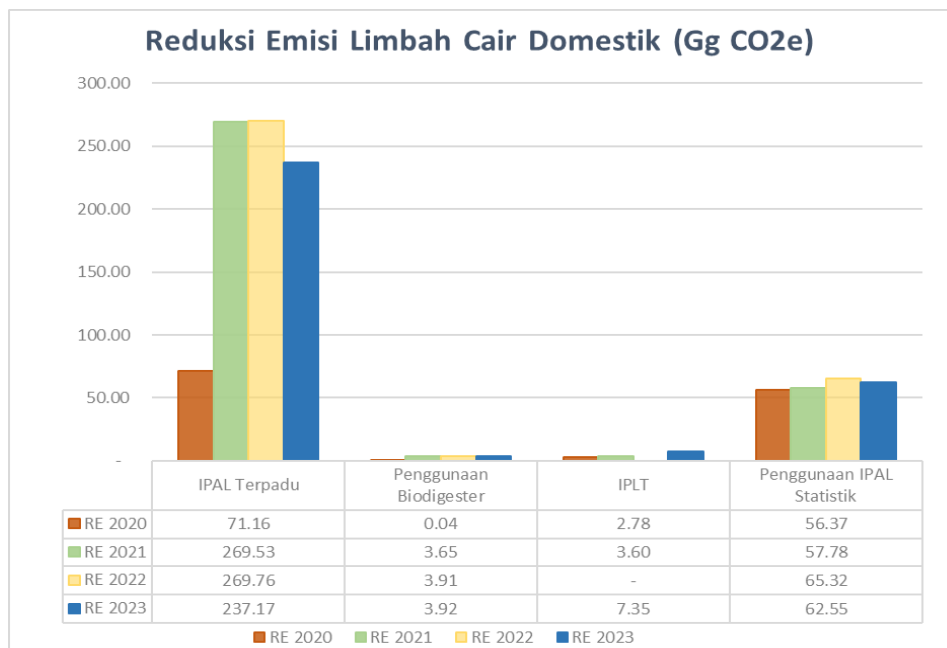
Gambar 5. 8 Perbandingan Reduksi Emisi (RE) Sub Sektor Limbah Padat Domestik Tahun 2021 – 2023

Pengukuran emisi pada pengolahan limbah cair domestik berupa pemanfaatan Biodigester dilengkapi Pemanfaatan Biogas, IPAL terpadu, IPLT, dan IPAL Statistik. Proporsi Capaian Pengurangan emisi dari aksi mitigasi pada limbah cair domestik disajikan pada Gambar 5.8.



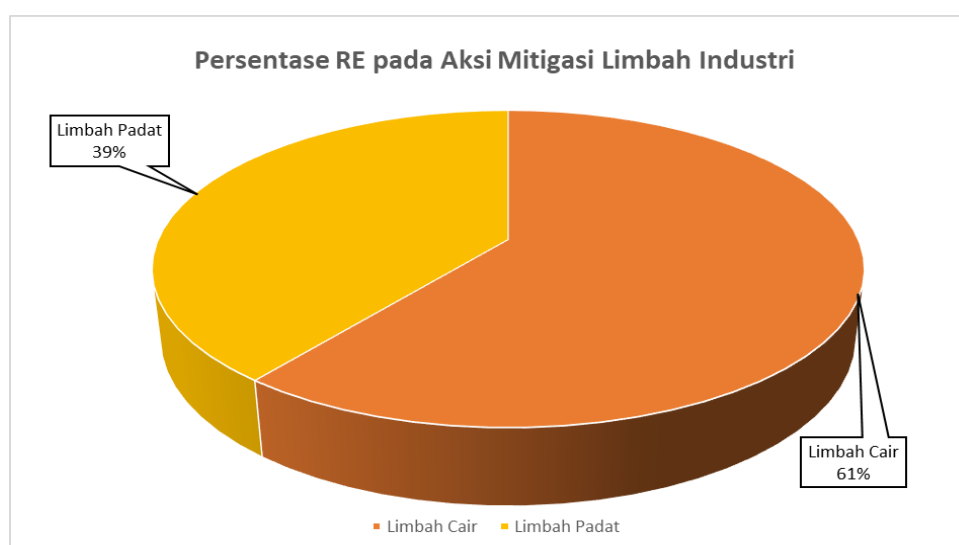
Gambar 5. 9 Proporsi Pengurangan Emisi pada Pengolahan Limbah Cair Domestik

Pada kegiatan pengelolaan limbah cair domestik, peningkatan dari angka pengurangan emisi GRK terjadi di kegiatan pengolahan limbah dengan biodigester dan IPLT, dan Penggunaan IPAL Statistik (Gambar 5.9).

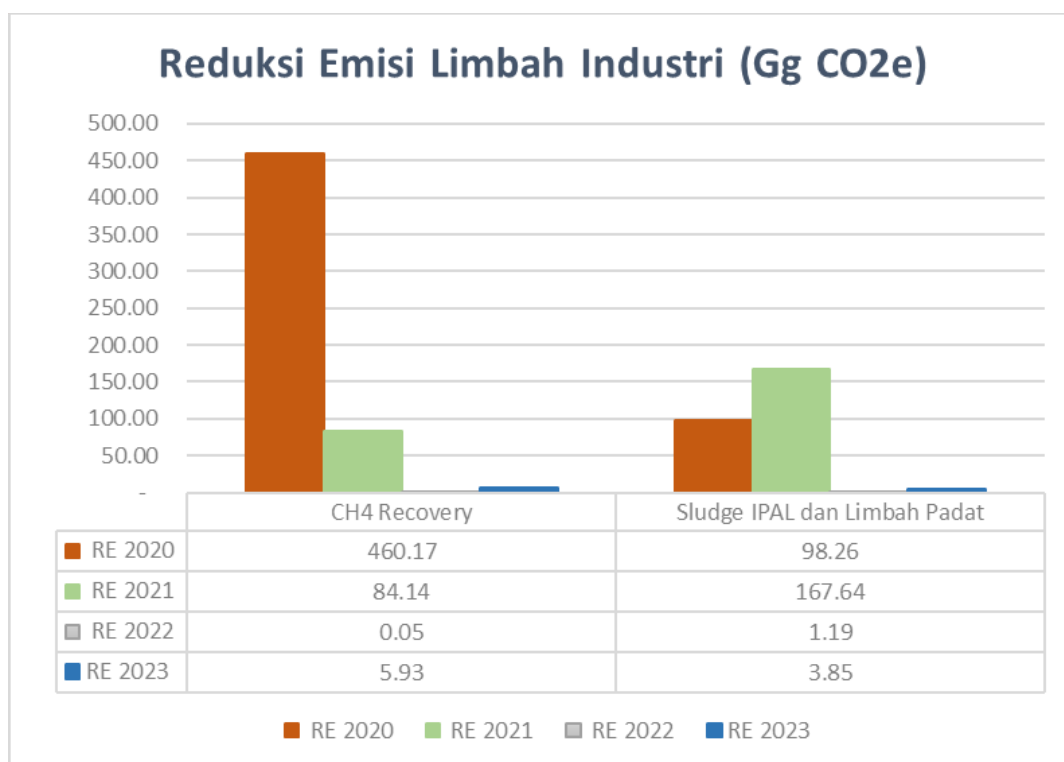


Gambar 5.10 Perbandingan Reduksi Emisi (RE) Biodigester dan IPAL Statistik Tahun 2020 - 2023

Pada limbah industri, capaian pengurangan emisi di tahun 2023 mengalami peningkatan dari tahun sebelumnya. Hal tersebut diakibatkan data aksi mitigasi sub sektor limbah cair industri didukung pelaporan dari industri "vegetable, fruits, juices" dan industri "paper". Adapun aksi mitigasi pada limbah cair industri berupa pemanfaatan gas CH₄. Sedangkan data sub sektor limbah padat industri disupport data mitigasi yang diperoleh dari PROPER. Capaian Pengurangan emisi dari aksi mitigasi pada limbah industri disajikan pada Gambar 5.10.



Gambar 5.11 Proporsi Pengurangan Emisi Pada Pengolahan Limbah Industri



Gambar 5.12 Perbandingan Reduksi Emisi (RE) Limbah Industri Tahun 2021 – 2023

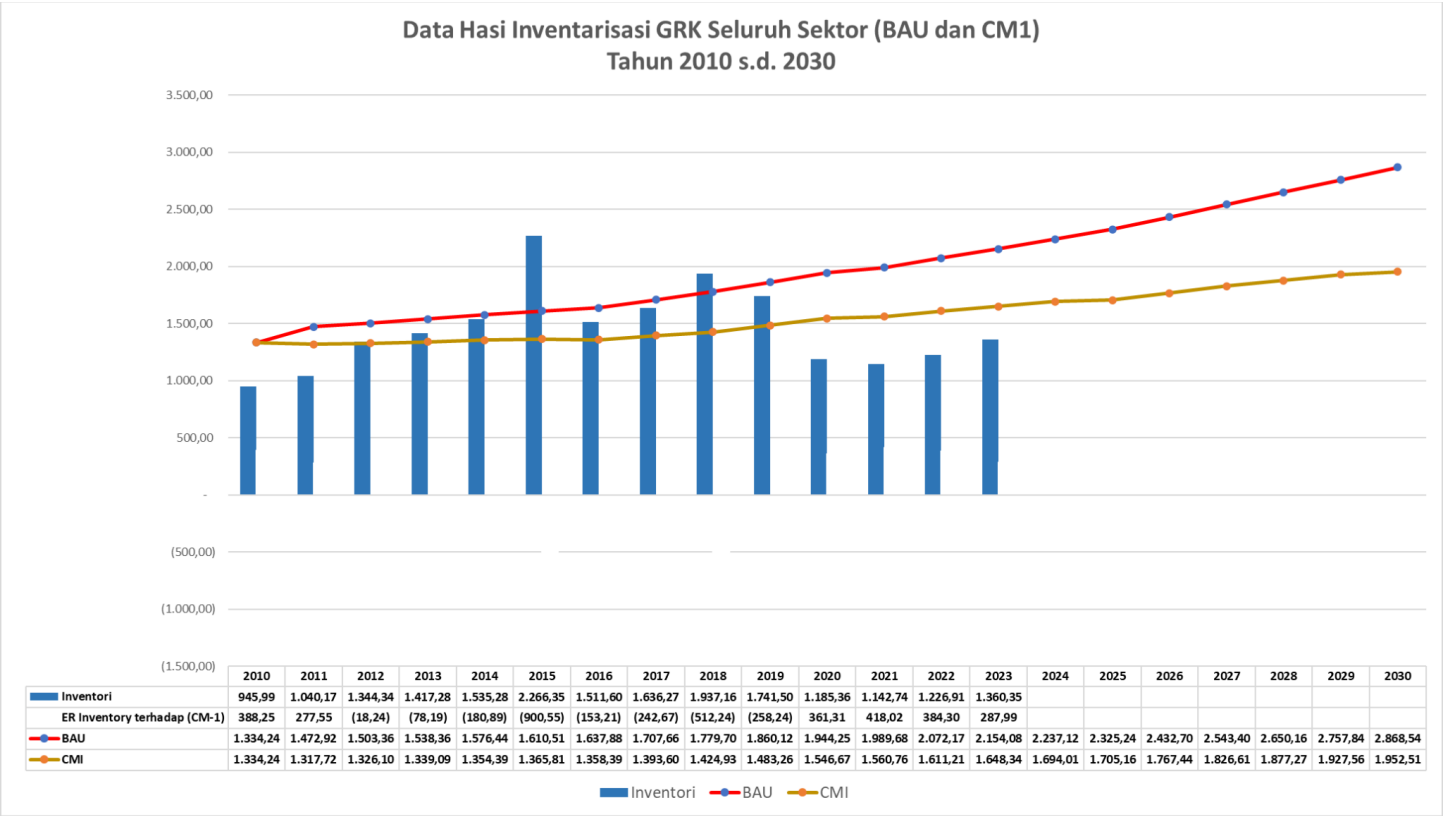
5.3 Profil Capaian Pengurangan Emisi GRK Nasional Terhadap Target *Nationally Determined Contribution* (NDC)

5.3.1 Capaian Pengurangan Emisi GRK Nasional

Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) merupakan kunci untuk pengukuran capaian target *Nationally Determined Contribution* (NDC). Untuk menjamin integritas tinggi dan akuntabilitas publik, proses inventarisasi emisi GRK dan penghitungan pengurangan emisi GRK harus memenuhi kriteria transparansi, akurasi, konsistensi, lengkap, dan komparabel (*Transparent, Accurate, Consistent, Complete, and Comparable/TACCC*), yang telah disepakati dalam Perjanjian Paris.

Hasil Inventarisasi GRK tahun 2010 – 2023 dan proyeksi skenario *Business as Usual* (BAU) dan *Counter Measures 1* (CM1) oleh Ditjen Pengendalian Perubahan Iklim, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan ditampilkan pada grafik berikut. CM 1 adalah target pengurangan emisi GRK dengan kemampuan domestik Indonesia. Hasil inventarisasi GRK dibandingkan dengan emisi BAU dan target pengurangan emisi GRK menurut skenario CM1 sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 5.12.

Gambar 5. 13 Profil Capaian Pengurangan Emisi GRK Nasional Terhadap Target Pengurangan Emisi GRK Nasional (2010-2023) terhadap BAU dan CM 1



Tabel 5.14 Profil Capaian Pengurangan Emisi GRK Nasional Terhadap Target Pengurangan Emisi GRK pada CM1 di Tahun 2010 – 2023

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Baseline (BAU) - Juta tCO ₂ e	1.334,24	1.472,92	1.503,36	1.538,36	1.576,44	1.610,51	1.637,88	1.707,66	1.779,70	1.860,12	1.944,25	1.989,68	2.072,17	2.154,08
CM 1 - Juta tCO ₂ e	1.334,24	1.317,72	1.326,10	1.339,09	1.354,39	1.365,81	1.358,39	1.393,60	1.424,93	1.483,26	1.546,67	1.560,76	1.611,21	1.648,34
ER CM 1 - Juta tCO ₂ e	-	155,20	177,26	199,27	222,05		79,50	314,06	354,77	376,87	397,57	428,92	460,96	505,74
ER CM 1 - %	-	10,54	11,79	12,95	14,09		17,06	18,39	19,93	20,26	20,45	21,56	22,25	23,48
Hasil Inventory - Juta tCO ₂ e	945,99	1.040,17	1.344,34	1.417,28	1.535,28	2.266,35	1.511,60	1.636,27	1.937,16	1.741,50	1.185,36	1.142,74	1.226,91	1.360,35
ER Inventory terhadap CM-1	388,25	277,55	(18,24)	(78,19)	(180,89)	(900,55)	(153,21)	(242,67)	(512,24)	(258,24)	361,31	418,02	384,30	287,99

Berdasarkan Tabel 5. 12 Profil Capaian Pengurangan Emisi GRK Nasional Terhadap Target Pengurangan Emisi GRK pada CM1 di Tahun 2010 – 2023, tingkat emisi GRK pada periode 2012 – 2019 berada pada kondisi DEFISIT jika dibandingkan dengan target CM1, sedangkan pada periode tahun 2020 – 2023 tingkat emisi GRK berada pada kondisi SURPLUS apabila dibandingkan dengan target CM1 pada periode waktu tersebut.

Berdasarkan penghitungan indikatif, emisi GRK nasional tahun 2023 secara agregat dari sektor FOLU (*Forestry and Other Land Use*), Energi, Pertanian, Industri dan Limbah adalah sebesar 1.360,35 juta ton CO₂e. Capaian reduksi emisi GRK tahun 2023 adalah sebesar 287,99 juta ton CO₂e dari skenario CM1 tahun 2023. BMKG mencatat bahwa pada tahun 2023 efek El-Nino lebih tinggi dibandingkan dengan El-Nino tahun 2019. Namun demikian, KLHK mencatat kinerja upaya pengendalian kebakaran hutan dan lahan meningkat dengan turunnya akumulasi luas karhutla sebesar ± 442.489,19 Ha, yaitu berkurang 30,80% dibandingkan tahun 2019. Dimana, dalam konteks inventarisasi GRK, angka emisi GRK untuk kategori *peat fire*, pada tahun 2023 turun sebesar 62,12% dibandingkan tahun 2019.

KLHK mengapresiasi para mitra K/L dan segenap *stakeholders* atas capaian pengurangan emisi GRK secara konsisten sejak 2020, dan Indonesia mencatat SURPLUS dibandingkan target CM1 pada periode waktu tersebut. Indonesia “*right on the track*” mencapai target NDC menjadi modalitas yang kuat bagi Indonesia untuk hadir di COP 29 UNFCCC di Baku, Azerbaijan dan konsisten membawa semangat kepemimpinan global dan “*leading by example*”.

5.3.2 Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor

Dokumen NDC telah menetapkan target *unconditional* (CM1) sebesar 31.89% dan target *conditional* (CM2) sebesar 43.20% dibandingkan skenario *business as usual* (BAU) di tahun 2030. Untuk pencapaian target CM1 sendiri telah diuraikan proporsi kontribusi lima sektor dalam upaya pengurangan emisi GRK, yang terdiri dari sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya sebesar 17,4%, sektor energi sebesar 12.5%, sektor pertanian sebesar 0,30%, sektor *Industrial Process and Product Use* (IPPU) sebesar 0,20%, dan sektor limbah sebesar 1,5%, sebagaimana tercantum pada Tabel 5.13.

Tabel 5.14 Target *Nationally Determined Contribution* (NDC) Tahun 2030

Sector	GHG Emission Level 2010* (MTon CO ₂ e)	GHG Emission Level 2030			GHG Emission Reduction				Annual Average Growth BAU (2010-2030)	Average Growth 2000-2012
		MTon CO ₂ e			MTon CO ₂ e		% of Total BAU			
		BAU	CM1	CM2	CM1	CM2	CM1	CM2		
1. Energy*	453,2	1.669	1.311	1.223	358	446	12,5%	15,5%	6,7%	4,50%
2. Waste	88	296	256	253	40	43.5	1,4%	1,5%	6,3%	4,00%
3. IPPU	36	69,6	63	61	7	9	0,2%	0,3%	3,4%	0,10%
4. Agriculture**	110,5	119,6 6	110	108	10	12	0,3%	0,4%	0,4%	1,30%
5. Forestry and Other Land Uses (FOLU)***	647	714	214	-15	500	729	17,4%	25,4%	0,5%	2,70%
TOTAL	1.334	2.869	1.953	1.632	915	1.240	31,89%	43,20%	3,9%	3,20%

Notes: CM1= Counter Measure 1 (unconditional mitigation scenario)
CM2= Counter Measure 2 (conditional mitigation scenario)

*) Including fugitive.
**) including emission from estate crops plantations

Untuk tahun 2023, capaian pengurangan emisi GRK untuk sektor energi, IPPU, limbah, pertanian, dan kehutanan dan penggunaan lahan lainnya dibandingkan dengan emisi CM 1 dan emisi aktual hasil Inventarisasi GRK sebagaimana terlihat pada Tabel 5.14.

Tabel 5.15 Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektoral Terhadap Emisi CM 1 di Tahun 2023

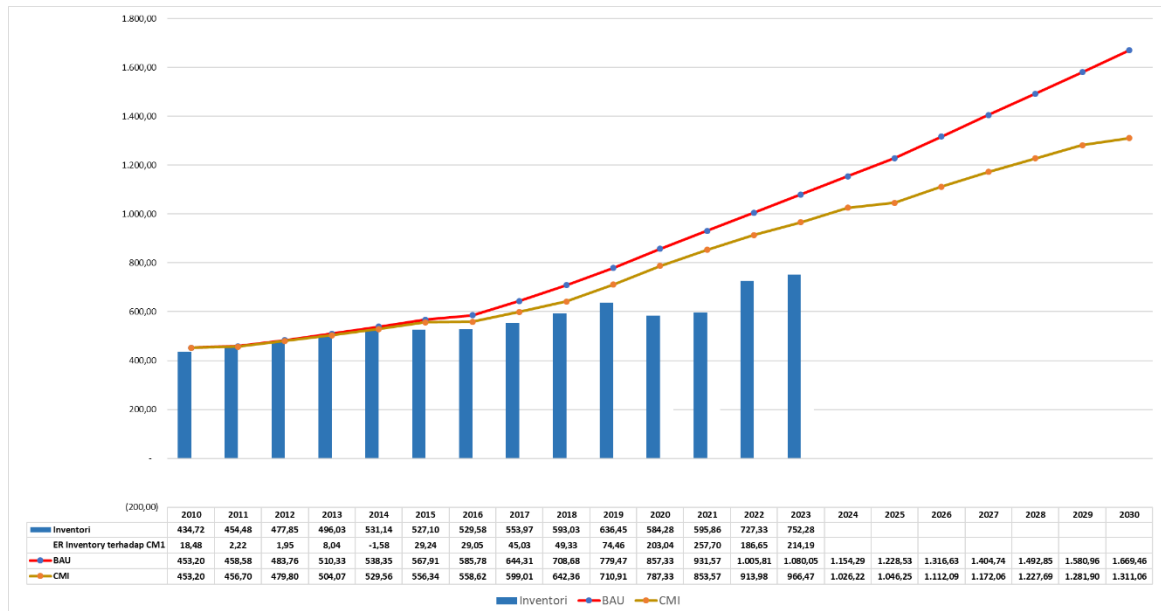
	Energi	IPPU	Pertanian	Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya	Limbah	Total (5 Sektor)
Baseline (BAU) - Juta tCO ₂ e	1.080,05	63,94	115,94	724,11	170,05	2.154,08
CM 1 - Juta tCO ₂ e	966,47	57,84	110,81	349,68	163,54	1.648,34
Hasil Inventory - Juta tCO ₂ e	752,28	59,85	104,98	306,90	136,34	1.360,35
ER Inventory terhadap (CM-1)	214,19	-2,01	5,83	42,78	27,20	287,99

Dari tabel 5.14 diketahui bahwa capaian pengurangan emisi GRK untuk sektor IPPU masih berada pada kondisi DEFISIT, namun apabila dilihat secara agregat maka capaian pengurangan emisi GRK dibandingkan target CM1 untuk 5 sektor menunjukkan hasil yang berada pada kondisi SURPLUS.

5.3.2.1 Sektor Energi

Tren emisi sektor Energi selama periode tahun 2010 – 2023 terus mengalami kenaikan dengan tingkat pertumbuhan sebesar 3,7% per tahun dari

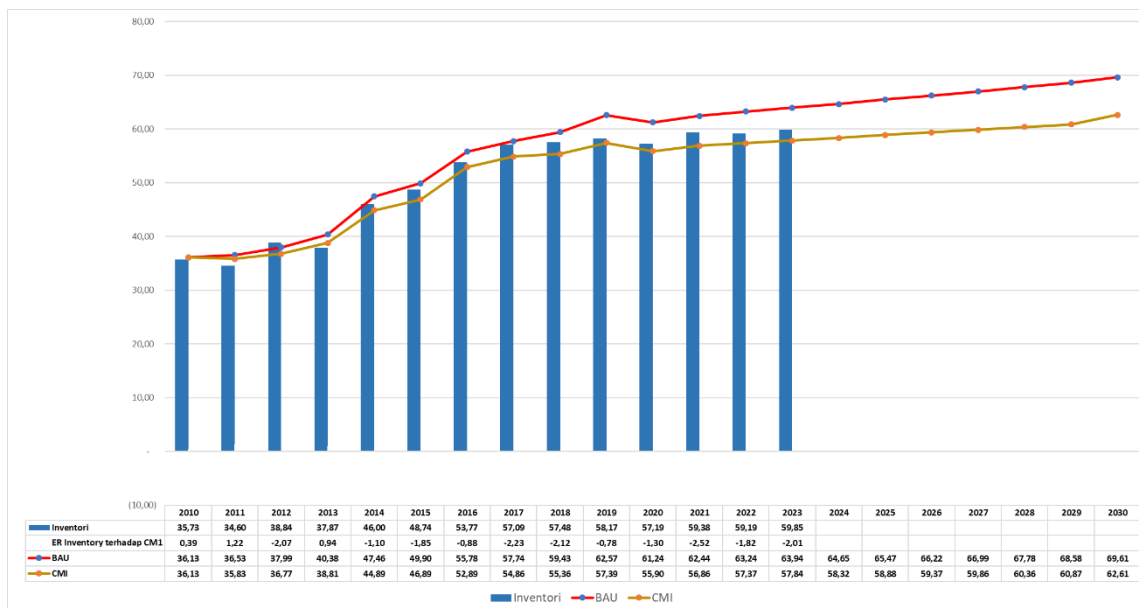
434,72 juta ton CO₂e pada tahun 2010 menjadi 752,28 juta ton CO₂e pada tahun 2023. Namun apabila dibandingkan dengan target CM1, kondisi SURPLUS mulai ditunjukkan pada tahun 2015 sampai dengan 2023. Pada Gambar 5. 13 Capaian reduksi emisi GRK tahun 2023 sektor energi dengan target CM1 adalah sebesar 214,19 juta ton CO₂e.



Gambar 5.15 Perbandingan Hasil Inventarisasi GRK terhadap CM1 Sektor Energi Tahun 2010-2023

5.3.2.2 Sektor IPPU

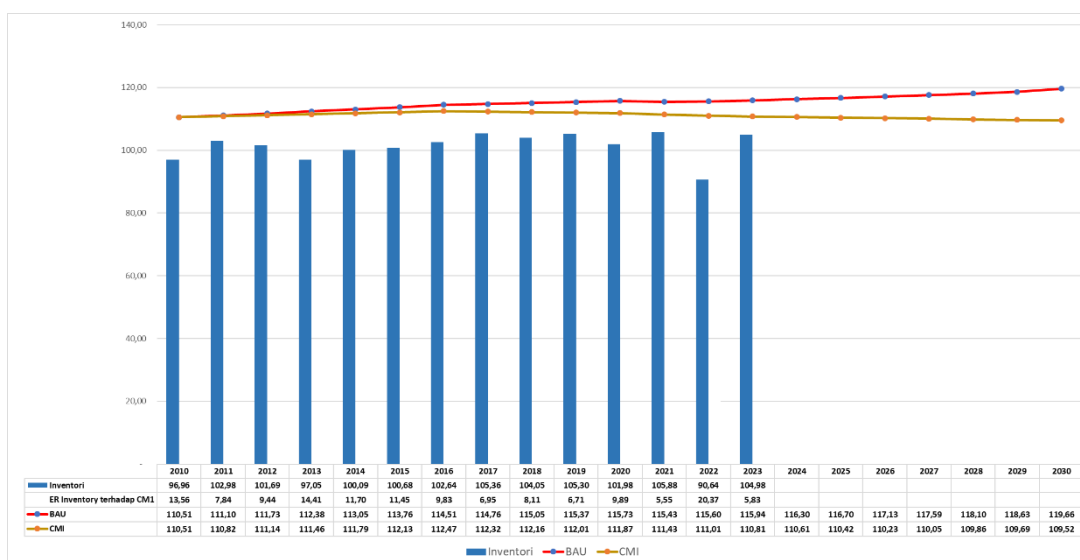
Tren Emisi sektor IPPU pada periode 2010 – 2023 menunjukkan kenaikan dengan tingkat pertumbuhan sebesar 4,3% per tahun, yaitu dari 35,73 juta Ton CO₂e pada tahun 2010 menjadi 59,85 juta Ton CO₂e pada tahun 2023, Namun apabila dibandingkan dengan target CM1, Tingkat emisi sektor IPPU berada pada kondisi DEFISIT. Gambar 5.14 menunjukkan capaian reduksi emisi GRK tahun 2023 sektor IPPU adalah terjadi defisit reduksi emisi sebesar 2,01 juta ton CO₂e .



Gambar 5.16 Perbandingan Hasil Inventarisasi GRK terhadap CM1 Sektor IPPU Tahun 2010-2023

5.3.2.3 Sektor Pertanian

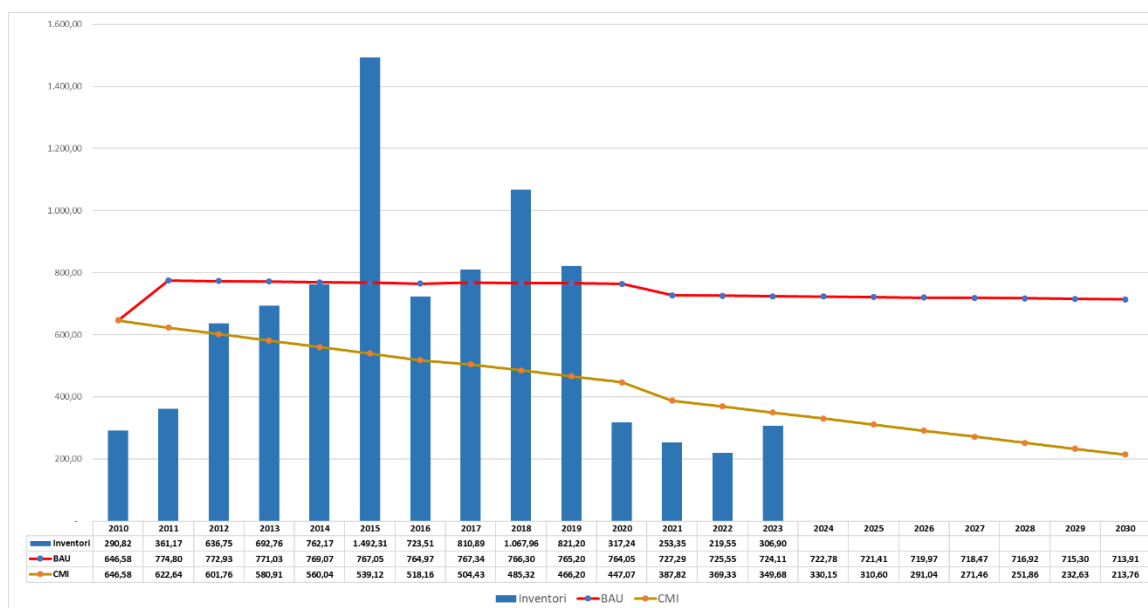
Tren Emisi sektor Pertanian pada periode 2010 – 2023 menunjukkan kenaikan dengan tingkat pertumbuhan sebesar 0,17% per tahun, yaitu dari 96,96 juta Ton CO₂e pada tahun 2010 menjadi 104,98 juta Ton CO₂e pada tahun 2023. Apabila dibandingkan dengan target CM1, Tingkat emisi sektor Pertanian berada pada kondisi SURPLUS. Gambar 5.15 menunjukkan capaian reduksi emisi GRK tahun 2023 sektor Pertanian adalah sebesar 5,83 juta ton CO₂e.



Gambar 5.17 Perbandingan Hasil Inventarisasi GRK terhadap CM 1 Sektor Pertanian Tahun 2010-2023

5.3.2.4 Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

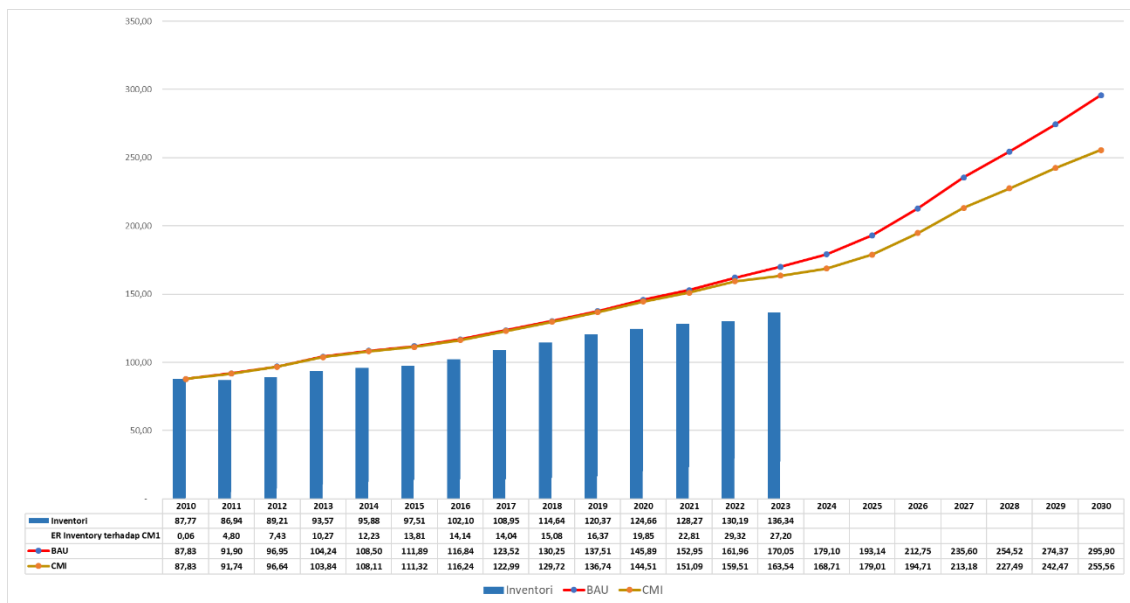
Tren Emisi sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya pada periode 2010 – 2023 menunjukkan kenaikan dengan tingkat pertumbuhan sebesar -2,92% (penurunan/menyerap) per tahun, yaitu dari 290,82 juta Ton CO₂e pada tahun 2010 menjadi 306,90 juta Ton CO₂e pada tahun 2023. Apabila dibandingkan dengan target CM1, Tingkat emisi sektor Penggunaan Lahan Lainnya berada pada kondisi SURPLUS. Gambar 5.16 menunjukkan capaian reduksi emisi GRK tahun 2023 sektor Penggunaan Lahan Lainnya adalah sebesar 42,78 juta ton CO₂e.



Gambar 5.18 Perbandingan Hasil Inventarisasi GRK terhadap CM1 Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya Tahun 2010-2023

5.3.2.5 Sektor Limbah

Tren Emisi sektor limbah pada periode 2010 – 2023 menunjukkan kenaikan dengan tingkat pertumbuhan sebesar 3,77% per tahun, yaitu dari 87,77 juta Ton CO₂e pada tahun 2010 menjadi 136,34 juta Ton CO₂e pada tahun 2023. Apabila dibandingkan dengan target CM1, Tingkat emisi sektor limbah berada pada kondisi SURPLUS. Gambar 5.17 menunjukkan capaian reduksi emisi GRK tahun 2023 sektor limbah adalah sebesar 27,20 juta ton CO₂e.



Gambar 5.19 Perbandingan Hasil Inventarisasi GRK terhadap CM1 Sektor Limbah Tahun 2010-2023



BAB VI PENUTUP

BAB VI. PENUTUP

Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV) merupakan gambaran hasil kegiatan Direktorat Inventarisasi GRK dan MPV pada tahun 2023. Laporan ini memuat hasil inventarisasi GRK sebagai profil emisi GRK nasional, capaian pengurangan emisi dari aksi mitigasi yang dilakukan oleh pelaksana aksi, profil capaian komitmen target NDC Indonesia yang membandingkan antara CM1 dan hasil inventarisasi GRK.

Hasil analisis perhitungan indikatif emisi GRK dari data inventarisasi GRK dan capaian pengurangan emisi GRK secara nasional pada tahun 2023, menunjukkan emisi GRK aktual sebesar 1.360,35 Juta ton CO₂e dengan capaian pengurangan emisi GRK Nasional menurut skenario CM1 sebesar 287,99 Juta ton CO₂e. Tingkat emisi GRK tahun 2023 menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan, namun masih berada pada kondisi surplus apabila dibandingkan dengan target CM1 pada periode waktu tersebut. Salah satu penyebab tingkat emisi pada kondisi surplus ialah angka emisi GRK untuk kategori *peat fire* tahun 2023 turun sebesar 62,12% dibandingkan tahun 2019.

Laporan ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi profil emisi GRK sehingga dapat menjadi kontrol terhadap progres capaian NDC, serta *monitoring* dan evaluasi progres implementasi NDC menuju pencapaian komitmen target pengurangan emisi di tingkat nasional maupun global.

DAFTAR PUSTAKA

BAPPENAS. (2010). *Policy scenarios of reducing carbon emission from Indonesia's peatland*. National Development Planning Agency. UK-Aid and British Council. Jakarta.

Dahlan, E. (2010). *Trembesi Dahulunya Asing Namun Sekarang Tidak Lagi*. Bogor: IPB Press.

FAO. *Global Fuel Wood Data*. <http://faostat3.fao.org>.

Indonesia. (2021). *Updated Nationally Determined Contribution Republic of Indonesia 2021*.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2006). *IPCC-2006 Guidelines for National Green House Gas Inventories: AFOLU*, Volume 4.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2013). *Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands*.

Kementerian Lingkungan Hidup (2010). *Indonesia Second National Communication Under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*. Jakarta.

Kementerian Lingkungan Hidup (2012). *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku I Pedoman Umum*. Jakarta.

Kementerian Lingkungan Hidup (2012). *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku II Volume 3 Pertanian, Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya*. Jakarta.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2016). *Indonesia Third National Communication Under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*. Jakarta.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2022). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 21 Tahun 2022 tentang Tata Laksana Penerapan Nilai Ekonomi Karbon*. Jakarta.

Kementerian Pertanian (2014). *Pemantauan, Evaluasi, dan Pelaporan Pelaksanaan Rencana Aksi Nasional (RAN) Pengurangan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Sektor Pertanian*. Jakarta.

Krisnawati, H., Adinugroho, W.C., Imanuddin, R. and Hutabarat, S. (2014). *Estimation of Forest Biomass for Quantifying CO₂ Emissions in Central Kalimantan: a comprehensive approach in determining forest carbon emission factors*. Research and Development Center for Conservation and Rehabilitation, Forestry Research and Development Agency, Bogor.

Manuri, S., Brack, C., Nugroho, N.P., Hergoualc'h, K., Novita, N., Dotzauer, H., Verchot, L., Putra, C.A.S., & Widyasari. (2014). *Tree biomass equations for tropical peat swamp forest ecosystems in Indonesia*. *For. Ecol. Manage.* 334: 241-253.

Margono B. A., Potapov P. V., Turubanova S., Fred Stolle F., Matthew Hansen C. M. (2014). *Primary forest cover loss in Indonesia over 2000- 2012*. Nature Climate Change 4, 730-735 (2014) doi:10.1038/nclimate2277.

Ministry of Energy and Mineral Resources. (2022). *Handbook of Energy & Economic Statistic of Indonesia*. Jakarta.

Mulyani et al., (2012). *Basis Data Karakteristik Tanah Gambut di Indonesia*. In Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan - 2012. <http://balittanah.litbang.deptan.go.id>.

Murdiyarso, D., Donato, D., Kauffmann, B., Kurnianto, S., Stidham, M. and Kanninen, M. (2009). *Carbon Storage in Mangrove and Peatland Ecosystems: A Preliminary Accounts From Plots in Indonesia*. CIFOR Working Paper 48.

Republik Indonesia. (2020). *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 92 Tahun 2020 tentang Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan*. Jakarta.

Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional*. Jakarta.



ISSN 2830-2923



9

772830

292009

**KEMENTERIAN LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN
DIREKTORAT JENDERAL PENGENDALIAN PERUBAHAN IKLIM
DIT. INVENTARISASI GRK & MPV**

**20
24**



www.ditjenppi.org