



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

ISSN : 2830-2923

LAPORAN INVENTARISASI GAS RUMAH KACA (GRK) DAN MONITORING, PELAPORAN, VERIFIKASI (MPV) 2023

Volume 9, Januari 2024





LAPORAN

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

2023

Volume 9, Januari 2024



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



RINGKASAN EKSEKUTIF

Sebagai bentuk komitmen Pemerintah Indonesia dalam penanganan perubahan iklim global sebagaimana mandat Persetujuan Paris atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai Perubahan Iklim (*Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change*), pada tahun 2021 Indonesia telah menerbitkan kebijakan tentang *Updated NDC* dengan target pengurangan emisi GRK sebesar 29% dengan kemampuan sendiri dan 41% dengan support internasional dan sejalan dengan mandat Decision 1/CMA.3 pada PA tersebut, Pemerintah Indonesia telah menyampaikan *Enhanced NDC* ke Sekretariat UNFCCC dengan target pengurangan emisi sampai dengan 31,89% dengan kemampuan sendiri (*unconditional*) dan 43,20% dengan dukungan internasional (*conditional*). Hal ini sejalan dengan target sebagaimana tertuang dalam *Long Term Low Carbon and Climate Resilience Strategy (LTS-LCCR) 2050* dengan visi menuju net-zero emission pada tahun 2060 atau lebih cepat. Target *conditional* ini akan dicapai melalui pengurangan emisi GRK sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya (17,4%), energi (12,5%), pertanian (0,3%), IPPU (0,2%), dan limbah (1,4%).

Untuk mendorong upaya pencapaian target yang telah ditetapkan tersebut, Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon (NEK) untuk Pencapaian Target NDC dan Pengendalian Emisi GRK dalam Pembangunan Nasional, dan regulasi turunan berupa Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 21 Tahun 2022 tentang Tata Laksana Penerapan Nilai Ekonomi Karbon. Peraturan Menteri LHK Nomor 7 Tahun 2023 tentang Tata Cara Perdagangan Karbon Sektor Kehutanan serta Peraturan Menteri ESDM Nomor 16 Tahun 2022 tentang Tata Cara Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon Subsektor Pembangkit Tenaga Listrik. Sejalan dengan penyelenggaraan NEK, telah diterbitkan juga SK Menteri LHK Nomor: SK.1131/MENLK/PPI/PPI.2/10/2023 tentang Skema Sertifikasi Pengurangan emisi Gas Rumah Kaca Indonesia, yang dapat dijadikan acuan dalam penyelenggaraan NEK.

Sesuai dengan mandat Perpres tersebut dan sejalan dengan mandat artikel 13 *Paris Agreement*, pelaksanaan strategi pencapaian pelaksanaan aksi pengendalian perubahan iklim perlu dimonitor dan dilaporkan dengan menerapkan prinsip TACCC.

Dalam konteks *tracking progress* dan melaporkan pelaksanaan aksi mitigasi perubahan iklim secara ter MRV-able, KLHK berkoordinasi dengan Kementerian/Lembaga terkait mewujudkan penyusunan laporan tahunan Inventarisasi GRK dan Monitoring, Pelaporan dan Evaluasi (IGRK-MPV).

Hasil perhitungan inventarisasi GRK nasional menunjukkan tingkat emisi GRK di tahun 2022 masing-masing kategori/sektor adalah Energi sebesar **727.330 Gg CO₂e (727,33 Juta ton CO₂e)**, Proses Industri dan Penggunaan Produk, sebesar **59.192 Gg CO₂e (59,19 Juta ton CO₂e)**, Pertanian sebesar **90.642 Gg CO₂e (90,64 Juta ton CO₂e)**, Kehutanan dan penggunaan lahan lainnya sebesar **221.367 Gg CO₂e (221,37 Juta ton CO₂e)** dan Limbah sebesar **130.188 Gg CO₂e (130,19 Juta ton CO₂e)**.

Mengacu pada Hasil perhitungan inventarisasi GRK nasional menunjukkan bahwa **Tingkat emisi aktual GRK di tahun 2022 adalah sebesar 1.228.721,13 Gg CO₂e (1.228,72 Juta ton CO₂e)**, dan ini menunjukkan adanya pengurangan emisi dari *baseline*/BAU NDC sebesar **875,74 juta Ton CO₂e** atau sebesar **41,61%**. Total agregat emisi GRK menunjukkan pengurangan dibandingkan tahun sebelumnya sehingga perlu upaya lebih intensif Pemerintah Indonesia dalam menurunkan emisi GRK.

Dari sisi pelaksanaan aksi mitigasi perubahan iklim yang terverifikasi menunjukkan bahwa pada tahun 2021 terjadi pengurangan emisi GRK sebesar **487.902.867 ton CO₂e** (487,90 Juta ton CO₂e). dan pada tahun 2022 dengan **pengurangan emisi GRK sebesar 428.426.052 ton CO₂e** (428,43 Juta ton CO₂e).

Dari total pengurangan emisi GRK sebesar **428.426.052 ton CO₂e** (428,43 juta ton CO₂e) pada tahun 2022, secara terperinci pengurangan emisi GRK terverifikasi di masing-masing kategori/sektor yaitu (1) Energi sebesar **123.224.401 ton CO₂e**, (2) Proses Industri dan Penggunaan Produk sebesar **4.613.395 ton CO₂e**, (3) Pertanian sebesar **13.554.000 ton CO₂e**, (4) Sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya sebesar **285.339.564 ton CO₂e**, dan (5) Limbah sebesar **1.694.692 ton CO₂e**.

Guna peningkatan kualitas pelaporan IGRK dan MPV yang kredibel dengan mengikuti kaidah *Clarity, Transparency, Understanding* (CTU) dan diakui ditingkat internasional, telah dilakukan upaya-upaya perbaikan penyelenggaraan inventarisasi GRK dan MPV yang secara umum adalah sebagai berikut:

1. Penyelenggaraan Inventarisasi GRK
Telah dilakukan proses peningkatan kualitas dalam pengumpulan data, sistem QA/QC, penentuan data aktivitas dan faktor emisi sebagai kategori kunci serta sistem penyimpanan data dan dokumen (*data archiving*) dalam proses inventarisasi GRK sehingga diharapkan dapat menuju *tier* yang lebih tinggi.
2. Penyelenggaraan MPV
Peningkatan kapasitas terhadap penanggung jawab/pelaksana aksi mitigasi/kegiatan dalam hal pengukuran, pelaporan dan verifikasi, sehingga data pengurangan emisi GRK yang dihasilkan akan akurat, transparan dan dapat dipertanggungjawabkan.

SAMBUTAN



Pada tahun 2022, Indonesia melalui Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan selaku *National Focal Point* UNFCCC, telah menyampaikan peningkatan ambisi komitmen pengurangan emisi gas rumah kaca melalui dokumen *Enhanced NDC* (ENDC) Indonesia. ENDC disampaikan untuk memenuhi Keputusan 1/CMA.3 di Glasgow pada Alinea 29, yang mengamanatkan bahwa setiap negara diminta untuk meningkatkan target NDC. Pemutakhiran dalam dokumen ENDC meliputi peningkatan target NDC, perkembangan kebijakan nasional, kebijakan adaptasi perubahan iklim, dan kerangka transparansi.

Selanjutnya sesuai dengan mandat artikel 13 *Paris Agreement*, maka pelaksanaan strategi pencapaian pelaksanaan aksi pengendalian perubahan iklim perlu dimonitor dan dilaporkan dengan menerapkan prinsip TACCC. Kerangka pelaksanaan pemantauan pencapaian target ini disepakati dalam peningkatan kerangka transparansi (*Enhanced Transparency Framework/ETF*) sebagai salah satu media untuk mengontrol pertanggungjawaban setiap negara terhadap implementasi komitmen NDC serta memastikan komitmen *Paris Agreement* dapat diimplementasikan secara efektif. Dalam konteks nasional, kerangka transparansi diterjemahkan melalui Sistem MRV, Sistem Registri Nasional (SRN), dan Sistem Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional (SIGN- SMART).

Ketiga sistem ini berjalan secara sinkron dan hasilnya dilaporkan secara berkala melalui Laporan Inventarisasi GRK dan Monitoring, Pelaporan, dan Verifikasi tahunan. Laporan ini disusun dengan melibatkan setiap pihak penanggung jawab sektor. Laporan ini akan memberikan informasi profil emisi (tingkat, status, dan kecenderungan) serta upaya aksi yang diselenggarakan baik oleh pemerintah, dunia usaha, maupun masyarakat.

Dokumen tahunan ini memuat pula "*tracking progress NDC*" yang memberikan gambaran sejauh mana kinerja pencapaian NDC yang dibuktikan dengan indikator tingkat emisi GRK dan jumlah reduksi emisi yang terverifikasi. Laporan ini selanjutnya akan menjadi bahan masukan bagi pelaporan internasional, yaitu *Biennial Update Report* (BUR)/*Biennial Transparency Report* (BTR) dan *National Communication*.

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang tinggi kepada semua pihak atas kontribusi dalam penyediaan data hingga tersusunnya Laporan Inventarisasi GRK dan MPV Tahun 2023 ini. Semoga laporan ini dapat menjadi dokumen yang menjadi wujud upaya Indonesia dalam mengimplementasikan upaya pengendalian emisi di tingkat nasional. Dokumen ini juga diharapkan dapat berperan sebagai sarana pencapaian komitmen NDC Indonesia secara terukur dan bertanggungjawab.

Jakarta, Februari 2024

Direktur Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim,

LAKSMI DHEWANTHI

KATA PENGANTAR



Dalam upaya pencapaian target NDC telah disusun beberapa regulasi dan kebijakan seperti halnya Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021, FOLU *Net-sink* 2030, LTS-LCCR 2060, percepatan penggunaan kendaraan listrik, peningkatan aksi di sektor limbah, serta peningkatan target pada sektor pertanian dan industri. Dalam implementasinya dijumpai beberapa tantangan terutama dalam mewujudkan upaya sinergi dan kolaborasi kebijakan sektoral berikut kebijakan pendukung lainnya dalam pencapaian target pengurangan emisi dikomitmenkan. Disadari bahwa peran multi pihak baik pemerintah pusat, pemerintah daerah (provinsi dan kabupaten/kota), dunia usaha, dan masyarakat sangat dibutuhkan untuk secara bersama mendukung upaya pencapaian target NDC.

Sebagaimana tugas pokok dan fungsi Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, serta sesuai dengan mandat *Paris Agreement* artikel 13 tentang Kerangka Transparansi, maka secara berkala melakukan kegiatan pelaporan Inventarisasi GRK dan Monitoring Pelaporan Verifikasi. Kegiatan ini dilakukan dengan berkoordinasi bersama kementerian/lembaga terkait penanggung jawab sektor dan pengampu data aktivitas. Selanjutnya, data dan informasi emisi/serapan GRK ini akan digunakan untuk memonitor kinerja capaian NDC (*tracking progress NDC*) berdasarkan profil emisi dan reduksi emisi terverifikasi.

Secara garis besar Laporan IGRK MPV tahun 2023 ini menyajikan data dan informasi GRK sebagai berikut:

1. Nilai emisi *baseline* periode 2010 – 2030 sebagai acuan, secara khusus pada pelaporan ini emisi *baseline* pada tahun 2022 dalam NDC adalah sebesar **2.104,46 Juta ton CO₂e**;
2. Profil inventarisasi GRK tahun 2010 – 2022, dimana terdapat rekalkulasi inventarisasi GRK, yang menunjukkan angka pada tahun 2022 sebesar **1.228,72 Juta ton CO₂e**;
3. Capaian kinerja pengurangan emisi GRK terverifikasi dari aksi mitigasi yang dilaporkan oleh setiap penanggung jawab sektor (Kementerian/Lembaga) pada tahun 2022 sebesar **428,43 Juta ton CO₂e**;
4. Angka capaian pengurangan emisi GRK yang diperoleh dari selisih pengurangan angka emisi *baseline* tahun 2022 dan penghitungan inventarisasi GRK tahun 2022 yakni sebesar **875,74 Juta ton CO₂e**;
5. Upaya pelaksanaan dan rencana pengembangan (*plan of improvement*) penyelenggaraan IGRK dan MPV.

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

Jakarta, Februari 2024

Direktur Inventarisasi GRK dan MPV,

HARI WIBOWO

Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV) Tahun 2023

Volume 9, Januari 2024

LEMBAR PENYUSUN

Tim Penyusun

Pengarah: Laksmi Dhewanthi

Penanggung Jawab: Hari Wibowo

Penyusun:

1. Hari Wibowo
2. Budiharto
3. Ratnasari
4. Fifi Novitri
5. Allan Rosehan
6. Endah Riana Oktavia
7. Rully Dhora Carolyn
8. Vinna Precylia
9. Saiful Lathif
10. Rusi Asmani
11. Heri Purnomo
12. Peris Frengki Butarbutar
13. Kurnia Utama
14. Prasetyadi Utomo
15. Erny Wibawanti
16. Laksmisari Rakhma Putri
17. Dirra Kurniawati
18. Ismanari

ISSN: 2830-2923

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 (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV) 2023.

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.

Dengan dukungan dari UNDP Climate Promise Project – funded by Japan Supplementary Budget (JSB).



DAFTAR ISI

RINGKASAN EKSEKUTIF	v
SAMBUTAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
LEMBAR PENYUSUN	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
 BAB I. PENDAHULUAN	 1
 BAB II. PENYELENGGARAAN IGRK DAN KERANGKA TRANSPARANSI	 5
2.1 Penyelenggaraan Inventarisasi GRK.....	6
2.2 Kerangka Transparansi.....	8
2.2.1 Measurement, Reporting and Verification (MRV)	8
2.2.2 Penyelenggaraan Sistem Registri Nasional Pengendalian Perubahan Iklim (SRN-PPI)...	9
2.2.3 Sertifikasi Pengurangan Emisi GRK (SPE-GRK).....	10
 BAB III. METODOLOGI.....	 13
3.1 Metodologi Inventarisasi GRK	14
3.1.1 Prinsip Umum.....	14
3.1.2 Metodologi Perhitungan Inventarisasi GRK	15
3.2 Metodologi Penghitungan Capaian Aksi Mitigasi.....	33
3.2.1 Prinsip Umum.....	33
3.2.2 Metodologi Penghitungan Pengurangan/Serapan Emisi GRK	33
 BAB IV. HASIL INVENTARISASI GRK NASIONAL.....	 35
4.1 Profil Emisi GRK Nasional.....	36
4.2 Profil Emisi Sektoral.....	39
4.2.1 Sektor Energi	39
4.2.2 Sektor IPPU	55
4.2.3 Sektor Pertanian	62
4.2.4 Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya	78
4.2.5 Sektor Limbah	86

BAB V. HASIL CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK	97
5.1 Pengurangan Emisi GRK Nasional dari Agregat Aksi Mitigasi.....	98
5.2 Pengurangan Emisi GRK dari Aksi Mitigasi	98
5.1.1 Sektor Energi	99
5.1.2 Sektor IPPU	103
5.1.3 Sektor Pertanian.....	104
5.1.4 Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya.....	109
5.1.5 Sektor Limbah.....	111
5.3 Profil Capaian Pengurangan Emisi GRK Nasional Terhadap Target Nationally Determined Contribution (NDC).....	116
5.3.1 Capaian Pengurangan Emisi GRK Nasional.....	116
5.3.2 Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor.....	118
BAB VI. RENCANA PERBAIKAN (PLAN OF IMPROVEMENT)	125
6.1 Rencana Perbaikan Laporan	126
6.1.1 Sektor Energi dan IPPU.....	126
6.1.2 Sektor Pertanian	127
6.1.3 Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya.....	128
6.1.4 Sektor Limbah.....	129
6.2 Rencana Pengembangan Kapasitas	130
BAB VII. PENUTUP	131
DAFTAR PUSTAKA	133

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Mekanisme Pelaporan Inventarisasi GRK	6
Gambar 1. 2	Kelembagaan Inventarisasi GRK Nasional.....	7
Gambar 2. 1	Mekanisme MRV	9
Gambar 2. 2	Penyelenggaraan Kerangka Transparansi	11
Gambar 3. 1	Tumpang Tindih yang Konsisten Antar Dua Metode	17
Gambar 3. 2	Interpolasi Linear.....	19
Gambar 3. 3	Ekstrapolasi Linear.....	20
Gambar 3. 4	Prinsip Pengurangan Emisi GRK	33
Gambar 4. 1	Profil Emisi GRK Nasional Tahun 2000 – 2022.....	36
Gambar 4. 2	Profil Emisi GRK Nasional Tahun 2000 – 2022.....	37
Gambar 4. 3	Kontribusi Emisi GRK Sektoral Terhadap Emisi GRK Nasional	38
Gambar 4. 4	Kategori Utama Sumber Emisi GRK	39
Gambar 4. 5	Sumber Emisi GRK dari Sektor Energi.....	39
Gambar 4. 6	Subkategori Sumber Emisi GRK dari Kategori Pembakaran Bahan Bakar	40
Gambar 4. 7	Cakupan Sumber Emisi GRK dari Pembakaran Bahan Bakar di Industri Energi	40
Gambar 4. 8	Sumber Emisi GRK dari Pembakaran Bahan Bakar pada Industri Manufaktur	41
Gambar 4. 9	Cakupan Sumber Emisi GRK dari Pembakaran Bahan Bakar Transportasi	41
Gambar 4. 10	Cakupan Emisi Fugitive dari Produksi Bahan Bakar	42
Gambar 4. 11	Tingkat Emisi GRK Sektor Energi Berdasarkan Subkategori Sumber Emisi Tahun 2000 – 2022	43
Gambar 4. 12	Kecenderungan Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2000 – 2022.....	44
Gambar 4. 13	Tingkat Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2022 Jenis Gas.....	44
Gambar 4. 14	Perkembangan Emisi Pembakaran Bahan Bakar dan Emisi Fugitive Periode Tahun 2000 – 2022	44
Gambar 4. 15	Emisi GRK dari Pendekatan Referensi Berdasarkan Jenis Bahan Bakar Tahun 2000 – 2022	46
Gambar 4. 16	Persentase Konsumsi Bahan Bakar Nasional Tahun 2022	47
Gambar 4. 17	Perbandingan Perhitungan Emisi dengan Menggunakan Pendekatan Referensi dan Pendekatan Sektoral Tahun 2000 – 2022.....	47
Gambar 4. 18	Emisi GRK Subsektor Pembangkit Listrik Tahun 2000 – 2022	48
Gambar 4. 19	Emisi GRK Subsektor Industri Minyak dan Gas Tahun 2000 – 2022.....	49
Gambar 4. 20	Emisi GRK Subsektor Pengolahan Batubara Tahun 2000 – 2022	50
Gambar 4. 21	Emisi GRK Subsektor Industri Manufaktur Tahun 2000 – 2022.....	51
Gambar 4. 22	Emisi GRK Subsektor Transportasi Tahun 2000 – 2022	51

Gambar 4. 23	Emisi GRK Subsektor Komersial Tahun 2000 – 2022.....	52
Gambar 4. 24	Emisi GRK Subsektor Rumah Tangga Tahun 2000 – 2022.....	53
Gambar 4. 25	Emisi GRK Subsektor Non-Specified Tahun 2000 – 2022	53
Gambar 4. 26	Emisi Fugitives Tahun 2000 – 2022	54
Gambar 4. 27	Sumber Emisi dari Sektor IPPU	55
Gambar 4. 28	Cakupan Sumber Emisi Sektor IPPU dari Industri Mineral	56
Gambar 4. 29	Cakupan Sumber Emisi Sektor IPPU dari Industri Kimia	56
Gambar 4. 30	Cakupan Sumber Emisi Sektor IPPU dari Produksi Petrokimia dan Carbon Black	57
Gambar 4. 31	Cakupan Sumber Emisi Sektor IPPU dari Industri Logam	57
Gambar 4. 32	Cakupan Sumber Emisi Sektor IPPU dari Produk Non-energi dan Pelarut	57
Gambar 4. 33	Cakupan Emisi GRK dari Kategori Industri Lain	58
Gambar 4. 34	Tingkat Emisi GRK Sektor IPPU Tahun 2000 – 2022.....	61
Gambar 4. 35	Kontribusi Emisi GRK Berdasarkan Kategori Sektor IPPU Tahun 2022.....	61
Gambar 4. 36	Kategori Sumber Emisi dalam IPCC Guidelines Sektor Pertanian	63
Gambar 4. 37	Cakupan Sumber Emisi GRK dari Sektor Peternakan.....	63
Gambar 4. 38	Cakupan Sumber Emisi GRK dari Fermentasi Enterik dan Pengelolaan Kotoran Ternak Berdasarkan Jenis Ternak (catatan: dicoret berarti tidak dihitung).....	64
Gambar 4. 39	Cakupan Sumber Emisi GRK dari Pengelolaan Kotoran Ternak	65
Gambar 4. 40	Tren Emisi Sektor Pertanian Menurut Kategori Tahun 2000 – 2022	67
Gambar 4. 41	Kontribusi Kategori Sumber Emisi pada Subsektor Peternakan.....	69
Gambar 4. 42	Tren/Kecenderungan Emisi Subsektor Peternakan Tahun 2000 – 2022.....	69
Gambar 4. 43	Persentase Gas Metahane daari Fermentasi Enterik Jenis Ternak Tahun 2022	70
Gambar 4. 44	Persentasi Gas Methane dari Pengelolaan Kotoran Jenis Ternak Tahun 2022	70
Gambar 4. 45	Emisi N ₂ O Langsung dan Tidak Langsung dari Pengelolaan Kotoran Ternak	71
Gambar 4. 46	Emisi dari Pembakaran Biomassa Tahun 2000 – 2022.....	72
Gambar 4. 47	Emisi dari Aplikasi Kapur Pertanian Tahun 2000 – 2022.....	72
Gambar 4. 48	Emisi dari Aplikasi Pupuk Urea Tahun 2000 – 2022.....	73
Gambar 4. 49	Emisi N ₂ O Dari Tanah yang Dikelola Tahun 2000 – 2022.....	74
Gambar 4. 50	Emisi Gas Methane Dari Budidaya Padi Tahun 2000 – 2022.....	75
Gambar 4. 51	Komposisi Jenis Gas Sektor Pertanian Tahun 2022	75
Gambar 4. 52	Tren Emisi Gas CO ₂ Sektor Pertanian Tahun 2000 – 2022.....	76
Gambar 4. 53	Tren Emisi Gas CH ₄ Sektor Pertanian Tahun 2000 – 2022	76
Gambar 4. 54	Tren Emisi Gas N ₂ O Sektor Pertanian Tahun 2000 – 2022.....	77
Gambar 4. 55	Cakupan Sumber Emisi GRK dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya.....	78
Gambar 4. 56	Emisi Dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lainnya Tahun 2000-2022 (dengan Peat Fire).....	80
Gambar 4. 57	Emisi Dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lainnya Tahun 2000-2022 (tanpa Peat Fire).....	81
Gambar 4. 58	Emisi dari Kebakaran Gambut 2000 – 2022	81

Gambar 4. 59	Emisi Karbon di Atas Permukaan Tanah dari Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya 2000-2022.....	82
Gambar 4. 60	Emisi Dekomposisi Gambut 2000-2022.....	83
Gambar 4. 61	Neraca Sampah Padat Domestik 2000 – 2022.....	88
Gambar 4. 62	Emisi GRK dari Kegiatan Pengelolaan Limbah 2000 – 2022.....	93
Gambar 4. 63	Distribusi Emisi Sektor Limbah Tahun 202	93
Gambar 5. 1	Capaian Pengurangan Emisi GRK Terverifikasi Sektor Energi Tahun 2010 – 2022.....	102
Gambar 5. 2	Capaian Pengurangan Emisi GRK Terverifikasi Sektor IPPU Tahun 2010 – 2022.....	103
Gambar 5. 3	Capaian Pengurangan Emisi GRK Terverifikasi Kementerian Pertanian Tahun 2010 – 2022	106
Gambar 5. 4	Pengurangan Emisi Total Sektor Pertanian Tahun 2022	107
Gambar 5. 5.	Capaian Mitigasi Terverifikasi Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya Tahun 2021 dan 2022.....	111
Gambar 5. 6	Proporsi Pengurangan Emisi pada Pengolahan Limbah Padat Domestik	113
Gambar 5. 7	Perbandingan Reduksi Emisi (RE) Sub Sektor Limbah Padat Domestik Tahun 2021 – 2022	113
Gambar 5. 8	Proporsi Pengurangan Emisi pada Pengolahan Limbah Cair Domestik.....	114
Gambar 5. 9	Perbandingan Reduksi Emisi (RE) Biodigester dan IPAL Statistik Tahun 2021 - 2022.....	114
Gambar 5. 10	Proporsi Pengurangan Emisi Pada Pengolahan Limbah Industri.....	115
Gambar 5. 11	Perbandingan Reduksi Emisi (RE) Limbah Cair Industri Tahun 2021 – 2022	115
Gambar 5. 12	Profil Capaian Pengurangan Emisi GRK Nasional (2010 – 2021) terhadap BAU, CM1 dan CM2	116
Gambar 5. 13	Perbandingan Hasil Inventarisasi GRK terhadap Baseline Emisi GRK (BAU) Sektor Pertanian Tahun	122
Gambar 5. 14	Perbandingan Hasil Inventarisasi GRK terhadap Baseline Emisi GRK (BAU) Sektor Kehutanan	122
Gambar 5. 15	Perbandingan Hasil Inventarisasi GRK terhadap Baseline Emisi GRK (BAU) Sektor Limbah	123

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Nilai GWP pada Second Assessment Report (SAR) yang Digunakan pada Perhitungan Inventarisasi GRK	16
Tabel 3.2	Pengklasifikasian Kategori Antara IPCC Guidelines 2006 dan Tabel Kesetimbangan Energi	21
Tabel 3.3	Pembagian Kelas Umur, Faktor Emisi serta Bobot Ternak Lokal	22
Tabel 3.4	Revisi Faktor Skala Jenis Tanah yang Berbeda dari Indonesia	25
Tabel 3.5	Faktor Skala yang Disesuaikan dengan Ekosistem Padi dan Tata Air Indonesia.....	25
Tabel 3.6	Faktor Skala untuk Varietas Padi yang Berbeda di Indonesia	25
Tabel 3.7	Penyesuaian Kategori Tutupan Lahan KLHK dengan Kelas Penggunaan Lahan IPCC	27
Tabel 3.8	Rerata Pertumbuhan Tahunan pada Berbagai Kategori Penggunaan Lahan.....	28
Tabel 3.9	Karbon Stok dari Biomassa di atas Permukaan (AGB) dan di bawah Permukaan (BGB) untuk Berbagai Tipe Penutupan Lahan	29
Tabel 3.10	Faktor Emisi untuk Dekomposisi Gambut dari Berbagai Penutupan Lahan.....	30
Tabel 3.11	Parameter untuk memperkirakan emisi kebakaran gambut.....	31
Tabel 3.12	Faktor emisi untuk emisi non-CO ₂ dari pembakaran biomassa.....	32
Tabel 4.1	Emisi GRK Nasional Tahun 2000 – 2022 GgCO ₂ e (note:juta ton)	37
Tabel 4.2	Emisi GRK dari Kegiatan Energi Tahun 2000 – 2022	45
Tabel 4.3	Perhitungan Emisi GRK Sektor Energi Menggunakan Metode Reference dan Sectoral Approach, Gg Co ₂ -Emisi GRK dari Kegiatan Energi Tahun 2022	48
Tabel 4.4	Sumber Emisi Kunci Sektor Energi Tahun 2022	54
Tabel 4.5	Emisi GRK dari Sektor IPPU Tahun 2000 – 2022	59
Tabel 4.6	Emisi GRK Per Subkategori Sektor IPPU Tahun 2021.....	60
Tabel 4.7	Sumber Emisi Kunci Sektor IPPU Tahun 2022	62
Tabel 4.8	Rekapitulasi Emisi Sektor Pertanian Tahun 2000 – 2010 (Gg CO ₂ e)	68
Tabel 4.9	Rekapitulasi Emisi Sektor Pertanian Tahun 2011 – 2022 (Gg CO ₂ e).....	68
Tabel 4.10	Analisis Kategori Kunci Sektor Pertanian Tahun 2022.....	77
Tabel 4.11	Emisi Biomass Burning Gas Non-CO ₂	82
Tabel 4.12	Emisi dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lainnya Tahun 2000-2010 (Gg CO ₂ e).....	84
Tabel 4.13	Emisi dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lainnya Tahun 2011-2022 (Gg CO ₂ e)	85
Tabel 4.14	Analisis Kategori Kunci Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya.....	86
Tabel 4.15	Komposisi Sampah di TPA	88
Tabel 4.16	Dry Matter Content Sampah di TPA	89
Tabel 4.17	Parameter dan Faktor Emisi Limbah Cair Domestik.....	90

Tabel 4. 18	Parameter Fraksi Populasi dan Derajat Penggunaan pada Pengolahan Limbah Cair Domestik....	90
Tabel 4. 19	Emisi GRK dari Sektor Limbah Tahun 2000 – 2022.....	92
Tabel 4. 20	Common Reporting Format of the GHG Emissions from Waste Category in 2022.....	94
Tabel 4. 21	Analisis Kategori Kunci Sektor Limbah Tahun 2022.....	95
Tabel 5. 1	Capaian Pengurangan Emisi GRK Nasional dari Aksi Mitigasi Tahun 2020 – 2022.....	98
Tabel 5. 2	Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2022.....	99
Tabel 5. 3	Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2022.....	99
Tabel 5. 4	Capaian Pengurangan Emisi GRK Subsektor Energi di Industri Tahun 2022	101
Tabel 5. 5	Capaian Pengurangan Emisi GRK Subsektor Energi di Transportasi Tahun 2022.....	101
Tabel 5. 6	Capaian Pengurangan Emisi GRK Terverifikasi Sektor IPPU Tahun 2022	103
Tabel 5. 7	Data Aktivitas Sektor Pertanian Tahun 2010 – 2022.....	105
Tabel 5. 8	Capaian Pengurangan Emisi Aksi Mitigasi Terverifikasi Kementerian Pertanian Tahun 2010 – 2022	108
Tabel 5. 9	Definisi Kondisi Baseline yang Disepakati	109
Tabel 5. 10	Capaian Mitigasi Terverifikasi Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya Tahun 2022	110
Tabel 5. 11	Capaian mitigasi terverifikasi Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya tahun 2021 dan 2022.....	110
Tabel 5. 12	Capaian Pengurangan Emisi GRK pada Sektor Limbah yang Telah Terverifikasi Tahun 2023	112
Tabel 5. 13	Profil Capaian Pengurangan Emisi GRK Nasional Terhadap Target Pengurangan Emisi GRK pada CM1 di Tahun 2010 – 2022.....	117
Tabel 5. 14	Perbandingan Hasil Inventarisasi GRK terhadap Baseline Emisi GRK (BAU) Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya.....	117
Tabel 5. 15	Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektoral Terhadap Emisi BAU di Tahun 2022.....	118
Tabel 5. 16	Profil Progres Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2010 – 2022	119
Tabel 5. 17	Profil Progres Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor IPPU Tahun 2010 – 2022.....	120
Tabel 5. 18	Kontribusi Sektor Pertanian terhadap NDC Tahun 2010 – 2022	121
Tabel 5. 19	Profil Emisi dan Capaian Terhadap Target NDC Tahun 2022	123
Tabel 5. 20	Profil Emisi Sektor Limbah Serta Capaian Terhadap Target NDC	124

BAB I. PENDAHULUAN



BAB I. PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Persetujuan Paris atau yang dikenal dengan *Paris Agreement* merupakan perjanjian internasional terkait perubahan iklim yang mengikat secara hukum dan diterapkan oleh semua negara yang meratifikasi (*legally binding and applicable to all*). Namun dalam perjanjian ini menjunjung 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 di Paris (COP21). Secara umum perjanjian ini bertujuan untuk menahan 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 sebab itu, Persetujuan Paris memberikan kewajiban kepada setiap negara untuk menyampaikan Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional (*Nationally Determined Contribution/NDC*). Berkaitan dengan hal tersebut, Indonesia telah menetapkan Enhanced NDC pada tahun 2022. Dokumen tersebut merupakan pembaruan 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.

Selain itu, Persetujuan Paris mengamanatkan perlunya pembentukan dan pelaksanaan kerangka kerja transparansi dalam rangka membangun rasa saling percaya dan meningkatkan efektivitas implementasi, meliputi aksi maupun dukungan dengan fleksibilitas negara berkembang. Amanat ini tertuang dalam pasal 13 Persetujuan Paris, Dimana lebih lanjut 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. Serta digunakan untuk melihat capaian dari target NDC.

Dalam pelaksanaan implementasi Persetujuan Paris, inventarisasi yang dilakukan secara berkala digunakan untuk menilai kemajuan kolektif dalam mencapai tujuan dari Persetujuan Paris atau yang dikenal sebagai *Global Stocktake*. *Global Stocktake* (GST) dilaksanakan setiap 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*).

Pada paragraf 172 *guidance and way forward* menekankan peranan penting dari implementasi penuh kerangka kerja transparansi yang ditingkatkan di bawah Persetujuan Paris (*Enhanced Transparency Framework*). 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 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 portrait 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.

Guna memantau perkembangan strategi dan kebijakan pengendalian perubahan iklim serta mengukur capaian target NDC tersebut, 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. Pelaksanaan upaya pencapaian target NDC dilakukan melalui penyelenggaraan mitigasi perubahan iklim, adaptasi perubahan iklim, dan Nilai Ekonomi Karbon (NEK) yang dilaksanakan sesuai prinsip TACCC, transparan, akurat, konsisten, komprehensif, dan komparabel.

Sehubungan dengan pelaksanaan upaya pencapaian target NDC, 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. Hal ini kemudian dikhususkan menjadi tugas dan tanggung jawab Direktorat Inventarisasi Gas Rumah Kaca dan Monitoring Pelaporan Verifikasi (Direktorat IGRK MPV). Dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 15 Tahun 2021 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Direktorat IGRK MPV melaksanakan perumusan dan pelaksanaan kebijakan di bidang inventarisasi gas rumah kaca dan monitoring, pelaporan, dan verifikasi serta registri emisi gas rumah kaca untuk aksi mitigasi, aksi adaptasi dan sumber daya perubahan iklim.

Direktorat IGRK MPV melaksanakan penyelenggaraan inventarisasi gas rumah kaca, monitoring, pelaporan dan verifikasi perubahan iklim mengacu pada panduan internasional yang ditetapkan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Indonesia menggunakan *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – 2006* termasuk *supplements* dan *refinements* panduan tersebut. 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. Hal tersebut sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 73 Tahun 2017 tentang Pedoman Penyelenggaraan dan Pelaporan Inventarisasi GRK Nasional, yang mengatur tentang tata cara penyelenggaraan inventarisasi GRK, pengaturan kelembagaan, kategori sumber emisi, mekanisme perolehan dan pemutakhiran data, proses analisis, hingga tata cara pelaporan.

Sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 73 Tahun 2017, penyelenggaraan inventarisasi GRK dilakukan pada 5 (lima) sektor, yaitu sektor energi, proses industri dan penggunaan produk, pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan lainnya, serta limbah. Setiap tahunnya, Direktorat IGRK MPV menyusun Laporan Nasional IGRK dan MPV, yang memuat data dan informasi terkait inventori emisi GRK (termasuk tingkat, status, dan kecenderungan emisi) serta capaian pengurangan emisi dari aksi mitigasi. Penyusunan laporan tersebut melibatkan Kementerian/Lembaga terkait (Kementerian LHK, Kementerian ESDM, Kementerian Perhubungan, Kementerian Perindustrian, Kementerian PUPR, Kementerian Pertanian, dan Biro Pusat Statistik), tim pakar dari akademisi dan lembaga penelitian, serta Pemerintah Daerah.

Pada penyusunan Laporan Nasional IGRK dan MPV, penyelenggaraan inventarisasi GRK melakukan proses pengendalian dan penjaminan mutu (*Quality Control and Quality Assurance*). Proses tersebut 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 IGRK dan MPV karena laporan ini menjadi dasar dalam penyusunan laporan ke tingkat internasional (UNFCCC). Laporan Nasional IGRK dan MPV Tahun 2023 ini menggunakan sumber data satu tahun sebelumnya (Tahun

2022). 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 IGRK dan MPV dapat digunakan untuk merancang aksi mitigasi dan adaptasi dengan lebih cepat, tepat, dan berkelanjutan.

Tingkat emisi aktual GRK di tahun 2022 adalah sebesar 1.228.721,13 Gg CO₂e (1.228,72 Juta ton CO₂e). Apabila dibandingkan dengan tahun sebelumnya, tingkat emisi GRK dari semua sektor menunjukkan adanya peningkatan. Namun apabila dilihat dari capaian pengurangan emisi, terjadi pengurangan emisi sebesar 875,74 Juta ton CO₂e atau 41,61% apabila dibandingkan dengan *baseline/BAU* pada tahun yang sama. Proses rekalkulasi pada pelaporan tahun ini dilakukan untuk beberapa subkategori emisi sektor. Proses rekalkulasi selengkapnya akan dilakukan pada tahun pelaporan BUR/BTR, misalnya penerapan *global warming potential* (GWP), perbaikan data aktivitas, dan pemutakhiran faktor emisi, demi menjamin konsistensi dalam pelaporan. Di samping itu, beberapa rencana perbaikan (*plan of improvement*) perlu dilakukan untuk peningkatan penyelenggaraan inventarisasi GRK antara lain pengembangan pengaturan kelembagaan, peningkatan kualitas data, peningkatan kegiatan monitoring aksi mitigasi, pengembangan metodologi penghitungan emisi GRK, serta pengembangan kapasitas bagi penyelenggara inventarisasi GRK dan verifikasi.

BAB II. PENYELENGGARAAN IGRK DAN KERANGKA TRANSPARANSI



BAB II. PENYELENGGARAAN IGRK DAN KERANGKA TRANSPARANSI

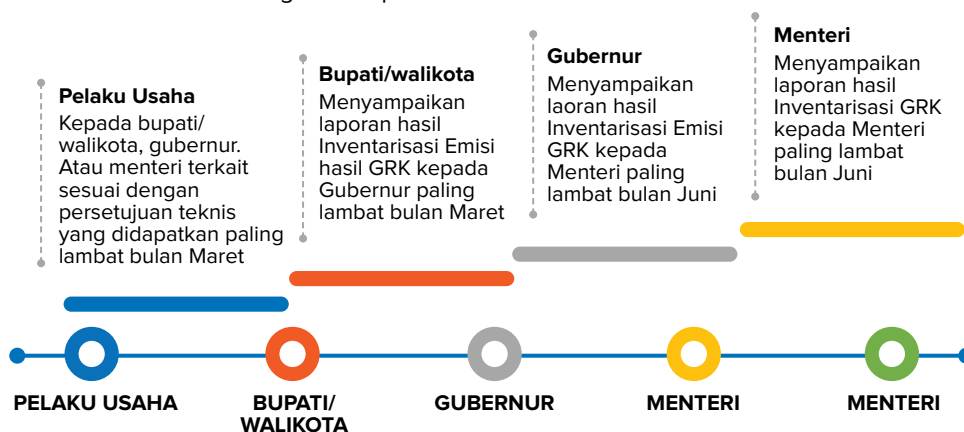
Pelaksanaan aksi mitigasi dilakukan melalui tahapan perencanaan, pelaksanaan, serta pemantauan dan evaluasi. Dalam konteks perencanaan, aksi mitigasi dilakukan melalui inventarisasi GRK, yang merupakan kegiatan untuk memperoleh data dan informasi mengenai tingkat, status, dan kecenderungan perubahan 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

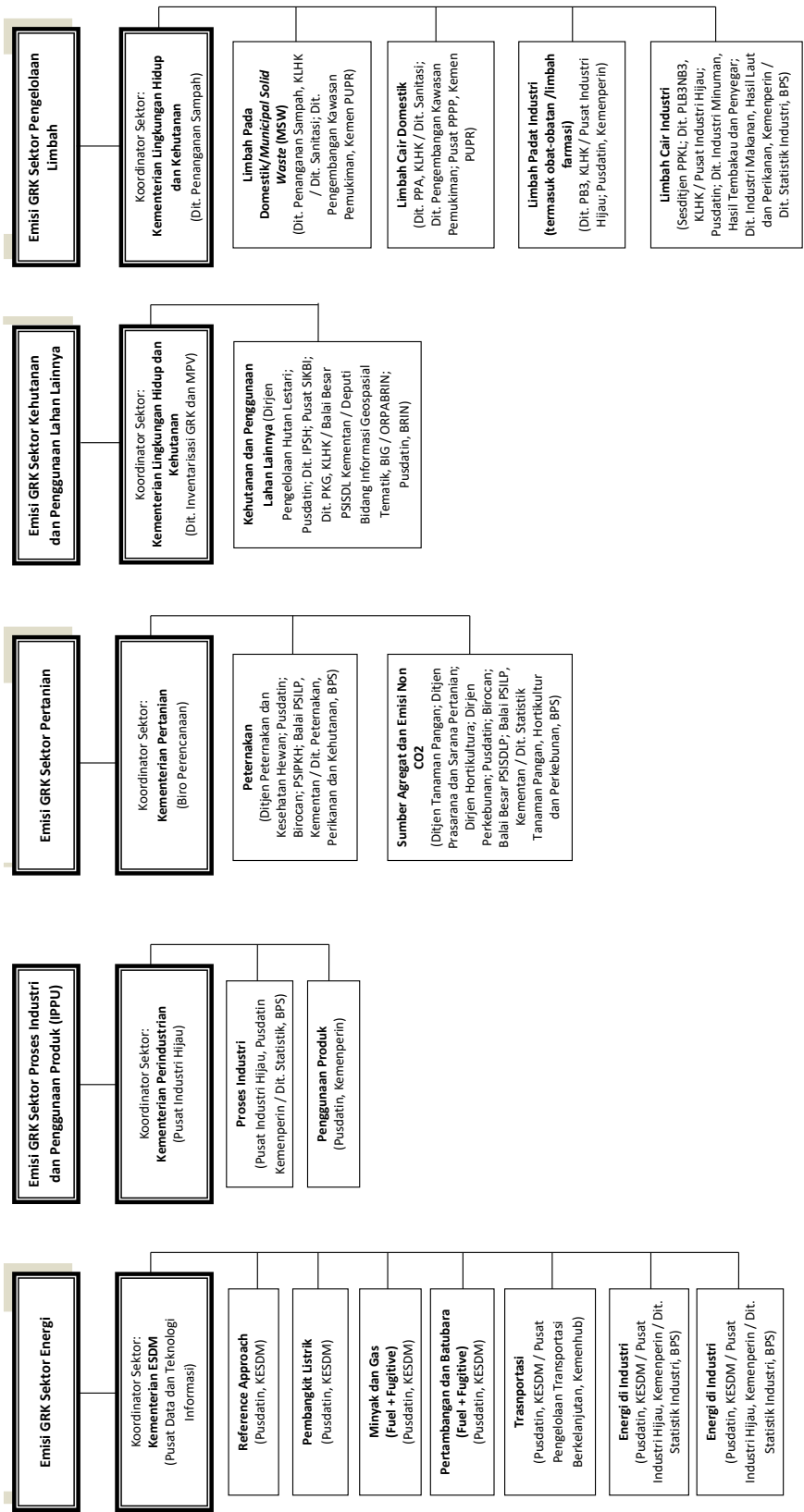
Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca mengacu pada Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional, yang secara garis besar mengatur terkait tata cara penyelenggaraan IGRK, mekanisme pelaporan, dan tata waktu. Penyelenggaraan Inventarisasi GRK dilaksanakan melalui tahapan sebagai berikut:

- a. Pemantauan dilakukan untuk mengetahui:
 - Hasil Inventarisasi Emisi GRK tahun sebelumnya.
 - Data aktivitas sumber Emisi GRK dan/atau Serapan GRK termasuk simpanan karbon.
 - Faktor Emisi GRK dan faktor Serapan GRK termasuk simpanan karbon.
- b. Pengumpulan dilakukan untuk mendapatkan:
 - Data aktivitas sumber Emisi GRK dan/atau Serapan GRK termasuk karbon.
 - Faktor Emisi GRK dan/atau Serapan GRK termasuk simpanan karbon.
- c. Penghitungan inventarisasi Emisi GRK meliputi:
 - Penghitungan Emisi GRK dan/atau Serapan GRK termasuk simpanan karbon.
 - Analisis ketidakpastian untuk menilai tingkat akurasi dari emisi dugaan.
 - Analisis kategori kunci yang meliputi sumber Emisi GRK atau rosot utama.
 - Pengendalian dan penjaminan mutu.

Hasil penyelenggaraan inventarisasi GRK dilaporkan setiap tahun dengan melibatkan peran pemerintah daerah dan pelaku usaha. Sesuai dengan mandat Pasal 12 Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021, pelaporan setiap tahun dilakukan melalui aplikasi berbasis web dalam laman <http://signsmart.menlhk.go.id/>. Mekanisme pelaporan inventarisasi GRK sebagaimana pada Gambar 1.1 dibawah ini.



Gambar 1. 1 Mekanisme Pelaporan Inventarisasi GRK



Gambar 1. 2 Kelembagaan Inventarisasi GRK Nasional

Dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK diperlukan kelembagaan untuk pengumpulan data aktivitas dan faktor emisi yang diperlukan. Kementerian/Lembaga dan Pemerintah Daerah melakukan pengumpulan data aktivitas dan faktor emisi serta mengidentifikasi jenis data dan tahun ketersediaannya. Kelembagaan inventarisasi GRK diilustrasikan pada Gambar 1.2.

2.2 KERANGKA TRANSPARANSI

Paris Agreement telah menyepakati untuk meningkatkan kerangka transparansi yang kuat (*Enhanced Transparency Framework/ETF*) sebagai salah satu media untuk mengontrol pertanggungjawaban setiap negara terhadap implementasi komitmen NDC-nya serta memastikan komitmen *Paris Agreement* dapat diimplementasikan secara efektif.

Pengembangan kerangka transparansi merujuk pada artikel 13 *Paris Agreement*. Terdapat dua hal utama yang menjadi fokus dalam ETF. Pertama, transparansi dan akuntabilitas dalam proses monitoring dan *tracking* perkembangan pencapaian target NDC serta aksi-aksi adaptasi. Kedua, transparansi dalam hal bantuan atau *support* baik yang diberikan atau yang diterima oleh setiap negara dalam pelaksanaan aksi mitigasi dan adaptasi perubahan iklim. Pengembangan ETF oleh setiap negara.

Guna menerjemahkan Kerangka Transparansi dalam konteks nasional, telah diterbitkan Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target NDC dan Pengendalian Emisi Karbon dalam Pembangunan Nasional dimana pada BAB V secara spesifik terdapat mandat yang mengatur terkait Kerangka Transparansi. Pada Bab Kerangka Transparansi di Pasal 60 disebutkan bahwa dalam upaya pencapaian target NDC melalui penyelenggaraan Mitigasi Perubahan Iklim, Adaptasi Perubahan Iklim, dan NEK dilaksanakan secara akurat, konsisten, transparan, berkelanjutan, dan dapat dipertanggungjawabkan melalui:

- a. *Measurement, Reporting and Verification* (MRV);
- b. Penyelenggaraan SRN-PPI; dan
- c. Sertifikasi Pengurangan Emisi GRK.

2.2.1 *Measurement, Reporting and Verification* (MRV)

MRV merupakan sebuah konsep untuk melacak (*tracking*) kemajuan terkait penerapan kebijakan ataupun program aksi mitigasi perubahan iklim untuk mencapai target reduksi emisi. Sistem MRV adalah elemen kunci untuk memastikan transparansi, presisi, dan komparabilitas suatu informasi terkait perubahan iklim. MRV mengintegrasikan tiga proses yang berdiri sendiri namun berkaitan berupa pengukuran/pemantauan (M), pelaporan (R), dan verifikasi (V).

Dalam konteks MRV Nasional di Indonesia, setiap komponen MRV dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. **Pengukuran atau pemantauan (M)** merupakan kegiatan untuk mengetahui perkembangan data aksi dan sumber daya perubahan iklim dalam penyelenggaraan SRN-PPI. Pengukuran/pemantauan terhadap suatu data/informasi, baik secara kuantitas maupun kualitas dilakukan dalam rangka mengetahui efektivitas pelaksanaan aksi perubahan iklim dan memastikan keberlanjutannya. Pengukuran/pemantauan dilakukan dalam periode waktu tertentu dalam batasan suatu aksi perubahan iklim.
- b. **Pelaporan (R)** dilakukan dengan menyampaikan informasi komprehensif mengenai hasil penghitungan emisi GRK serta besaran capaian aksi mitigasi perubahan iklim terkait dengan pelaksanaan aksi mitigasi, adaptasi, dan sumberdaya perubahan iklim. Pelaporan dilakukan melalui penyusunan Dokumen Rancangan Aksi Mitigasi DRAM dan Laporan Capaian Aksi Mitigasi LCAM yang disubmisi ke dalam SRN-PPI. Hal ini dilakukan dalam rangka memudahkan akses informasi kepada publik demi meningkatkan transparansi data/informasi dimaksud.
- c. **Verifikasi (V)** dilakukan untuk memastikan kebenaran seluruh data/informasi yang dimuat dalam pelaporan terkait data aksi dan sumber daya perubahan iklim yang disampaikan oleh Penanggung Jawab Aksi ke dalam SRN-PPI. Verifikasi dilakukan dengan mengkaji dan mengklarifikasi dokumen/

laporan oleh verifikator eksternal/independen dan verifikator internal/sekretariat. Jika dalam hal kaji dan klarifikasi dokumen/laporan tidak mencukupi, dapat dimungkinkan untuk melakukan survei lapangan.

Dalam Pasal 61 Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 disebutkan bahwa MRV untuk Aksi Mitigasi Perubahan Iklim, Aksi Adaptasi Perubahan Iklim, dan NEK dilaksanakan secara terintegrasi dengan prinsip efisien, efektif, dan transparan. Mekanisme MRV secara garis besar dilakukan melalui tahapan yang terangkum dalam Gambar 2.1.

	Measurement	Reporting	Verification
AKSI MITIGASI	Untuk memperoleh: a. besaran Emisi GRK atau serapan aktual; dan b. besaran pengurangan Emisi GRK atau peningkatan serapan GRK	Muatan Pelaporan: Data umum : a. pelaksana dan penanggung jawab pelaksana aksi; b. judul dan jenis kegiatan; c. mekanisme Aksi Mitigasi Perubahan Iklim serta NEK yang dipilih; dan d. sumber daya perubahan iklim meliputi transfer teknologi, peningkatan kapasitas, dan pembiayaan. 2. Data Teknis : a. penghitungan besaran Baseline Emisi GRK; b. pemilihan periode referensi Baseline Emisi GRK c. asumsi yang digunakan dalam menyusun Baseline; d. penghitungan besaran Batas Atas; e. metodologi penghitungan; f. hasil pemantauan pelaksanaan Aksi Mitigasi; g. Aksi Mitigasi Perubahan Iklim yang dilakukan; h. besaran capaian target pengurangan dan/atau penyerapan Emisi GRK; dan/atau i. sistem manajerial	- Validasi dan verifikasi terhadap pelaporan hasil pengukuran dan pemantauan pelaksanaan Aksi Mitigasi Perubahan Iklim, Aksi Adaptasi Perubahan Iklim, dan NEK dilaporkan dan dicatatkan ke dalam SRN PPI - Bagi usaha dan/atau kegiatan yang melaksanakan NEK terkait dengan Perdagangan Karbon dan Pembayaran Berbasis Kinerja wajib menyertakan hasil validasi dan verifikasi yang dilakukan oleh <u>validator dan verifikator independen</u>
NEK	Untuk memperoleh: a. persetujuan teknis Batas Atas Emisi GRK; b. besaran Emisi GRK atau serapan aktual; c. besaran pengurangan Emisi GRK atau peningkatan Serapan GRK.		
KSI ADAPTASI	dilakukan dengan membandingkan antara indikator atau target indikator dalam perencanaan dengan hasil pelaksanaan	Muatan Pelaporan: a. kebijakan Aksi Adaptasi Perubahan Iklim; b. kajian kerentanan, risiko, dan dampak perubahan iklim; c. perencanaan dan pelaksanaan Aksi Adaptasi; d. pemantauan dan evaluasi; e. peningkatan kapasitas; f. teknologi; dan g. pendanaan Aksi Mitigasi Perubahan Iklim	

Gambar 2. 1 Mekanisme MRV

2.2.2 Penyelenggaraan Sistem Registri Nasional Pengendalian Perubahan Iklim (SRN-PPI)

Dalam rangka menyediakan sistem pengelolaan data dan informasi berbasis *web* tentang aksi dan sumber daya untuk mitigasi dan adaptasi perubahan iklim di Indonesia serta mengimplementasikan konsep *transparency framework* sesuai dengan hasil kesepakatan dalam *Paris Agreement*, pemerintah Indonesia melalui DJPPI-KLHK telah mengembangkan sebuah sistem bernama Sistem Registri Nasional – Pengendalian Perubahan Iklim (SRN-PPI).

Dalam Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 hasil pencatatan dan pelaporan SRN-PPI berfungsi sebagai:

- Dasar pengakuan pemerintah atas kontribusi penerapan NEK dalam pencapaian target NDC;
- Data dan informasi aksi dan sumber daya perubahan iklim dan penerapan NEK;
- Upaya menghindari penghitungan ganda Aksi Mitigasi; dan
- Bahan penelusuran pengalihan.

Sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 21 Tahun 2022 tentang Tata Laksana Penerapan Nilai Ekonomi Karbon (NEK) Pasal 43, Kementerian/Lembaga dimandatkan untuk dapat melakukan interaksi dan/atau bagi pakai antara sistem data dan informasi berbasis web dengan SRN-PPI.

Dalam perkembangannya, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) bersama Otoritas Jasa Keuangan (OJK) telah melakukan penandatanganan Perjanjian Kerja Sama (PKS) tentang interaksi dan/atau bagi pakai data antara SRN-PPI dan Bursa Karbon. PKS ini dimaksudkan untuk menyelaraskan instrumen dan program kerja KLHK dan OJK dalam pengimplementasian perdagangan karbon melalui bursa karbon

sesuai tata kelola NEK. PKS menjadi landasan hukum pertukaran dan pemakaian data melalui SRN-PPI serta diperlukan dalam rangka pembentukan dan operasionalisasi bursa karbon yang memenuhi kaidah dan tata kelola karbon sesuai prosedur dan peraturan perundangan yang berlaku.

2.2.3 Sertifikasi Pengurangan Emisi GRK (SPE-GRK)

Sertifikat Pengurangan Emisi GRK (SPE-GRK) menurut Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 adalah 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.

Penyelenggaraan Skema SPEI dilaksanakan berdasarkan amanat yang terdapat dalam Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 dan turunannya, serta ISO 14065 dan SNI ISO 14064-3. Penyelenggaraan tersebut diperlukan untuk memastikan bahwa proses penerbitan SPE-GRK selaras dengan tujuan nasional dan mengutamakan integritas lingkungan dengan memenuhi prinsip-prinsip berikut ini:

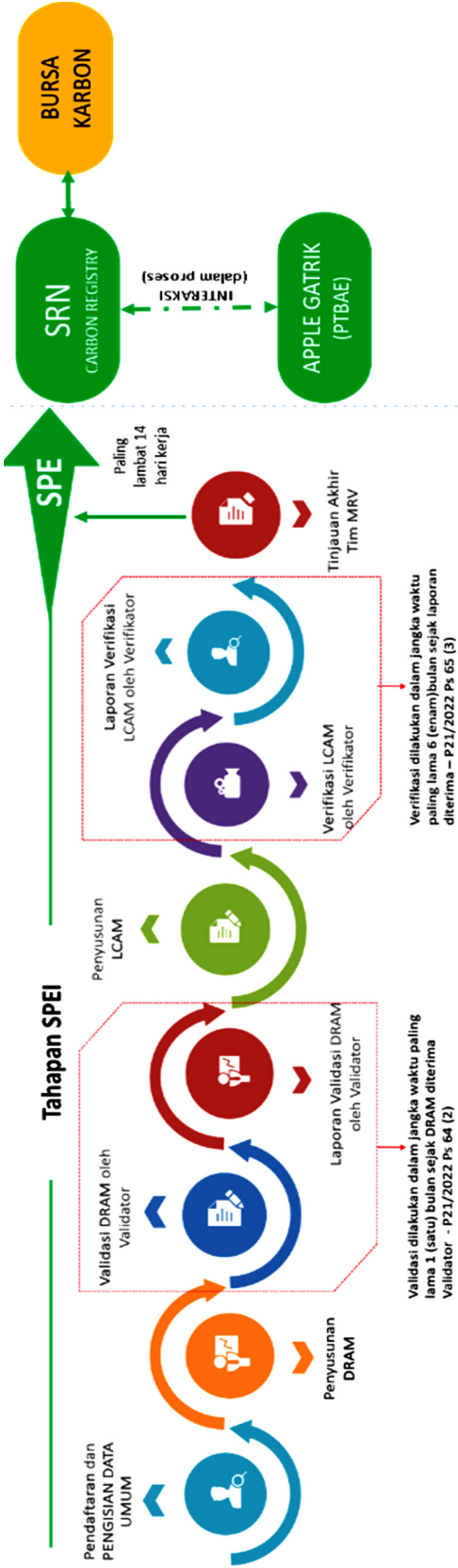
1. Komprehensif. Tersedia tata cara untuk semua proses yang dibutuhkan dalam sertifikasi.
2. Transparansi. Semua lapisan masyarakat dapat mengetahui tata cara untuk melakukan sertifikasi dan mendapatkan SPE-GRK.
3. Konsistensi. Perlakuan yang sama ke semua pihak yang meminta sertifikasi dan penerbitan SPE-GRK.
4. Komparabel. Hasil sertifikasi dapat dibandingkan antar waktu, antar aksi, maupun antar mekanisme ("a ton is a ton").

Penerbitan SPE-GRK sesuai dengan Skema SPEI dapat dilakukan dengan tahapan proses sebagai berikut:

1. Pendaftaran untuk mendapatkan akun pengguna di SRN-PPI;
2. Penyusunan Dokumen Rancangan Aksi Mitigasi (DRAM) sesuai dengan jenis aksi mitigasi perubahan iklim yang akan disertifikasi dan menyampaikan DRAM tersebut kepada DJPPI melalui SRN-PPI;
3. Validasi DRAM oleh Validator independen yang ditunjuk peserta Skema SPEI;
4. Pelaksanaan dan pemantauan aksi mitigasi perubahan iklim.;
5. Penyusunan laporan hasil pelaksanaan mitigasi perubahan iklim, yang selanjutnya disebut Laporan Capaian Aksi Mitigasi (LCAM), sesuai DRAM yang tervalidasi dan menyampaikan LCAM tersebut melalui SRN-PPI;
6. Verifikasi LCAM oleh Verifikator independen yang ditunjuk peserta Skema SPEI;
7. Penerbitan SPE-GRK berdasarkan hasil verifikasi LCAM dilakukan oleh DJPPI melalui proses tinjauan akhir. Satu unit SPE mewakili pengurangan jumlah GRK yang dilepaskan atau peningkatan penyerapan GRK setara satu ton karbondioksida.

Ketentuan lebih lanjut terkait dengan persyaratan dalam penerbitan SPE-GRK dapat dilihat pada Skema SPEI yang telah diterbitkan pada link berikut ini https://srn.menlhk.go.id/static/srn/PDF/skema_SPEI_2023.pdf.

Seluruh proses penyelenggaraan kerangka transparansi terangkum pada Gambar 2.2, dimana proses penerbitan SPE-GRK dilaksanakan sesuai dengan Skema SPEI yang berlaku. Proses penerbitan SPE-GRK dilakukan melalui SRN-PPI. SPE-GRK yang telah terbit pada SRN-PPI kemudian dapat diperjualbelikan melalui Bursa Karbon. Saat ini SRN-PPI terus dikembangkan, salah satunya melalui proses interaksi dengan sistem berbasis web dari Kementerian Teknis lain seperti APPLE GATRIK dari Ditjen Ketenagalistrikan, Kementerian ESDM.



Gambar 2.2 Penyelenggaraan Kerangka Transparansi

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 ada diantara 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 ketidakterediaan 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.

3.1.2 Metodologi Perhitungan Inventarisasi GRK

3.1.2.1 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 telah ditetapkan dalam Peraturan Menteri LHK Nomor P.73/MenLHK/Setjen/Kum.1/12/2017 yang akan direvisi dalam Rancangan Peraturan Menteri LHK tentang Penyelenggaraan Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional (*Nationally Determined Contribution/NDC*).

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 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 – 2022 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	Methane (CH ₄)	21
3	Nitrous Oxide (N ₂ O)	310
4	PFC-14 (CF ₄)	6.500
5	PFC-116 (C ₂ F ₆)	9.200
6	Sulfur Hexafluoride (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 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:

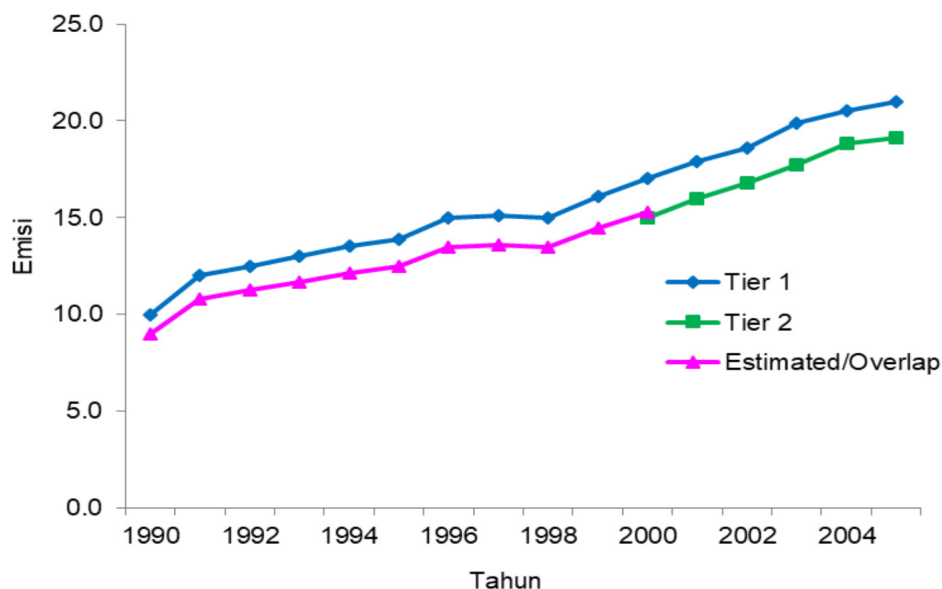
y_o : nilai emisi/serapan dugaan yang dihitung dengan metode overlap

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:

$$y_o = y_t * \frac{s_o}{s_t}$$

Di mana:

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

s_o dan s_t = parameter statistic surrogate tahun ke-0 dan ke-t

3.b.1 Interpolasi

Dalam beberapa kasus dimungkinkan untuk menerapkan metode secara *intermitten* 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:

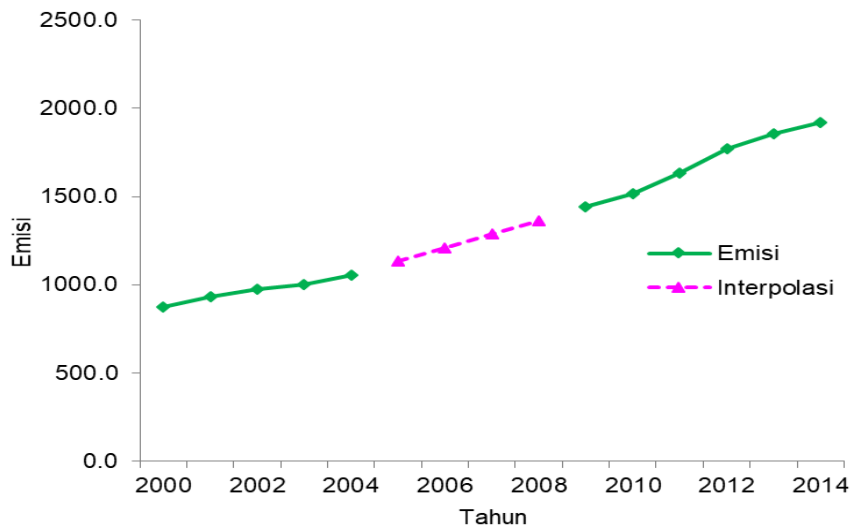
$$Y_t = Y_{start} + \left(\frac{T_t - T_{start}}{T_{end} - T_{start}} \right) * (Y_{end} - Y_{start})$$

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

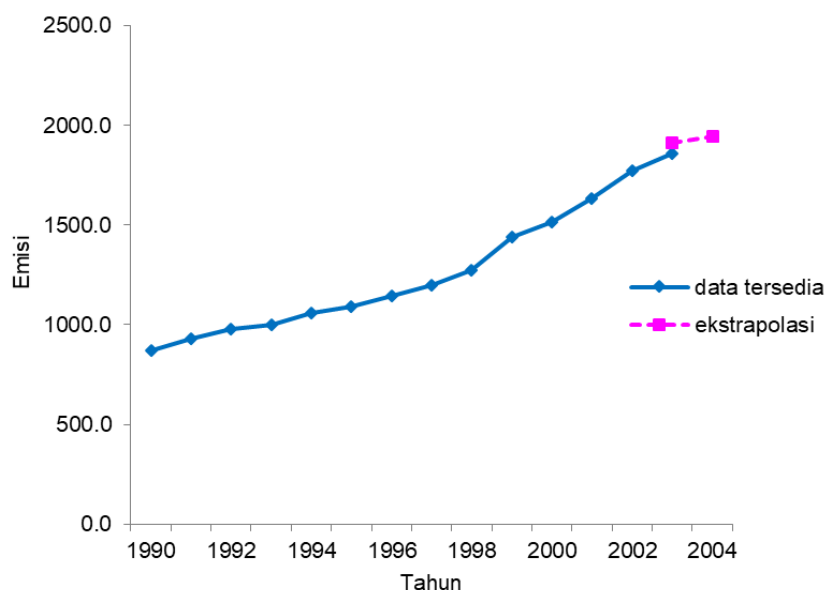
Ketika perkiraan rinci belum disiapkan untuk tahun dasar atau tahun terbaru dalam inventaris, mungkin perlu untuk memperkirakan dari perkiraan terperinci terdekat. Ekstrapolasi tren secara konseptual mirip dengan interpolasi, tetapi sedikit yang diketahui tentang tren aktual. Ekstrapolasi dapat dilakukan 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 pada 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.

3.1.2.2 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 Kesetimbangan 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 Kesetimbangan 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
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 penghitungan 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/PPU*) 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 aluminium. 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, disamping 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 2022 merupakan hasil perhitungan dari Kementerian Pertanian yang 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 2022 (Data Tahun 2021) 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, $Gg\ CH_4/yr-1$

$EF(T)$: Faktor emisi populasi jenis ternak tertentu, $kg\ CH_4-1yr-1$

$N(T)$: 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
	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

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)
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:

$$CH_4 \text{ Manure} = \sum_T \left(\frac{EF_T * N_T}{10^6} \right)$$

Di mana:

CH₄ 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), 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:

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

Di mana:

CH₄ Rice : Emisi metan dari budidaya padi sawah, Gg CH₄ per tahun
 EF_{i,j,k} : Faktor emisi untuk kondisi i, j, dan k; kg CH₄ per hari
 t_{i,j,k} : Lama budidaya padi sawah untuk kondisi i, j, dan k; hari
 A_{i,j,k} : Luas panen padi sawah untuk kondisi i, j, dan k; ha per tahun
 i, j, dan k : Mewakili ekosistem berbeda: i: rezim air, j: jenis dan jumlah pengembalian bahan organik tanah, dan k: kondisi lain dimana emisi CH₄ 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 CH₄/m₂/musim dengan nilai *default* rata-rata 160,9 kg CH₄/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 Adjusted
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)
Upland	None		0	
Lowland	Irrigated	Continuously Flooded	1,0	1,00
		Intermittently Flooded	0,5 (0,2-0,7)	0,46 (0,38-0,53)
		Multiple Aeration	0,2 (0,1-0,3)	
	Rainfed	Flood Prone	0,8 (0,5-1,0)	0,49 (0,19-0,75)
		Drought Prone	0,4 (0-0,5)	
	Deep Water	Water Depth 50-100 cm	0,8 (0,6-1,0)	
		Water Depth < 50 cm	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

No	Varietas	Rerata Emisi (kg/Ha/session)	Faktor Skala
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
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* di mana 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 permukaan tanah (above 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, dan 2022.

Klasifikasi kategori penggunaan lahan dalam *IPCC Guideline* 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

No	Kelas Tutupan Lahan KLHK	2006 IPCC GL	Singkatan	Keterangan
10.	<i>Mixed dry agriculture</i>	<i>Crop land</i>	CL	<i>Non-forest</i>
11.	<i>Dry shrub</i>	<i>Grassland</i>	GL	<i>Non-forest</i>
12.	<i>Wet shrub</i>	<i>Grassland</i>	GL	<i>Non-forest</i>
13.	<i>Savanna and Grasses</i>	<i>Grassland</i>	GL	<i>Non-forest</i>
14.	<i>Paddy Field</i>	<i>Crop land</i>	CL	<i>Non-forest</i>
15.	<i>Open swamp</i>	<i>Wetland</i>	WL	<i>Non-forest</i>
16.	<i>Fish pond/aquaculture</i>	<i>Wetland</i>	WL	<i>Non-forest</i>
17.	<i>Transmigration areas</i>	<i>Cropland</i>	CL	<i>Non-forest</i>
18.	<i>Settlement areas</i>	<i>Settlement</i>	SL	<i>Non-forest</i>
19.	<i>Port and harbor</i>	<i>Other land</i>	OL	<i>Non-forest</i>
20.	<i>Mining areas</i>	<i>Other land</i>	OL	<i>Non-forest</i>
21.	<i>Bare ground</i>	<i>Other land</i>	OL	<i>Non-forest</i>
22.	<i>Open water</i>	<i>Wetland</i>	WL	<i>Non-forest</i>
23.	<i>Clouds and no-data</i>	<i>No data</i>	-	<i>Non-forest</i>

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, pelaporan inventarisasi GRK tahun 2019-2022 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
<i>Shrubs</i>	GL	0,2	Bappenas, 2010
<i>Swamp Shrubs</i>	GL	0,6	Bappenas, 2010
<i>Primary dryland forest</i>	FL	1,075	IPCC, 2006 (Mean Value)
<i>Secondary dryland forest</i>	FL	1,075	IPCC, 2006 (Mean Value)
<i>Primary Mangrove Forest</i>	FL	1,075	IPCC, 2006 (Mean Value)
<i>Secondary Mangrove Forest</i>	FL	2,8	MoF, 1998
<i>Primary Swamp Forest</i>	FL	1,075	IPCC, 2006 (Mean Value)
<i>Secondary Swamp Forest</i>	FL	1,075	IPCC, 2006 (Mean Value)
<i>Plantation Forest</i>	FL	4,8	IPCC, 2003
<i>Settlement</i>	SL	0,2	Bappenas, 2010
<i>Agriculture Plantation</i>	CL	2,52	Bappenas, 2010
<i>Mining</i>	OL	0	Bappenas, 2010
<i>Dry land agriculture</i>	CL	0,2	Bappenas, 2010
<i>Dry land agriculture mixed with shrubs</i>	CL	0,6	Bappenas, 2010

Penggunaan/Penutupan Lahan	Kategori IPCC	MAI* (tC/ha/th)	Sumber Data
Swamp	WL	0,1	Bappenas, 2010
Savannah/ grassland	GL	0,2	Bappenas, 2010
Rice paddy	CL	0	Bappenas, 2010
Ponds	OL	0	Bappenas, 2010
Open land	OL	0,1	Bappenas, 2010
Transmigration	CL	1,32	Bappenas, 2010

* Mean Annual Increment

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

Forest Type	AGB (t.d.m ha ⁻¹)		BGB (t.d.m ha ⁻¹)		Total Biomass (t.d.m ha ⁻¹)		U (%)
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, 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

Land Cover	Mean (t CO ₂ ha ⁻¹ yr ⁻¹)	95% Confidence Interval (t CO ₂ ha ⁻¹ yr ⁻¹)		Uncertainty %
Primary dryland forest	0			
Secondary dryland forest	32.42	24.85	40	23.38
Primary mangrove forest	0			
Primary swamp forest	0			
Plantation forest	72.95	50.04	95.87	31.42
Dry shrub	45.04	26.21	63.87	41.81
Estate crop	36.63	27.6	45.65	24.62
Settlement areas	45.04	26.21	63.87	41.81
Bare ground	63.79	49.61	77.98	22.24
Savanna and Grasses	45.04	26.21	63.87	41.81
Open water	0			
Secondary mangrove forest	32.42	24.85	40	23.38
Secondary swamp forest	32.42	0	0	-100.00
Wet shrub	45.04	26.21	63.87	41.81
Pure dry agriculture	45.42	25.12	65.72	44.69
Mixed dry agriculture	54.66	30.42	78.91	44.37
Paddy field	33.71	-0.72	68.14	102.14
Fish pond/aquaculture	0			
Port and harbour	0			
Transmigration areas	54.66	30.42	78.91	44.37
Mining areas	63.79	49.61	77.98	22.24
Open swamp	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).

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

Parameter	Mean (SE)	Unit	Source
Cf (combustion factor)	0.54 (0.05)	-	Krisnawati et al. 2021;
Gef CO₂ (CO₂ emission factor)	1670.13 (34.03)	g kg ⁻¹ CO	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
Gef CH₄ (CH₄ emission factor)	177,87 (24,36)	g kg ⁻¹ CO _{2eq}	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
BD (bulk density)	0.16 (0.015)	g cm ⁻³	Konecny et al. 2016; Warren et al. 2012, Agus et al. 2011; Lampela et al.2014; Kononen et al. 2015; Shimada et al.2001
Db (Burn depth)	31.88 (4.68)	cm	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

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

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

Land cover	Fuel-Biomass (t ha⁻¹ DM)	Combustion Factors	G_{ef} CH₄ (g kg⁻¹ DM)	G_{ef} N₂O (g kg⁻¹ DM)	GWP CH₄	GWP N₂O	L_{fire}-EF CH₄ (tCO₂)	L_{fire}-EF N₂O (tCO₂)
Primary dry land forest	352.4	0.36	6.8	0.2	21	310	18.12	7.87
Secondary dry land forest	275.0	0.55	6.8	0.2	21	310	21.60	9.38
Primary mangrove forest	249.9	0.36	6.8	0.2	21	310	12.85	5.58
Primary swamp forest	297.6	0.36	6.8	0.2	21	310	15.30	6.64
Secondary mangrove forest	132.4	0.55	6.8	0.2	21	310	10.40	4.52
Secondary swamp forest	256.3	0.55	6.8	0.2	21	310	20.13	3.74

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

EmisiSecara 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 *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 tautan <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.

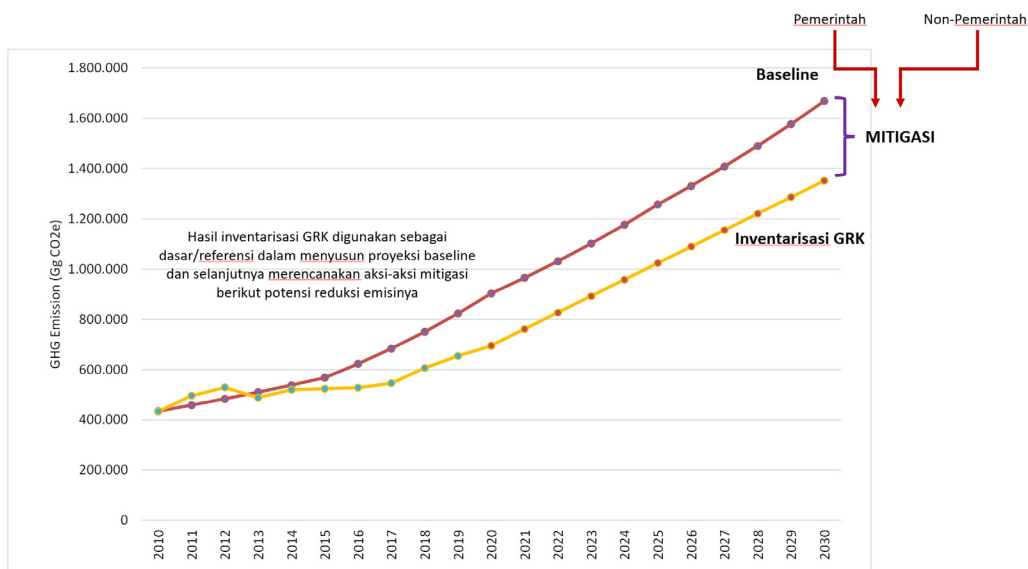
Pada sub sektor limbah cair industri penghitungan emisi GRK sudah menggunakan data spesifik, beberapa jenis industri sudah menggunakan parameter yang didapatkan dari industri secara langsung seperti debit air limbah, COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan tipe pengolahan limbah yang digunakan.

3.2 Metodologi Penghitungan Capaian Aksi Mitigasi

3.2.1 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.

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.



Gambar 3. 4 Prinsip Pengurangan Emisi Grk

3.2.2 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

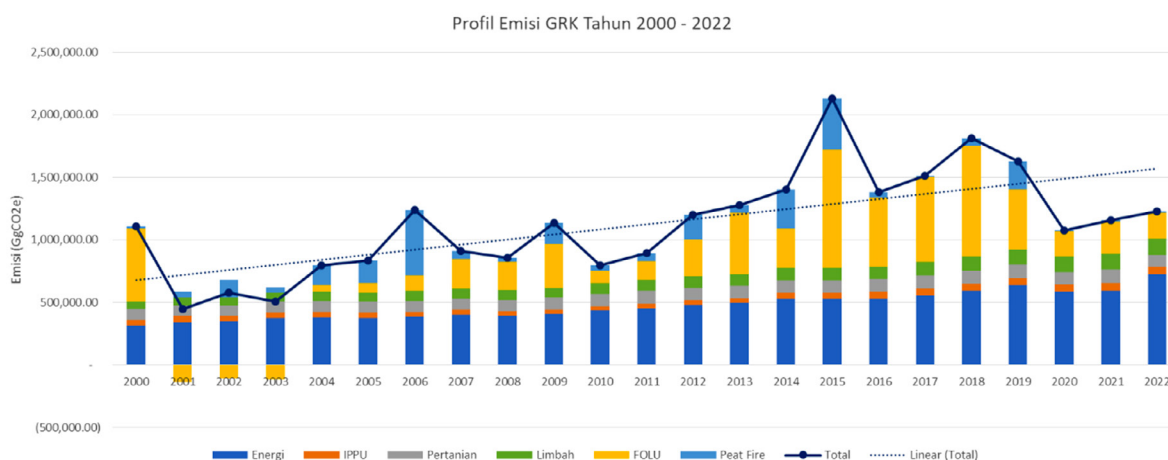
BAB IV. HASIL INVENTARISASI GRK NASIONAL

4.1 Profil Emisi GRK Nasional

Hasil perhitungan inventarisasi GRK nasional menunjukkan tingkat emisi GRK di tahun kegiatan 2022 yaitu **1.228.721,13 Gg CO₂e (1.228,72 Juta ton CO₂e)**, meningkat sebesar 120,24 Juta ton CO₂e dibanding tingkat emisi tahun 2000 sebagai awal inventarisasi GRK dilakukan dan meningkat sebesar 433,94 Juta ton CO₂e dibanding tingkat emisi tahun 2010 sebagai tahun dasar perhitungan emisi GRK pada NDC. Untuk emisi GRK pada tahun 2022 masing-masing kategori/sektor, adalah sebagai berikut:

1. Energi, sebesar **727.330,26 Gg CO₂e**.
2. Proses Industri dan Penggunaan Produk, sebesar **59.192,05 Gg CO₂e**.
3. Pertanian, sebesar **90.642,73 Gg CO₂e**.
4. Kehutanan dan penggunaan lahan lainnya, sebesar **221.367,88 Gg CO₂e**.
5. Limbah, sebesar **130.188,21 Gg CO₂e**.

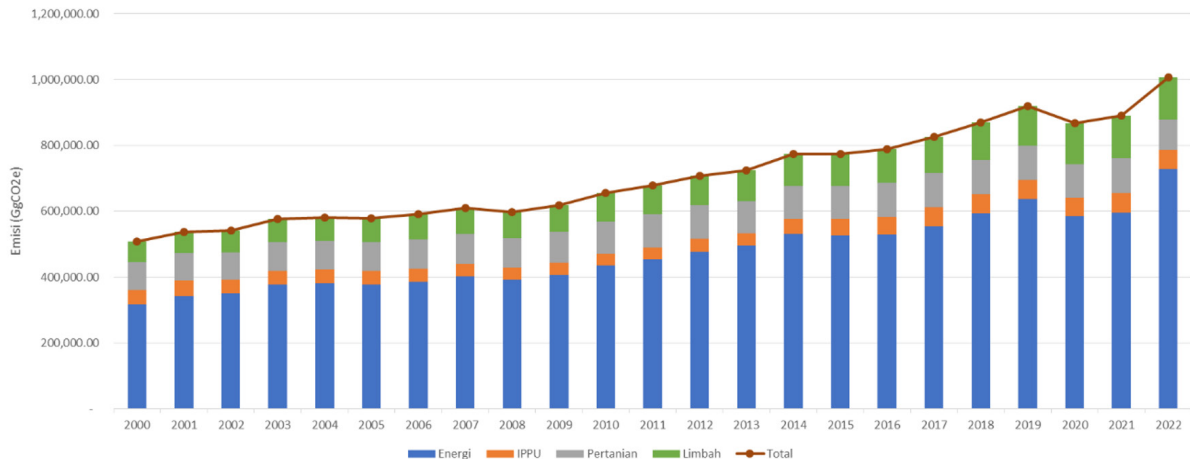
Profil emisi GRK selama periode 2000 – 2022 secara lebih lengkap digambarkan pada grafik pada Gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4. 1 Profil Emisi GRK Nasional Tahun 2000 – 2022

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa selama kurun waktu 2000 – 2022, 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 1.350.850,11 Gg CO₂e dari total emisi pada tahun tersebut sebesar 2.132.651,68 Gg CO₂e. Sedangkan pada tahun 2022, emisi dari sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya dapat ditekan menjadi 221.367,88 Gg CO₂e. Secara umum status emisi GRK Nasional tahun 2022 mengalami penurunan sebesar 6% jika dibandingkan tahun 2021, hal ini disebabkan menurunnya emisi GRK pada sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya sebesar 17%, sedangkan emisi pada sektor lainnya, kecuali sektor energi mengalami perubahan peningkatan yang deltaanya tidak terlalu besar terhadap total emisi pada tahun 2022. Emisi GRK sektor energi meningkat sebesar 22% pada tahun 2022 jika dibandingkan tahun 2021 yang disebabkan dari meningkatnya pembakaran bahan bakar

terutama dari pembakaran batubara berdasarkan data publikasi HEESI 2022, sebagaimana tergambar pada Gambar 4.2, sedangkan emisi GRK Nasional secara detail pada masing-masing kategori/sektor dapat dilihat pada Tabel 4.1.



Gambar 4. 2 Profil Emisi GRK Nasional Tahun 2000 – 2022
(Tanpa Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya)

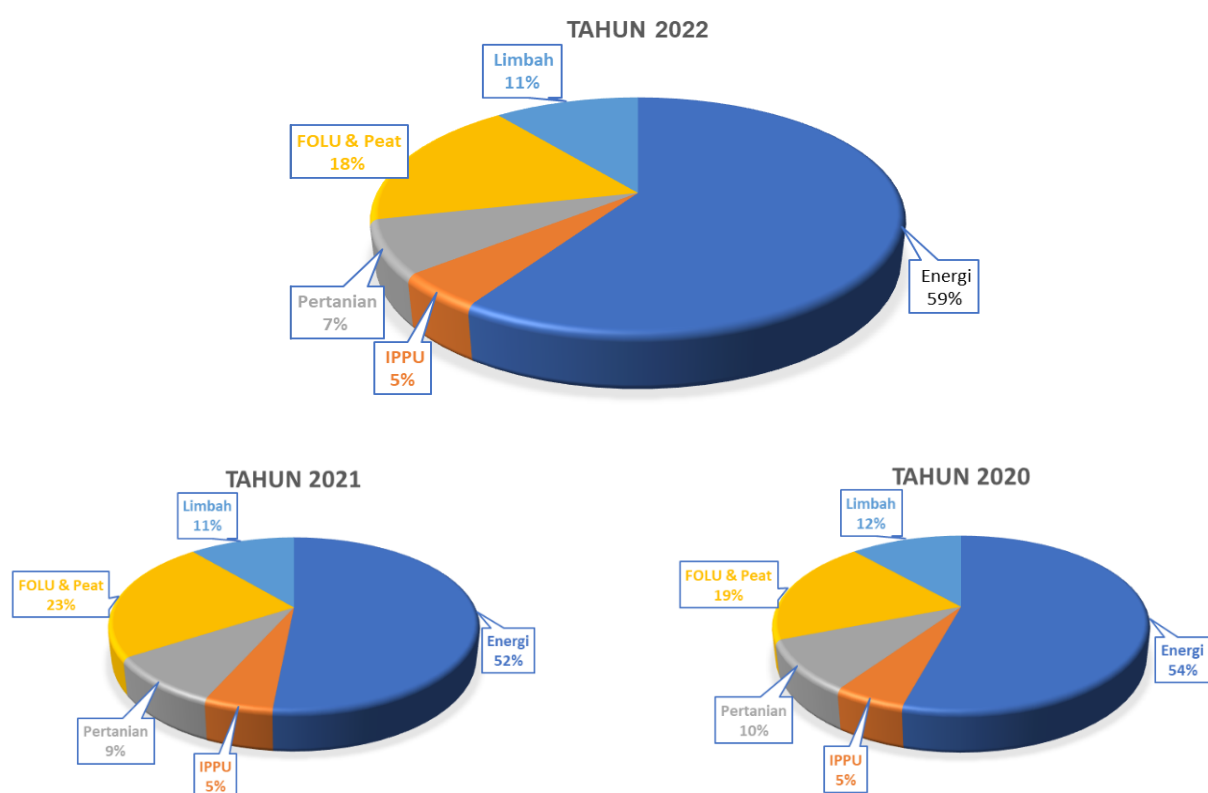
Pada tahun 2022, sektor energi memberikan kontribusi sebesar 59% terhadap total emisi/serapan GRK nasional, diikuti oleh sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya (18%), limbah (11%), pertanian (7%), dan IPPU (5%) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.3 memperlihatkan adanya pergeseran yang signifikan dibandingkan dengan kontribusi sektoral pada tahun-tahun sebelumnya, hal ini disebabkan karena adanya pengurangan emisi yang cukup signifikan pada sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya akibat penurunan kebakaran gambut. Gambar 4.3 juga menunjukkan bahwa kecenderungan setiap tahun sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya serta sektor energi merupakan sektor penyumbang emisi yang dominan terhadap emisi GRK Nasional yang cenderung melebihi 50% dari total emisi nasional.

Tabel 4. 1 Emisi GRK Nasional Tahun 2000 – 2022 Gg CO₂e

Tahun	Energi	IPPU	Pertanian	Kehutanan dan penggunaan lahan lainnya	Peat Fire	Limbah	Total
2000	317,609.08	42,920.09	84,537.46	586,380.16	14,848.98	62,190.74	1,108,486.50
2001	341,918.97	48,314.45	82,786.49	(137,534.76)	45,399.57	64,857.22	445,741.94
2002	349,485.38	41,710.76	83,269.07	(103,439.66)	139,032.14	67,415.06	577,472.76
2003	378,050.39	41,454.42	86,166.19	(117,773.20)	47,686.72	70,154.81	505,739.34
2004	380,434.11	43,201.80	85,948.98	56,607.02	159,448.40	71,070.09	796,710.41
2005	376,988.05	42,349.20	87,410.58	74,069.83	179,465.72	72,870.89	833,154.27
2006	386,100.13	38,679.91	88,693.14	120,684.51	524,807.38	78,372.61	1,237,337.68
2007	402,988.53	35,948.38	91,755.87	236,656.79	66,381.97	78,329.44	912,060.98
2008	391,783.94	36,526.39	90,616.37	224,430.71	34,018.27	78,826.55	856,202.23
2009	405,652.98	37,566.34	93,956.48	346,285.81	168,771.18	81,576.26	1,133,809.05
2010	434,715.47	35,731.89	96,955.06	96,687.41	42,924.53	87,766.10	794,780.46
2011	454,484.02	34,601.46	102,978.69	147,780.71	65,636.58	86,936.71	892,418.17

Tahun	Energi	IPPU	Pertanian	Kehutanan dan penggunaan lahan lainnya	Peat Fire	Limbah	Total
2012	477,849.73	38,842.77	101,693.21	298,795.57	192,756.60	89,209.19	1,199,147.08
2013	496,030.34	37,873.97	97,046.15	490,703.30	60,724.68	93,569.26	1,275,947.69
2014	531,142.17	45,996.24	100,092.09	317,878.28	314,077.86	95,884.01	1,405,070.64
2015	527,102.76	48,744.82	100,684.66	948,566.88	410,013.24	97,539.33	2,132,651.68
2016	529,575.75	53,765.99	102,640.16	548,877.95	44,984.95	102,105.15	1,381,949.95
2017	553,974.42	57,085.43	105,363.38	678,681.98	6,235.53	108,938.64	1,510,279.39
2018	593,026.68	57,481.22	104,053.45	886,487.06	60,461.01	114,636.80	1,816,146.22
2019	636,452.69	58,173.48	105,300.85	481,719.74	227,462.05	120,333.20	1,629,442.01
2020	584,284.42	57,194.08	101,981.72	200,114.31	9,199.81	124,753.28	1,077,527.62
2021	595,862.49	59,377.28	105,876.65	254,745.26	11,919.26	128,274.38	1,156,055.33
2022	727,330.26	59,192.05	90,642.73	211,714.21	9,653.68	130,188.21	1,228,721.138

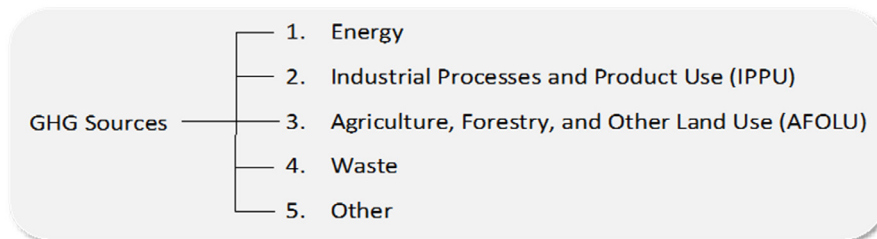
Pada tahun 2021 dan 2022 berturut-turut sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya menyumbang emisi sebesar 23% dan 18% serta sektor energi menyumbang emisi sebesar 52% dan 59%. Dengan demikian, pada tahun 2022 terjadi peningkatan kontribusi emisi sektor energi dan pengurangan emisi pada sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya yang signifikan.



Gambar 4. 3 Kontribusi Emisi GRK Sektoral Terhadap Emisi GRK Nasional

4.2 Profil Emisi Sektoral

Bab ini membahas rangkuman Inventarisasi GRK Nasional Indonesia tahun 2022. 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

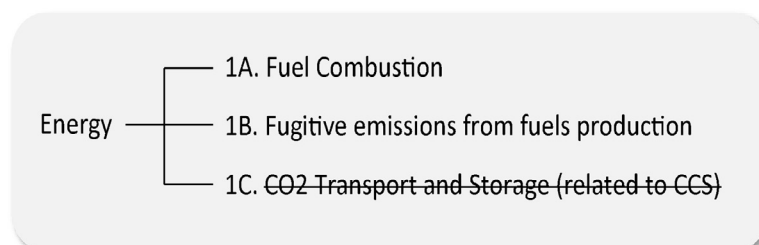
Kegiatan Pengadaan dan Penggunaan Energi merupakan salah satu sektor penting dalam inventarisasi emisi gas rumah kaca (GRK). Cakupan inventarisasi sektor energi meliputi kegiatan pengadaan/penyediaan energi dan penggunaan energi. Pengadaan/penyediaan energi meliputi kegiatan-kegiatan sebagai berikut:

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*)

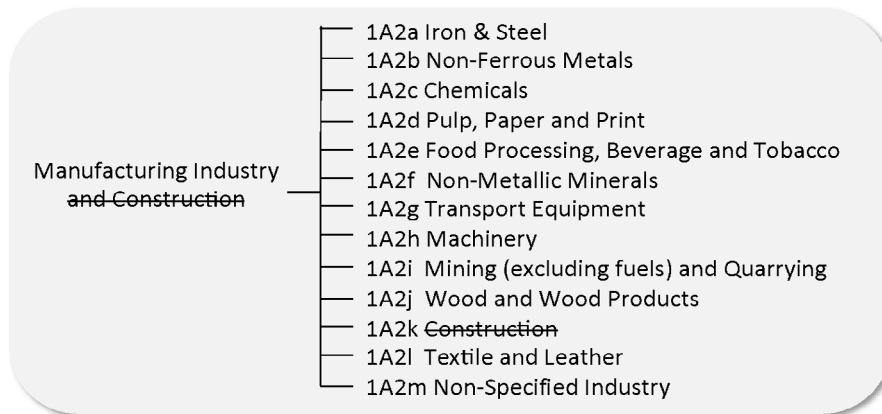
Emisi GRK yang berasal dari pembakaran bahan bakar termasuk emisi yang dihasilkan oleh industri energi, manufaktur, industri (tidak termasuk konstruksi), transportasi, dan sumber-sumber lainnya seperti rumah tangga, komersial, dan ACM (*Agriculture, Construction, and Mining*), sebagaimana Gambar 4.6 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

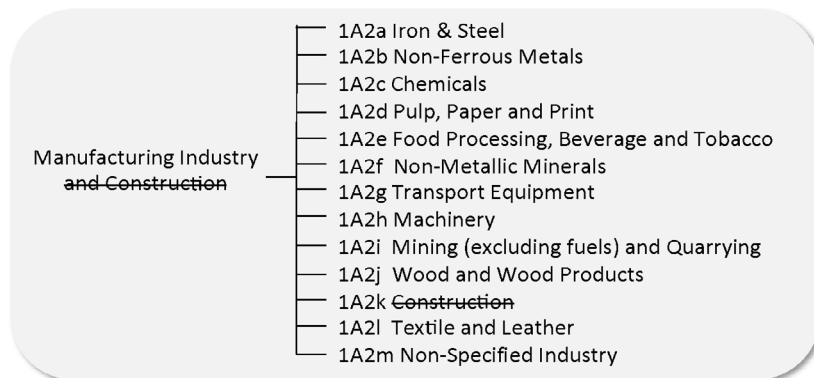
Emisi GRK dari kategori ini mencakup semua emisi yang dihasilkan selama pembakaran bahan bakar pada produksi listrik dan panas, industri minyak bumi, dan manufaktur bahan bakar padat. Produksi listrik termasuk listrik yang dihasilkan oleh PLN, pembangkit listrik mandiri, dan pembangkit listrik swasta. 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.

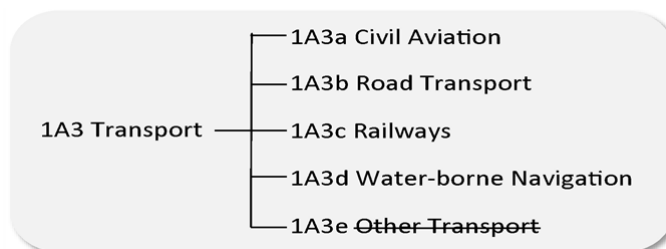


Gambar 4. 8 Sumber Emisi GRK dari Pembakaran Bahan Bakar pada Industri Manufaktur

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.



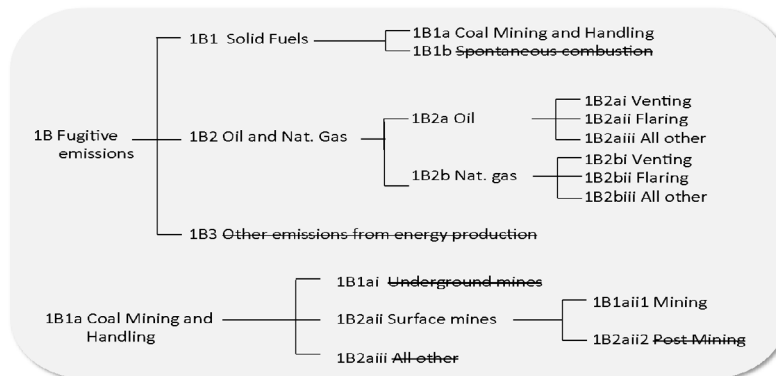
Gambar 4. 9 Cakupan Sumber Emisi GRK dari Pembakaran Bahan Bakar Transportasi

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 2022.

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 2022 yang diterbitkan oleh Pusdatin, Kementerian Energi dan Sumber Daya (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 dan 2022 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.

E. 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:

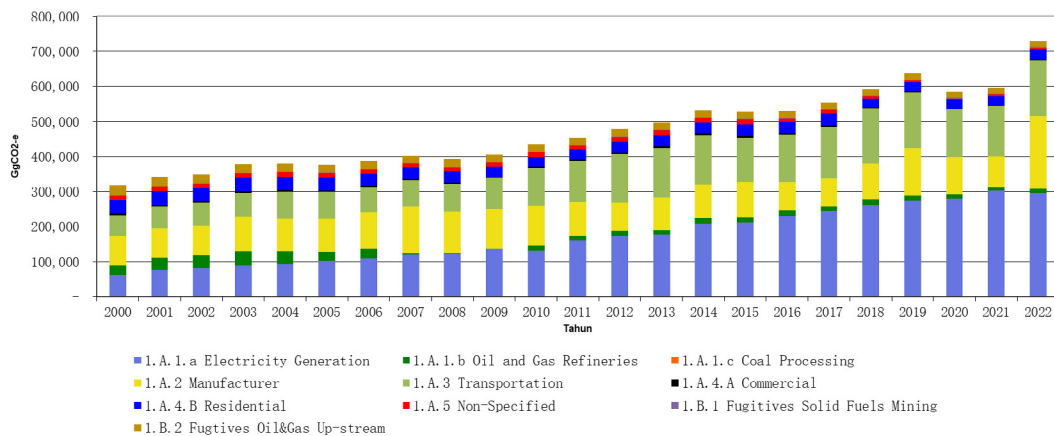
1. *Sectoral Approach*: pendekatan *bottom-up*, menggunakan data konsumsi energi final (berdasarkan data penggunaan energi).
2. *Reference approach*: pendekatan *top-down* menggunakan data pasokan energi (berdasarkan jenis bahan bakar yang diproduksi dan digunakan).

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.

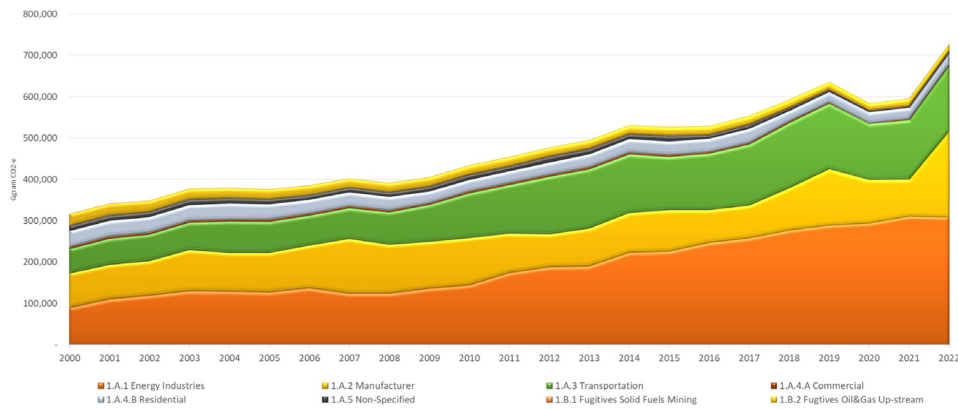
1. *Sectoral Approach*: Tingkat Emisi GRK berdasarkan Sektor

Berdasarkan pendekatan sektoral Emisi GRK dikelompokkan berdasarkan emisi subsektor. Emisi sektoral dari kegiatan energi selama periode 2000 – 2022 disajikan pada Tabel 4.2 yang menunjukkan emisi sedikit berfluktuasi namun secara keseluruhan tren emisi meningkat. Pada periode amatan tahun 2000 – 2022 tingkat pertumbuhan adalah sebesar 3,3% dari 317.609 Gg CO₂e pada tahun 2000 menjadi 727.330 Gg CO₂e pada tahun 2022, 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 2022 dapat dilihat bahwa penggunaan energi pada industri (termasuk didalamnya penggunaan bahan bakar pada pembangkit listrik dan panas, dan penggunaan bahan bakar pada kilang minyak) merupakan penyumbang emisi terbesar pada sektor energi (42,3%), yang diikuti oleh industri manufaktur (28,6%), transportasi (21,9%), perumahan (3,8%), emisi *fugitive* dari minyak dan gas (2,1%), emisi dari *non-specified* (0,5%), emisi *fugitive* dari *surface coal mining* (0,4%), dan emisi dari komersial (0,3%). Sedangkan pada pengolahan batubara tidak menghasilkan emisi GRK pada proses pengolahannya.

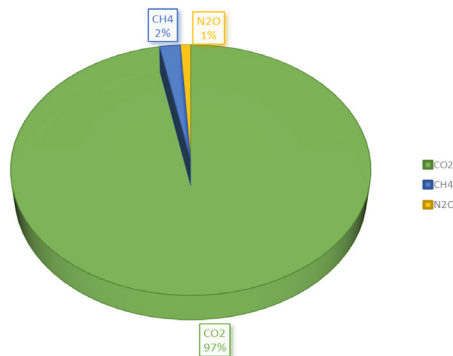


Gambar 4. 11 Tingkat Emisi GRK Sektor Energi Berdasarkan Subkategori Sumber Emisi Tahun 2000 – 2022

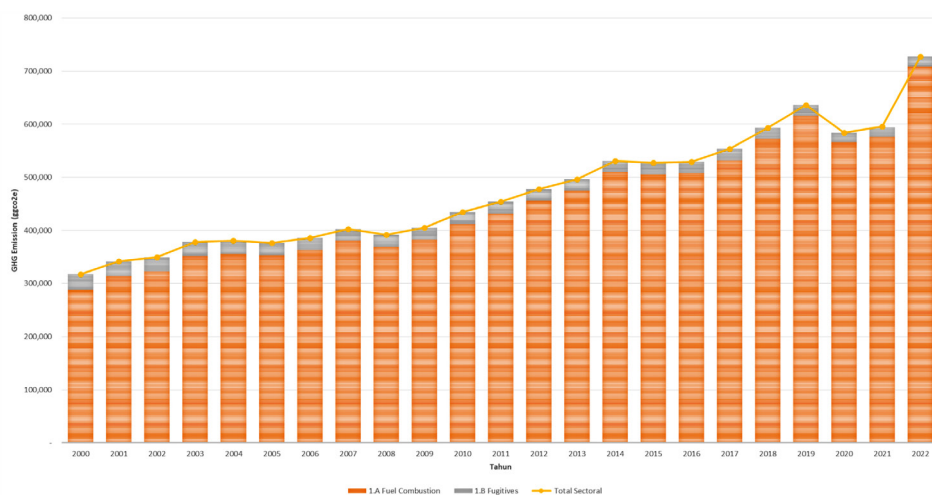


Gambar 4. 12 Kecenderungan Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2000 – 2022

Pada Gambar 4.13 emisi berdasarkan jenis gas menunjukkan bahwa emisi dari gas CO₂ mendominasi sebesar 97%, diikuti oleh gas CH₄ sebesar 2% 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 2022 Jenis Gas



Gambar 4. 14 Perkembangan Emisi Pembakaran Bahan Bakar dan Emisi Fugitive Periode Tahun 2000 – 2022

Tabel 4. 2 Emisi GRK dari Kegiatan Energi Tahun 2000 – 2022

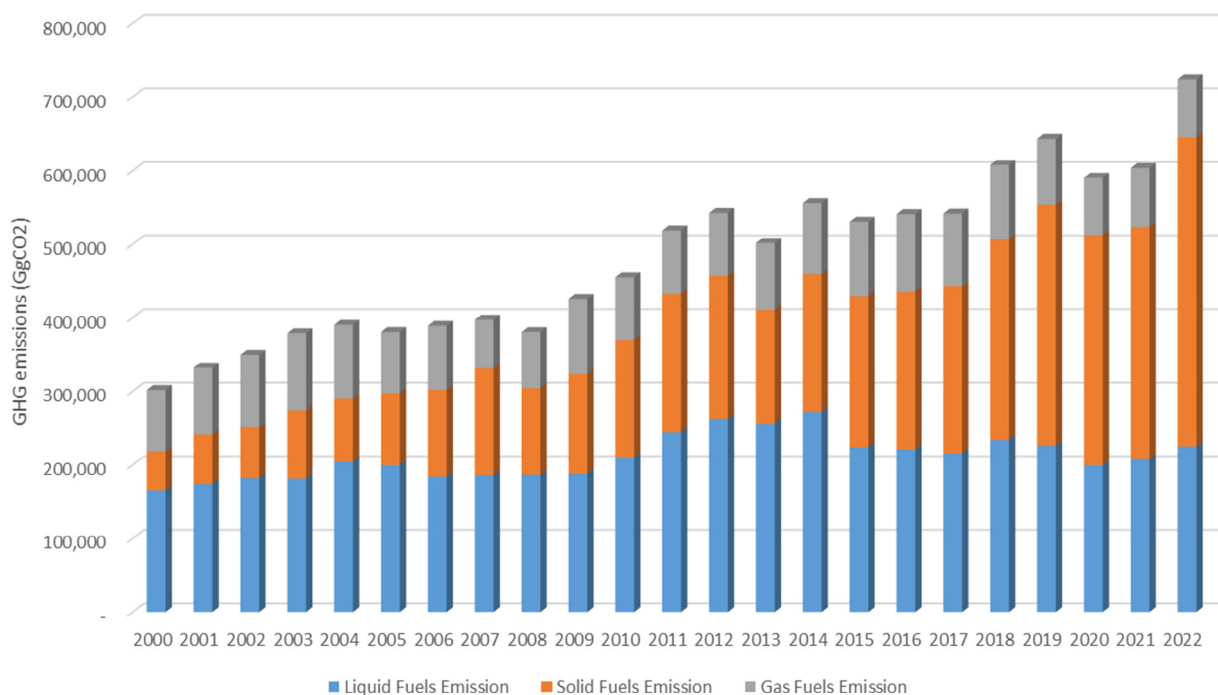
Source of GHG Emissions		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Emission (tCO ₂ e)										2020	2021	2022		
By Type of Fuel																											
1. Liquid Fuels		164,914	174,125	182,603	181,234	204,441	199,436	183,869	185,707	186,400	188,125	210,441	262,190	255,083	271,569	223,569	220,606	215,526	234,188	225,682	199,590	207,724	224,372				
2. Solid Fuels		52,911	67,189	69,334	59,076	65,510	97,937	118,121	145,745	118,057	135,904	150,024	162,633	170,858	187,476	235,751	214,497	226,794	272,744	328,057	312,577	313,318	420,807				
3. Natural Gas		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000				
Total by type of fuel		301,234	332,111	349,244	379,238	390,455	390,455	390,190	397,283	380,008	425,511	465,441	492,108	518,949	555,840	530,420	540,547	541,138	607,796	643,129	596,347	605,576	724,145				
By Sector/Source																											
1.A.1 Energy Industries		89,716	116,793	119,792	130,180	139,510	127,116	137,854	144,626	124,405	136,529	144,526	157,403	167,531	189,660	228,211	226,278	246,641	276,242	289,043	298,143	305,755	307,944				
1.A.1.1 Manufacturing		89,716	116,793	119,792	130,180	139,510	127,116	137,854	144,626	124,405	136,529	144,526	157,403	167,531	189,660	228,211	226,278	246,641	276,242	289,043	298,143	305,755	307,944				
1.A.1.2 Power Generation		27,688	34,131	38,829	39,242	36,062	23,867	28,849	2,311	2,442	3,905	13,449	12,072	12,579	14,503	14,331	15,409	14,341	14,791	15,459	13,683	8,640	11,955				
1.A.1.3 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2 Manufacturing		83,269	83,535	83,034	99,575	93,449	95,640	104,245	122,882	118,579	112,572	114,542	96,171	80,028	92,072	96,422	100,174	79,484	79,663	103,167	136,179	105,641	89,145	202,276			
1.A.2.1 Manufacturing		83,269	83,535	83,034	99,575	93,449	95,640	104,245	122,882	118,579	112,572	114,542	96,171	80,028	92,072	96,422	100,174	79,484	79,663	103,167	136,179	105,641	89,145	202,276			
1.A.2.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.1 Pulping, Paper, and Print		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.2.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.2.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1.A.2.1 Other		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-											

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. Berdasarkan pada Gambar 4.15, emisi GRK selama periode tahun 2000 – 2022 berfluktuatif dan cenderung mengalami peningkatan.

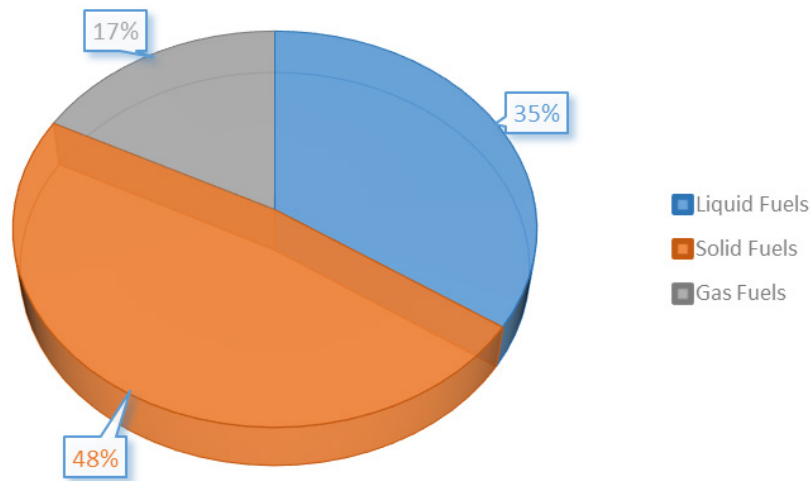
Pada tahun 2000, emisi GRK adalah sebesar 301.734 Gg CO₂ meningkat menjadi 724.145 Gg CO₂ pada tahun 2022 dengan tingkat pertumbuhan rata-rata pertahun sebesar 3,3%. Selama periode 2000 – 2016 sumber emisi GRK didominasi oleh bahan bakar cair, namun sejak tahun 2017, emisi didominasi oleh bahan bakar 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 2022 sebesar 724.145 Gg CO₂, sebesar 420.807 Gg CO₂ berasal dari batubara (58%), emisi dari bahan bakar cair sebesar 224.372 Gg CO₂ (31%), dan emisi dari bahan bakar gas sebesar 78.966 Gg CO₂ (11%).



Gambar 4.15 Emisi GRK dari Pendekatan Referensi Berdasarkan Jenis Bahan Bakar Tahun 2000 – 2022

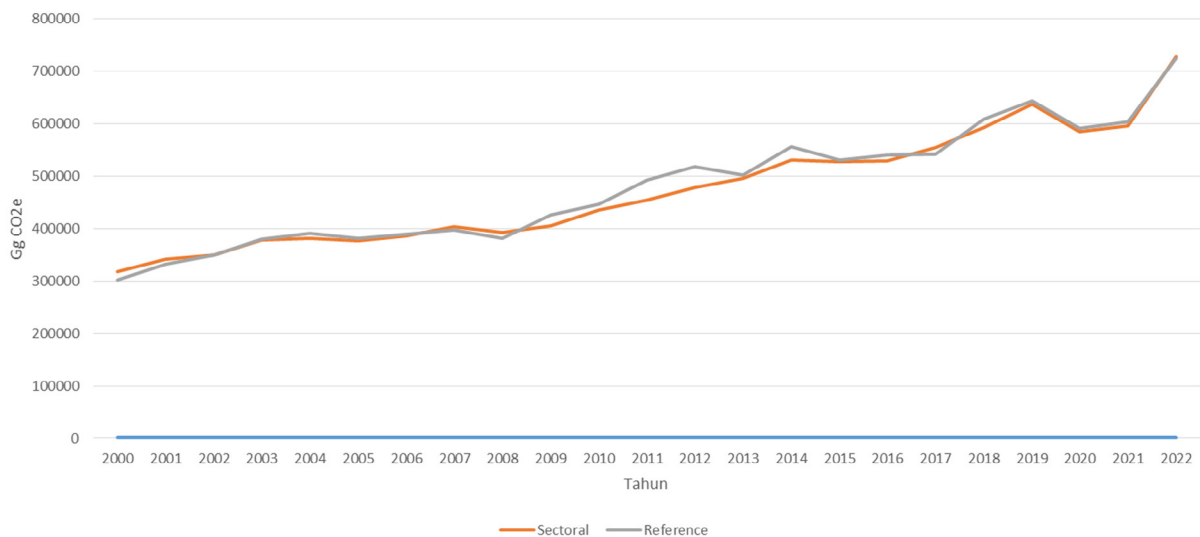
Merujuk pada data tren konsumsi bahan bakar nasional pada periode 2017 – 2022, konsumsi bahan bakar didominasi oleh batubara (bahan bakar padat), kemudian diikuti oleh bahan bakar cair dan bahan bakar gas. Pada tahun 2022, *supply* bahan bakar hampir sebagian besar berupa batubara (bahan bakar padat), yakni 745.721 MBOE. Sedangkan bahan bakar cair (BBM) dan gas yang di-*supply* untuk memenuhi kebutuhan energi nasional adalah sebesar 536.396 MBOE dan 269.722 MBOE. Demikian pula dengan tingkat emisi referensi untuk bahan bakar batubara berkontribusi 48% (bahan bakar padat) sedangkan kontribusi emisi yang berasal dari bahan bakar cair dan gas masing-masing sebesar 35% dan 17% dari total *supply* bahan bakar domestik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4. 16 Persentase Konsumsi Bahan Bakar Nasional Tahun 2022

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 – 2022.



Gambar 4. 17 Perbandingan Perhitungan Emisi dengan Menggunakan Pendekatan Referensi dan Pendekatan Sektoral Tahun 2000 – 2022

Hasil perhitungan emisi GRK menunjukkan bahwa perhitungan CO₂ menggunakan pendekatan referensi 0,4% lebih rendah jika dibandingkan pendekatan sektoral (Tabel 4.3). IPCC *Guidelines* 2006 menyebutkan secara umum perbedaan perhitungan dengan menggunakan kedua pendekatan ini adalah berkisar 5%.

Tabel 4. 3 Perhitungan Emisi GRK Sektor Energi Menggunakan Metode Reference dan Sectoral Approach, Gg CO₂-Emisi GRK dari Kegiatan Energi Tahun 2022

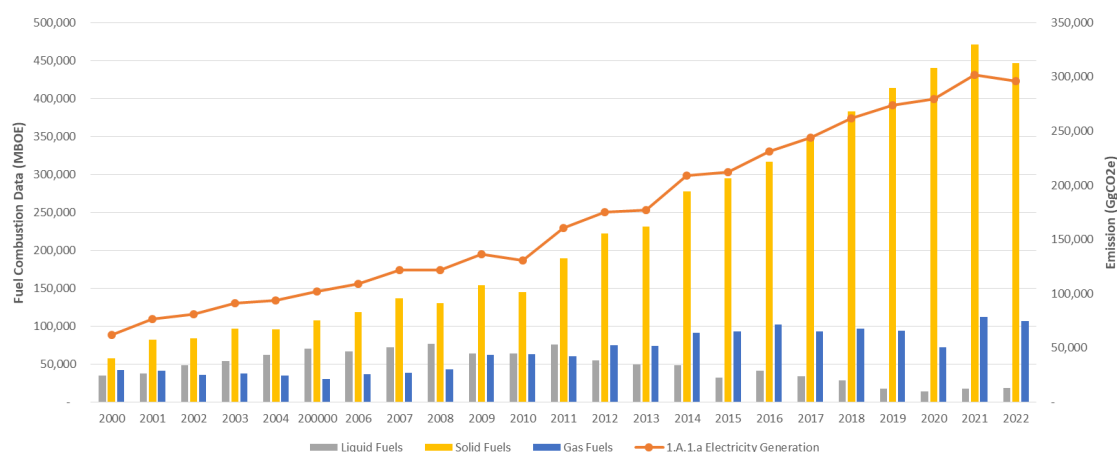
Metode dan Sumber Emisi	2022 Emission (Gg CO ₂ e)
<i>Metode: Reference Approach</i>	
1. Liquid Fuels	224.372
2. Solid Fuels	420.807
3. Gas Fuels	78.966
Total Reference Approach	724.145
<i>Metode: Sectoral Approach</i>	
1.A Fuel Combustion	708.867
1.B Fugitives Emissions	18.463
Total Sectoral Approach	727.330
Discrepancy	0,4%

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

Pembangkit listrik saat ini merupakan penghasil emisi GRK terbesar di antara penghasil emisi GRK di bidang sektor energi, mewakili 40,7% dari emisi sektor energi pada tahun 2022. Sumber utama emisi adalah pembakaran bahan bakar padat sebesar 78% dari total penggunaan bahan bakar fosil di subsektor pembangkit listrik, sedangkan emisi sisanya dihasilkan oleh pembakaran berbahan bakar gas (19%) dan bahan bakar cair (3%) dengan rincian penggunaan bahan bakar dipembangkit listrik berdasarkan data *Energy Balanced Table* (EBT) dari publikasi HEESI 2022, antara lain: penggunaan batubara sebesar 446.530 MBOE, penggunaan gas sebesar 106.864 MBOE dan penggunaan dari bahan bakar cair sebesar 18.127 MBOE.



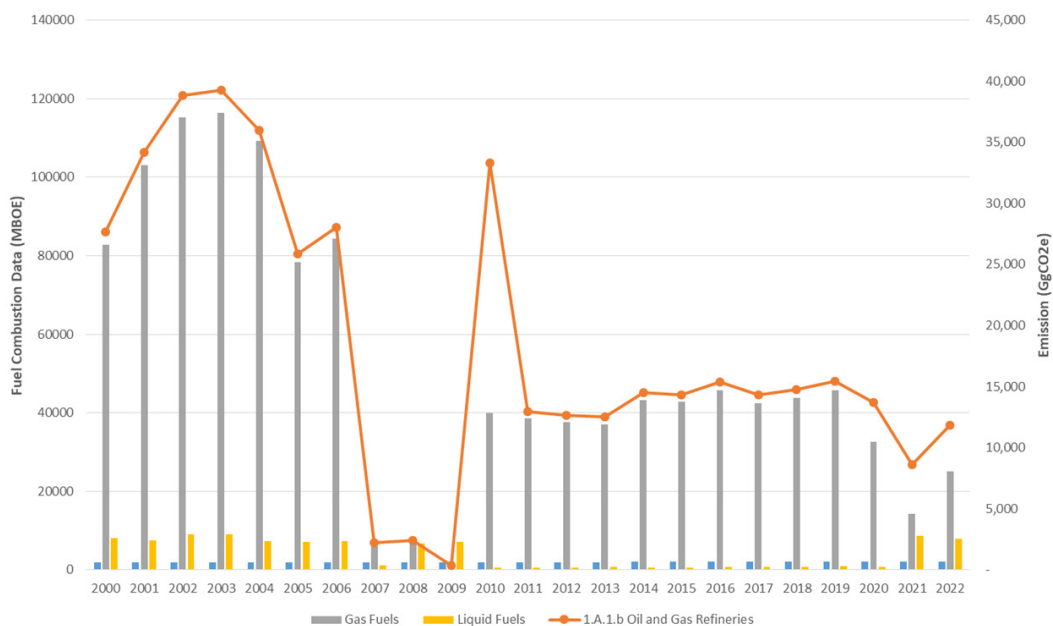
Gambar 4. 18 Emisi GRK Subsektor Pembangkit Listrik Tahun 2000 – 2022

Pada Gambar 4.18 menunjukkan bahwa emisi GRK dari pembangkit listrik mengalami peningkatan setiap tahun sesuai dengan meningkatnya penggunaan bahan bakar fosil pada pembangkit. Tingkat pertumbuhan pertahun emisi GRK dari pembangkit listrik rata-rata sebesar 6,6% per tahun dari 62.030 Gg CO₂e pada tahun 2000 menjadi 296,088 Gg CO₂e di tahun 2022. Berdasarkan data penjualan batubara dalam negeri pada HEESI 2022 menunjukkan bahwa penjualan batubara untuk pembangkit listrik meningkat sebesar 17.092.888 ton pada tahun 2002 jika dibandingkan dengan tahun 2021, tetapi tingkat emisi GRK pada subsektor pembangkit listrik mengalami penurunan sebesar 2% di tahun 2022 jika dibandingkan dengan tahun 2021 dengan emisi GRK sebesar 302.115 Gg CO₂e. Hal ini diakibatkan penggantian penggunaan faktor konversi batubara yang sebelum tahun 2022 menggunakan faktor pengali ke BOE (*Barrel Oil Equivalent*) sebesar 4.2 maka pada tahun 2022 faktor pengali ke BOE menjadi 3,4554. Sehingga penjualan batubara pada subsektor pembangkit listrik pada tahun 2021 adalah sebesar 112.133.733 ton dikonversi ke BOE adalah sebesar 600.304 MBOE dan data penjualan batubara di subsektor pembangkit listrik adalah sebesar 129.226.621 ton dikonversi ke BOE menjadi 571.520 MBOE.

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.

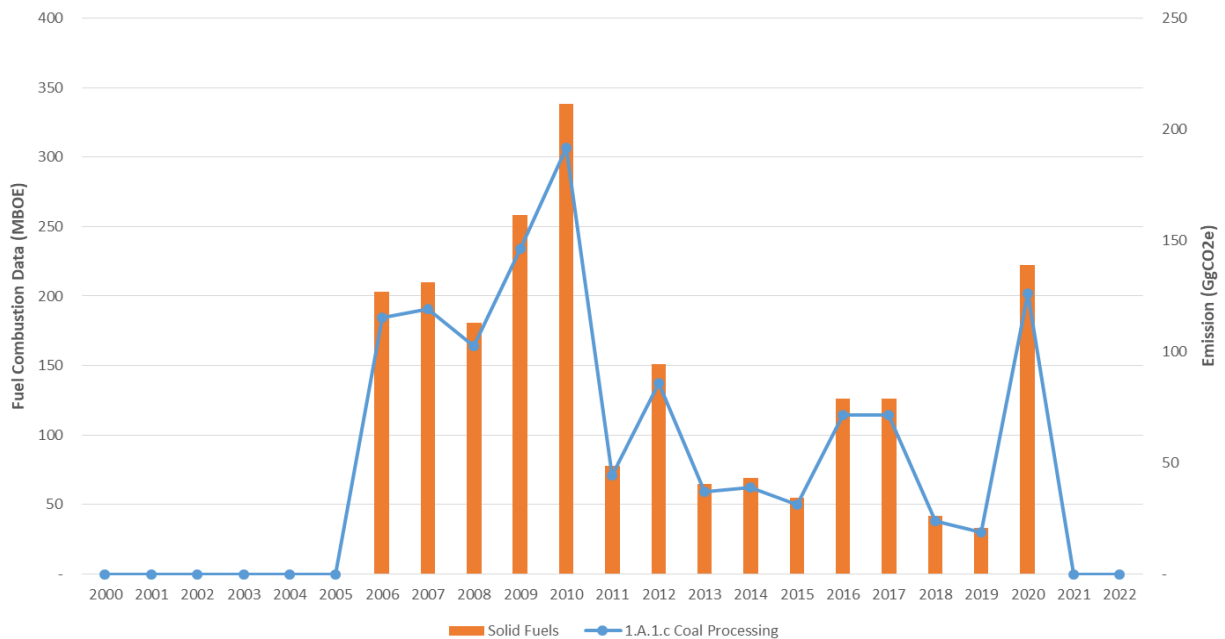
Emisi GRK pada subsektor industri minyak dan gas menunjukkan fluktuasi selama periode 2000 – 2006, diikuti penurunan tajam pada tahun 2007 dan diikuti dengan sedikit peningkatan bertahap pada tahun-tahun berikutnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.19 di bawah ini. Hal ini konsisten dengan penggunaan energi fosil yang memang berfluktuatif. Data Aktivitas tahun 2021 dan 2022 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 2022 adalah sebesar 11,855 Gg CO₂e meningkat sebesar 37% jika dibandingkan tahun 2020 sebesar 8.640 Gg CO₂e.



Gambar 4. 19 Emisi GRK Subsektor Industri Minyak dan Gas Tahun 2000 – 2022

c. Emisi GRK di Subsektor Pengolahan Batubara

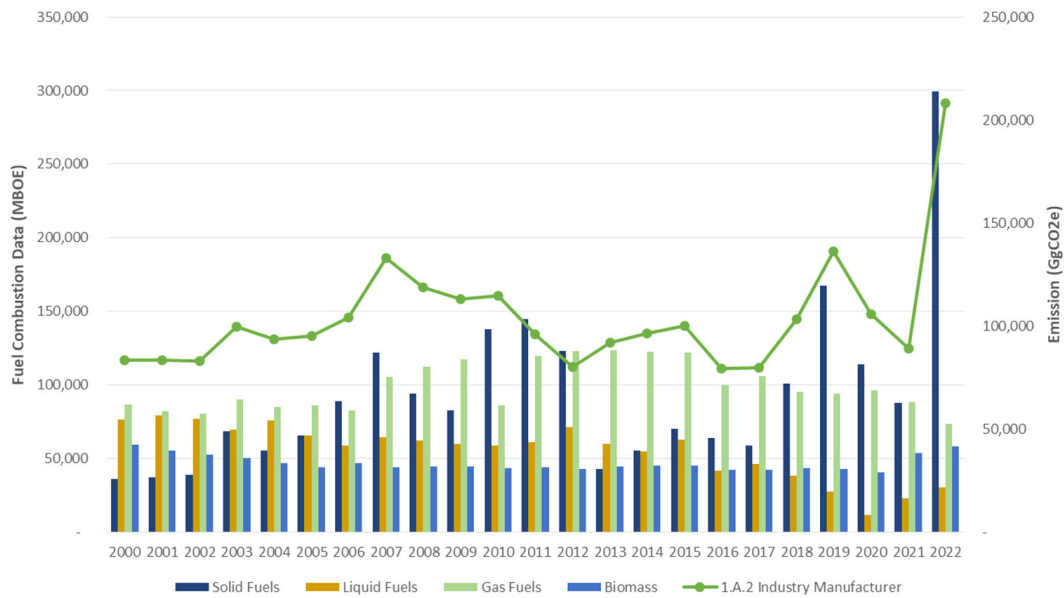
Berdasarkan Gambar 4.20 pengolahan batubara telah dilakukan sejak tahun 2006. Emisi GRK pada subsektor ini berfluktuasi, dengan kecenderungan menurun. Emisi GRK dari pengolahan batubara tahun 2022 dan 2021 adalah sebesar 0 Gg CO₂e menurun signifikan jika dibandingkan tahun 2020 sebesar 126 Gg CO₂e. Hal ini berdasarkan sumber data HEESI menunjukkan bahwa pada tahun 2021 tidak ada penggunaan batubara pada pengolahan batubara disebabkan beralih konsumsi batubara kepada penggunaan energi listrik dari PLN.



Gambar 4. 20 Emisi GRK Subsektor Pengolahan Batubara Tahun 2000 – 2022

d. Emisi GRK di Subsektor Industri Manufaktur

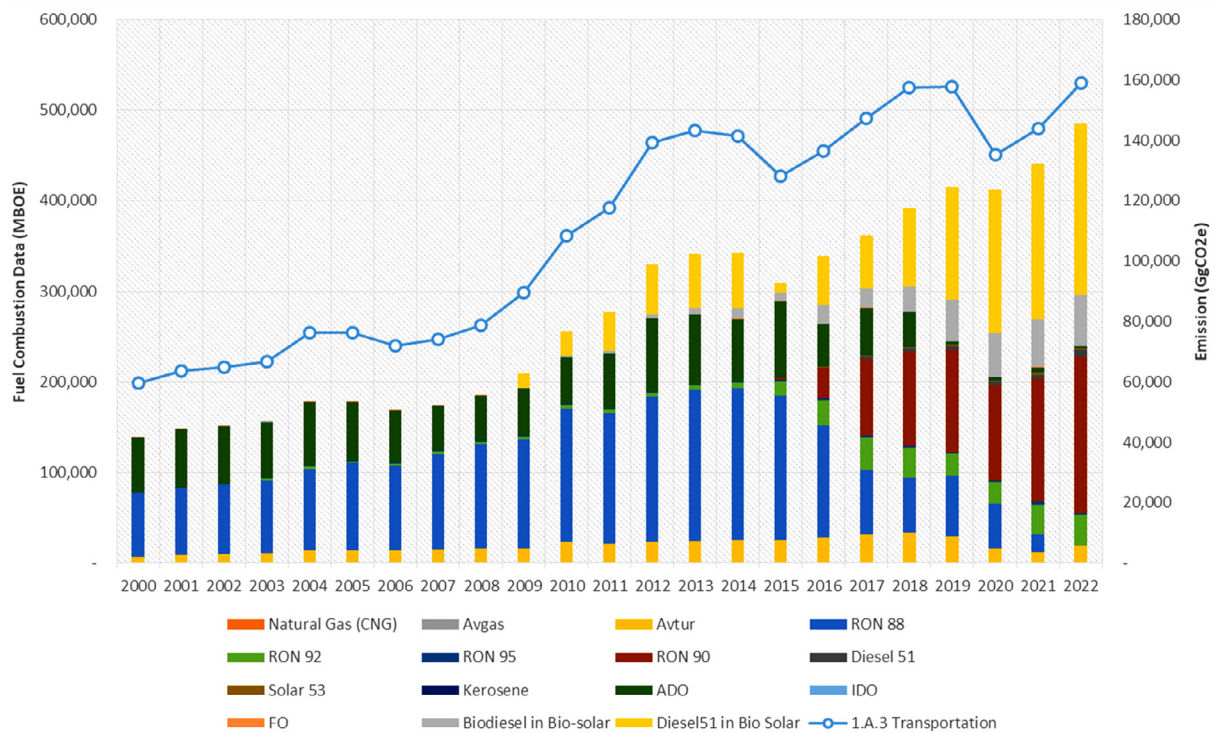
Pada subsektor industri manufaktur, emisi GRK dihitung berdasarkan pembakaran bahan bakar. Konsumsi energi di industri manufaktur selama periode 2000 – 2022 didominasi oleh bahan bakar fosil yaitu gas bumi diikuti oleh minyak bumi dan batubara. Gambar 4.21 menunjukkan bahwa emisi GRK subsektor industri manufaktur tahun 2022 meningkat sebesar 134% jika dibandingkan tahun 2021. Hal ini sesuai dengan meningkatnya penggunaan bahan bakar fosil pada industri manufaktur. Berdasarkan data HEESI tahun 2022 terjadi peningkatan penggunaan bahan bakar fosil pada subsektor industri sebesar 82% jika dibandingkan dengan tahun 2021. Peningkatan terbesar terdapat pada penggunaan batubara di industri manufaktur sebesar 241% di tahun 2022.



Gambar 4.21 Emisi GRK Subsektor Industri Manufaktur Tahun 2000 – 2022

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 – 2022 ditunjukkan pada Gambar 4.22.



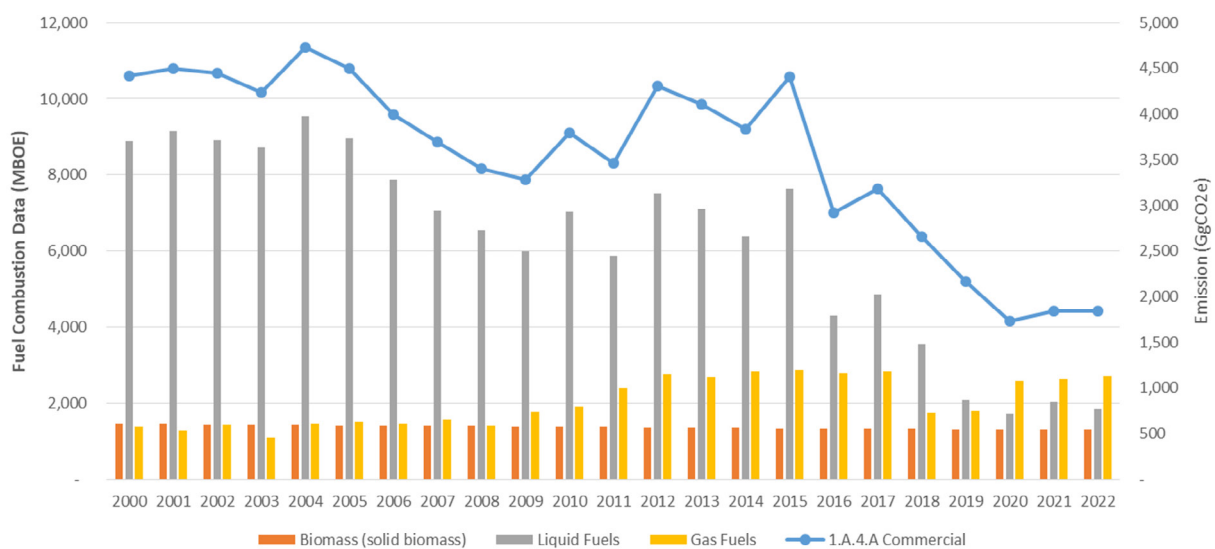
Gambar 4. 22 Emisi GRK Subsektor Transportasi Tahun 2000 – 2022

Selama periode tahun 2000 – 2022, tingkat pertumbuhan emisi GRK di subsektor transportasi rata-rata sebesar 4,8% per tahun. Pada tahun 2022, Emisi GRK di subsektor transportasi sebesar 158,930 Gg CO₂e meningkat sebesar 10% jika dibandingkan dengan tahun 2021 (143.910 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 95% dari total emisi GRK subsektor transportasi.

f. Emisi GRK di Subsektor Komersial

Pada Gambar 4.23 menunjukkan tren emisi GRK di subsektor komersial selama periode tahun 2000 – 2022. Gambar tersebut menunjukkan bahwa emisi GRK berfluktuasi selama periode tersebut. Perbandingan tahun 2000 dan 2022 menunjukkan pengurangan emisi GRK yang signifikan pada subsektor komersial.



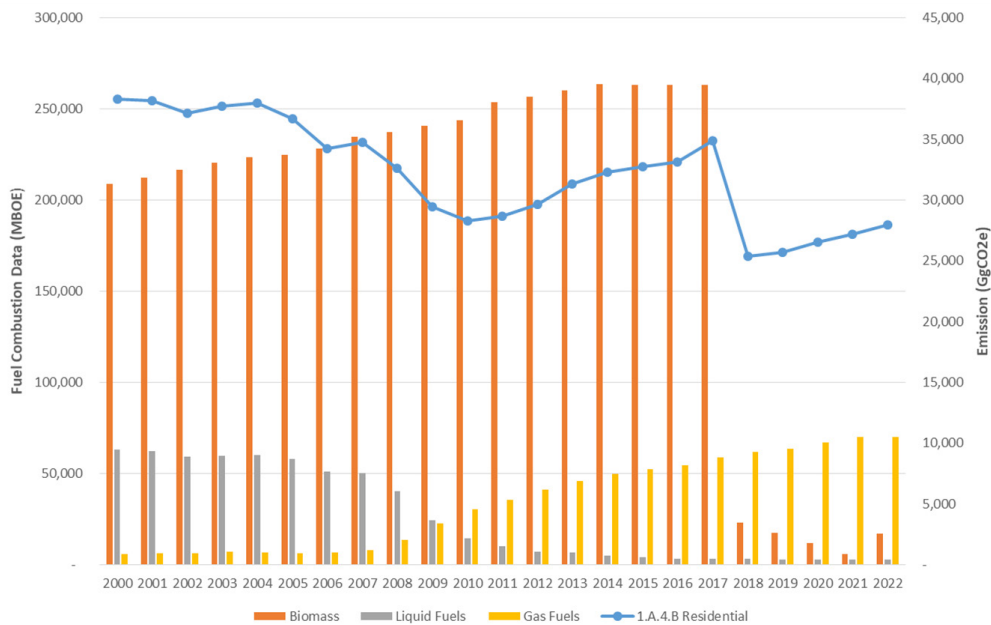
Gambar 4. 23 Emisi GRK Subsektor Komersial Tahun 2000 – 2022

Tren emisi GRK dari sektor komersial mengikuti tren konsumsi energi. Pada tahun 2021, tingkat emisi GRK di subsektor komersial tahun 2022 adalah sebesar 1,842 Gg CO₂e dengan kecenderungan emisi GRK menurun sebesar 3,1% pertahun selama periode tahun 2000 - 2022.

g. Emisi GRK di Subsektor Rumah Tangga

Perubahan emisi GRK terkait dari subsektor perumahan selama periode tahun 2000 – 2022 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.

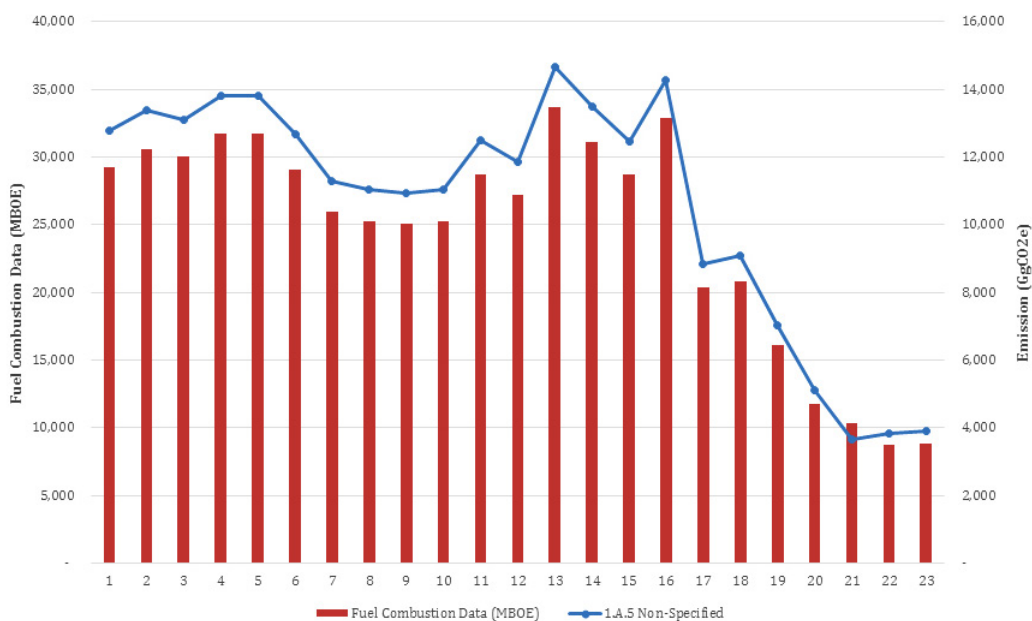
Perkembangan emisi GRK dari subsektor perumahan mengikuti perkembangan penggunaan energi. Tahun 2022 total emisi GRK adalah 27.958 Gg CO₂e meningkat sebesar 3% jika dibandingkan dengan tahun 2021 sebesar 27.204 Gg CO₂e.



Gambar 4. 24 Emisi GRK Subsektor Rumah Tangga Tahun 2000 – 2022

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 – 2022 diilustrasikan pada Gambar 4.25. Selama periode 2000 – 2022, emisi GRK pada subsektor *non-specified* berfluktuasi namun cenderung menurun. Emisi GRK pada tahun 2022 sebesar 3.910 Gg CO₂e meningkat sebesar 2% jika dibandingkan dengan tahun 2021 sebesar 3.830 Gg CO₂e.

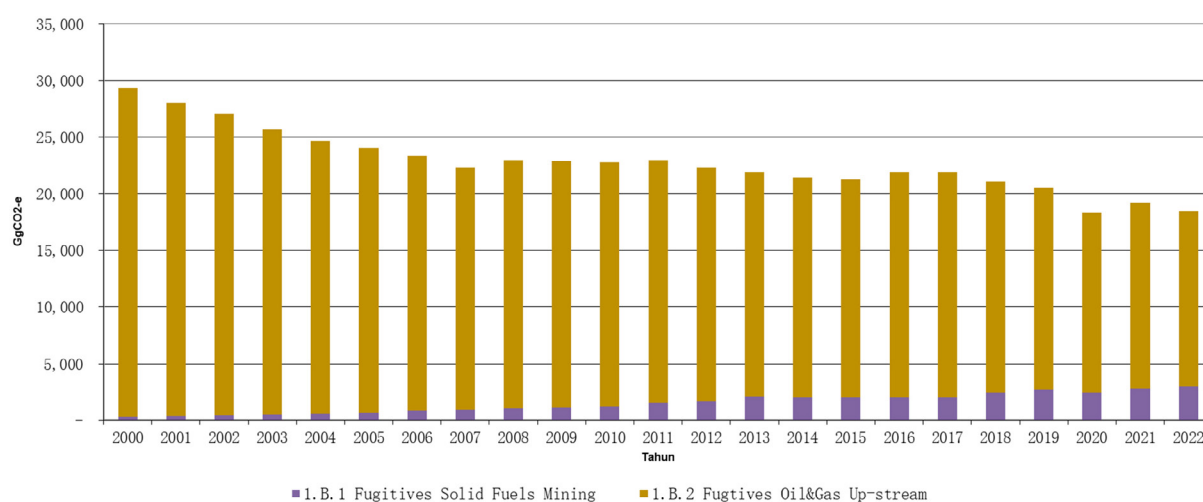


Gambar 4. 25 Emisi GRK Subsektor Non-Specified Tahun 2000 – 2022

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 – 2022. Gambar tersebut menunjukkan bahwa emisi berfluktuasi namun cenderung menurun. Sumber emisi didominasi oleh kegiatan yang berhubungan dengan minyak, diikuti oleh pertambangan gas alam dan batubara.

Pada tahun 2022, emisi *fugitives* adalah 18.463 Gg CO₂e, yang disebabkan oleh aktivitas minyak (10.004 Gg CO₂e), kegiatan gas bumi (5.460 Gg CO₂e) dan pertambangan batubara (2.998 Gg CO₂e).



Gambar 4. 26 Emisi Fugitives Tahun 2000 – 2022

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

Tabel 4. 4 Sumber Emisi Kunci Sektor Energi Tahun 2022

Code	Category	Total GHG Emissions	Level/Rank	Cumulative
1.A.1.a	Main activity electricity and heat production	296,088	40.71%	40.71%
1.A.2	Manufacturing industries and construction	208,276	28.64%	69.34%
1.A.3	Transport	158,938	21.85%	91.20%
1.A.4.b	Residential	27,958	3.84%	95.04%
1.B.2	Fugitive from Oil/Natural Gas	15,464	2.13%	97.17%
1.A.1.b	Petroleum Refining	11,855	1.63%	98.80%
1.A.5	Other	3,910	0.54%	99.33%
1.B.1	Fugitive from solid fuels	2,998	0.41%	99.75%
1.A.4.a	Commercial/Institutional	1,842	0.25%	100.00%
1.A.1.c	Coal processing	-	0.00%	100.00%
	Total	727,330		

Berdasarkan hasil *key category analysis* dapat disimpulkan bahwa kategori kunci sumber emisi utama pada sektor energi pada tahun 2022 adalah pembakaran bahan bakar pada pembangkit listrik (40,71%), yang diikuti oleh penggunaan bahan bakar pada industri manufaktur (28,64%), transportasi (21,85%), dan perumahan (3,84%). Analisis kategori kunci secara detail dapat dilihat pada Tabel 4.4.

4.2.2 Sektor IPPU

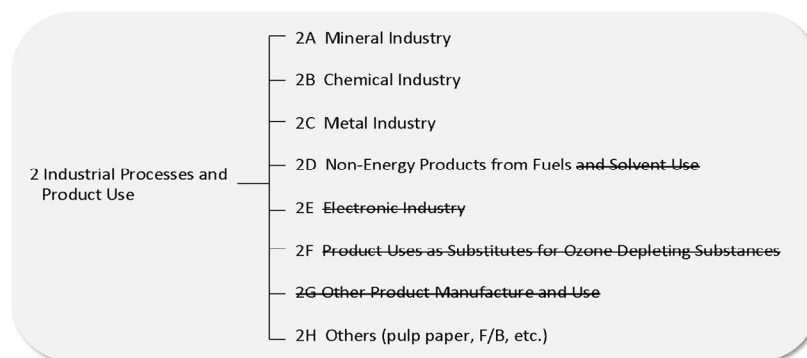
A. Kategori Sumber Emisi

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, aluminium, 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 dan kertas 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.

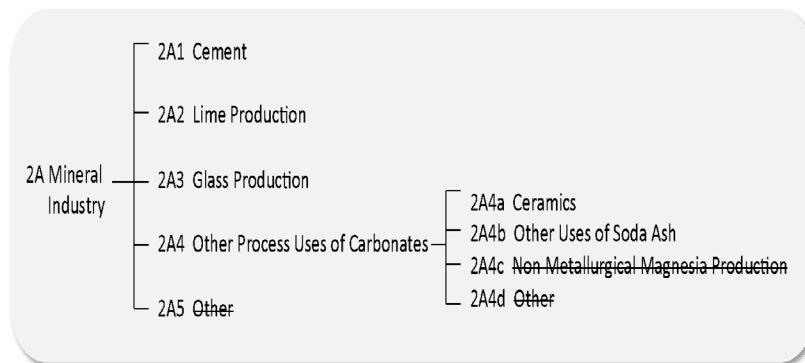


Gambar 4. 27 Sumber Emisi dari Sektor IPPU

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.

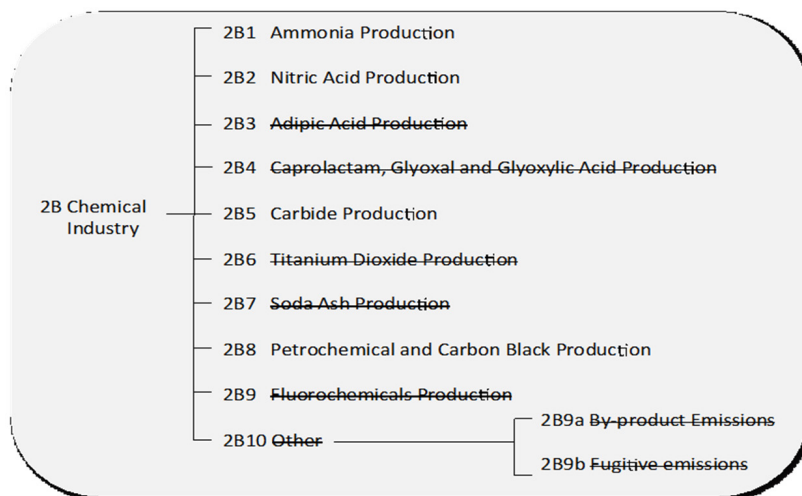


Gambar 4. 28 Cakupan Sumber Emisi Sektor IPPU dari Industri Mineral

2. Industri Kimia

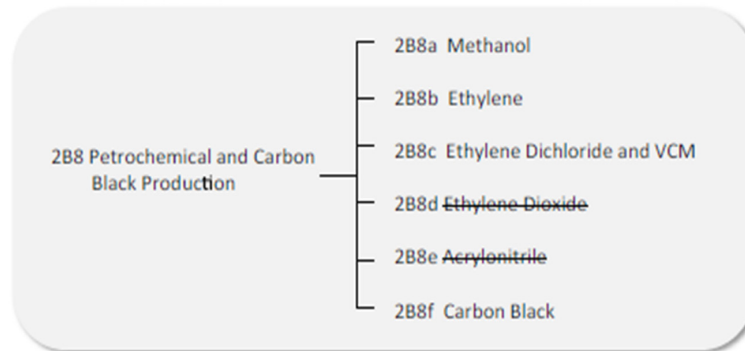
Mengacu kepada IPCC *Guidelines* 2006, proses produksi di industri kimia yang tercakup dalam inventarisasi GRK adalah amonia, asam nitrat, karbida, asam adipat, kaprolaktam, glioksal, dan asam gliksilat, titaniumdioksida, produksi soda abu alami, dan petrokimia (metanol, etilen, etilen diklorida, dan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

Namun untuk beberapa jenis industri seperti asam adipat, kaprolaktam, glioksal, asam gliksilat, 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, etilendiklorida, 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

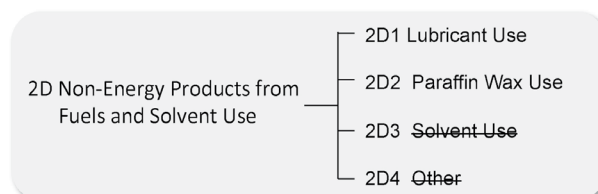
Berdasarkan IPCC *Guidelines* 2006, industri logam mencakup jenis-jenis industri seperti besi & baja, ferroalloy, alumunium, magnesium, timbal dan seng (Gambar 4.31). Namun dalam laporan ini, estimasi emisi pada inventarisasi GRK dari industri logam hanya kegiatan produksi besi dan baja, alumunium, timbal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

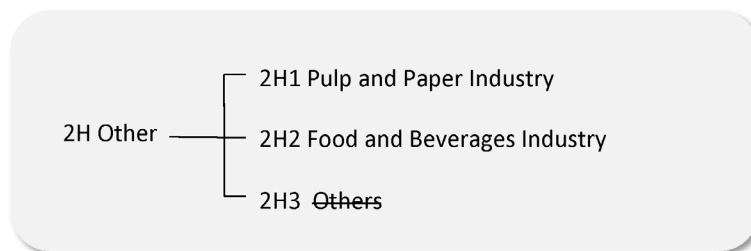
Penggunaan produk yang termasuk dalam kategori ini mencakup pelumas, lilin/parafin dan pelarut. Gambar 4.32. memperlihatkan lingkup sumber emisi GRK dari penggunaan produk yang dibahas dalam laporan ini.



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 – 2022.

D. Sumber Data

Data dan informasi terkait inventarisasi GRK sektor IPPU diperoleh dari Pusat Industri Hijau, Kementerian Perindustrian, dokumen Statistik Industri diterbitkan oleh BPS, dan *handbook of energy* yang diterbitkan Kementerian ESDM. Perlu diperhatikan bahwa seluruh data kegiatan industri telah dikonsolidasi dan diverifikasi melalui beberapa rangkaian pertemuan dan diskusi yang dikoordinasikan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

Update yang dilakukan dalam pelaporan ini untuk sektor IPPU adalah menerapkan *Tier-2* untuk industri semen, ammonia, asam nitrat, dan aluminium karena keterlibatan industri tersebut pada proyek CDM. Untuk sumber data, Indonesia saat ini mempunyai sistem pengumpulan data yang baru dibawah koordinasi Kementerian Perindustrian, dimana untuk industri tertentu data aktivitas yang digunakan merupakan data yang langsung dilaporkan oleh industri pada level pabrik yang dilaporkan oleh industri langsung kepada Kementerian Perindustrian melalui sistem aplikasi *online* Sistem Industri Nasional (SIINAS).

Industri tersebut adalah semen, amoniak dan urea, besi dan baja, dan industri kimia. Sedangkan untuk industri lainnya diharapkan dapat dilakukan *improvement* yang sama di masa yang akan datang, sehingga dapat meminimalkan penggunaan asumsi berdasarkan kapasitas industri seperti yang digunakan pada perhitungan emisi pada tahun-tahun sebelumnya.

Beberapa data diperoleh langsung dari Kementerian Perindustrian seperti data jumlah produksi klinker, amonia, asam nitrat, karbida, metanol, etilen, etilen diklorida *carbon black* dan penggunaan pelumas dan lilin parafin. Dari Industri logam, data produksi besi dan baja dan alumunium juga diperoleh dari Kementerian Perindustrian.

E. Perhitungan Emisi GRK

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

Tabel 4. 5 Emisi GRK dari Sektor IPPU Tahun 2000 – 2022

Tahun	Emisi Sektor IPPU untuk 3 gas utama (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O) (Gg CO ₂ e)	Emisi Sektor IPPU untuk seluruh gas (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, CF ₄ , C ₂ F ₆) (Gg CO ₂ e)
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

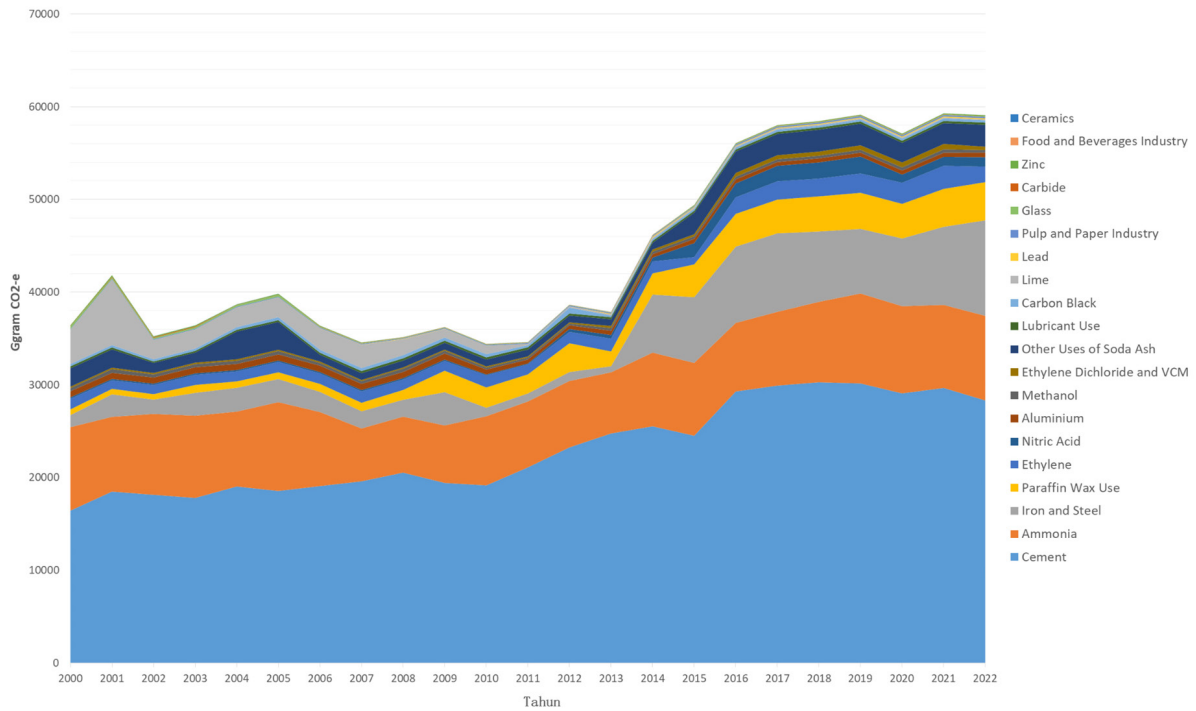
Tahun	Emisi Sektor IPPU untuk 3 gas utama (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O) (Gg CO ₂ e)	Emisi Sektor IPPU untuk seluruh gas (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, CF ₄ , C ₂ F ₆) (Gg CO ₂ e)
2015	48.695	48.745
2016	53.718	53.766
2017	57.043	57.085
2018	57.434	57.481
2019	58.128	58.173
2020	57.146	57.194
2021	59.330	59.377
2022	59.138	59.193

Secara umum, Tabel 4.5 menunjukkan terjadinya peningkatan emisi secara gradual hingga tahun 2021, namun terjadi sedikit penurunan di tahun 2020 dan tahun 2022 sedangkan Tabel 4.6 menunjukkan komposisi emisi per sub kategori sektor IPPU pada tahun 2022 sebesar 48% emisi dari sektor IPPU berasal dari industri semen, yang diikuti oleh industri besi baja (17%) dan ammonia (15%).

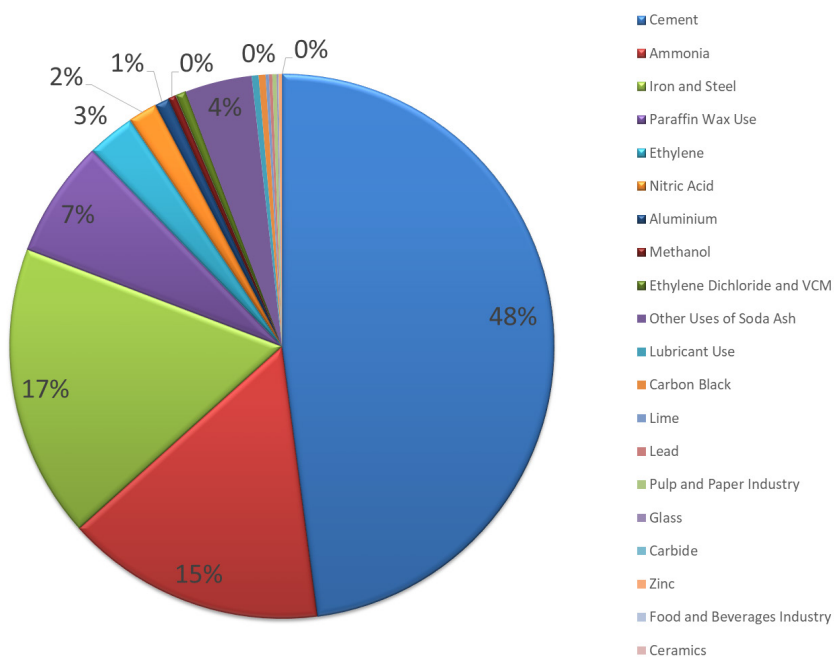
Tabel 4. 6 Emisi GRK Per Subkategori Sektor IPPU Tahun 2022

Code	Categories	Emission (Gg CO ₂ e)
Mineral		
2.A.1	Cement	28.323
2.A.2	Lime	113
2.A.3	Glass	46
2.A.4.a	Ceramics	4
2.A.4.b	Other Uses of Soda Ash	2.353
2.A.4.d	Other Uses of Carbonate Consumption	88
Chemical		
2.B.1	Ammonia	9.128
2.B.2	Nitric Acid	1.014
2.B.5	Carbide	26
2.B.8.a	Methanol	268
2.B.8.b	Ethylene	1.674
2.B.8.c	Ethylene Dichloride and VCM	365
2.B.8.f	Carbon Black	244
Metal		
2.C.1	Iron and Steel	10.304
2.C.3	Aluminium	502
2.C.5	Lead	119
2.C.6	Zinc	112
Non-Energy Products from Fuels and Solvent Use		
2.D.1	Lubricant Use	241
2.D.2	Paraffin Wax Use	4.117
Others		
2.H.1	Pulp and Paper Industry	149
2.H.2	Food and Beverages Industry	3
	Total	59.192

Berdasarkan tingkat emisi GRK sektor IPPU tahun 2000 – 2022 yang disajikan pada Gambar 4.34 dan komposisi emisi pada setiap sub kategori sektor IPPU (Gambar 4.35) menunjukkan bahwa pada tahun 2022 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 – 2022



Gambar 4. 35 Kontribusi Emisi GRK Berdasarkan Kategori Sektor IPPU Tahun 2022

Sumber Emisi Kunci

Kategori kunci sumber emisi pada sektor IPPU pada tahun 2022 dapat dilihat pada Tabel 4.7 dimana tiga (3) emisi terbesar pada sektor IPPU berasal dari industri semen, besi dan baja serta ammonia.

Tabel 4. 7 Sumber Emisi Kunci Sektor IPPU Tahun 2022

Code	Categories	Total GHG Emissions 2022 (Gg CO ₂ e)	Level/Rank	Cumulative
2.A.1	Cement	28,323	48%	48%
2.C.1	Iron and Steel	10,304	17%	65%
2.B.1	Ammonia	9,128	15%	81%
2.D.2	Paraffin Wax Use	4,117	7%	88%
2.A.4.b	Other Uses of Soda Ash	2,353	4%	92%
2.B.8.b	Ethylene	1,674	3%	94%
2.B.2	Nitric Acid	1,014	2%	96%
2.C.3	Aluminium	502	1%	97%
2.B.8.c	Ethylene Dichloride and VCM	365	1%	98%
2.B.8.a	Methanol	268	0%	98%
2.B.8.f	Carbon Black	244	0%	98%
2.D.1	Lubricant Use	241	0%	99%
2.H.1	Pulp and Paper Industry	149	0%	99%
2.C.5	Lead	119	0%	99%
2.A.2	Lime	113	0%	100%
2.C.6	Zinc	112	0%	100%
2.A.4.d	Other Uses of Carbonate Consumption	88	0%	100%
2.A.3	Glass	46	0%	100%
2.B.5	Carbide	26	0%	100%
2.A.4.a	Ceramics	4	0%	100%
2.H.2	Food and Beverages Industry	3	0%	100%
	Total	59,192		

4.2.3 Sektor Pertanian

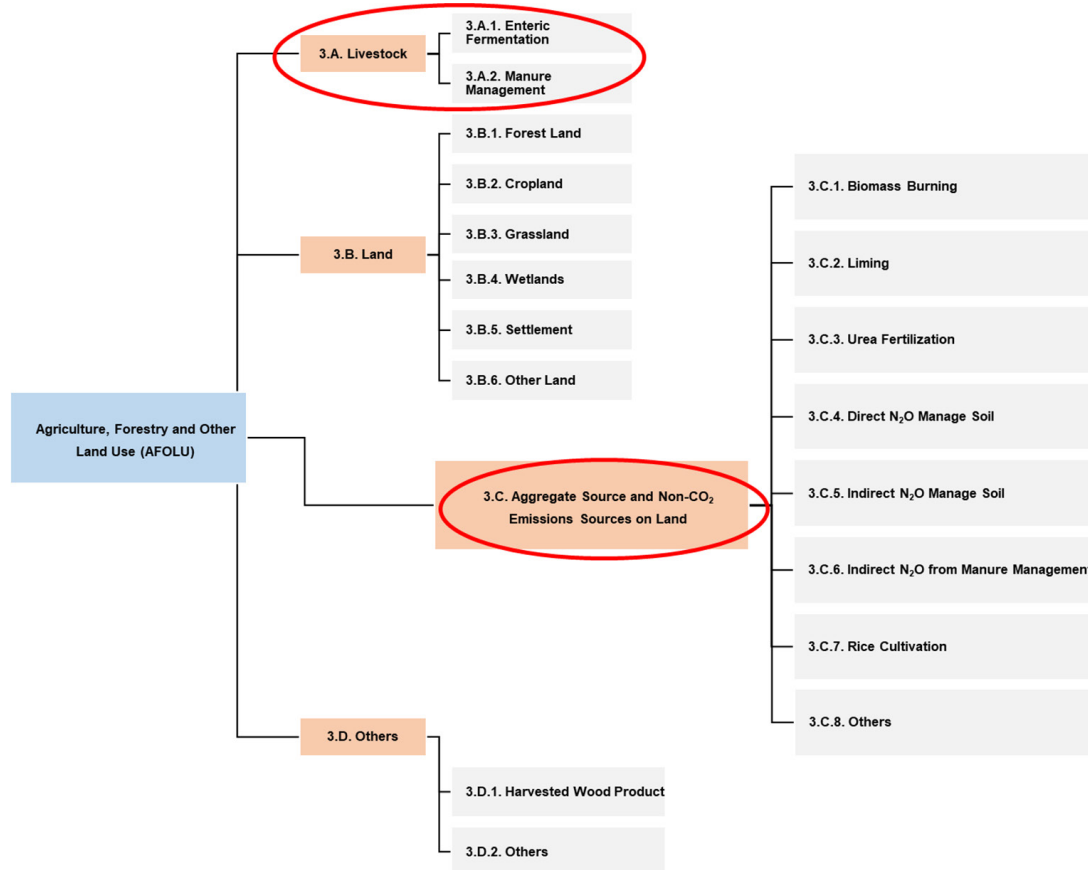
A. Kategori Sumber Emisi GRK

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 – 2022, 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:

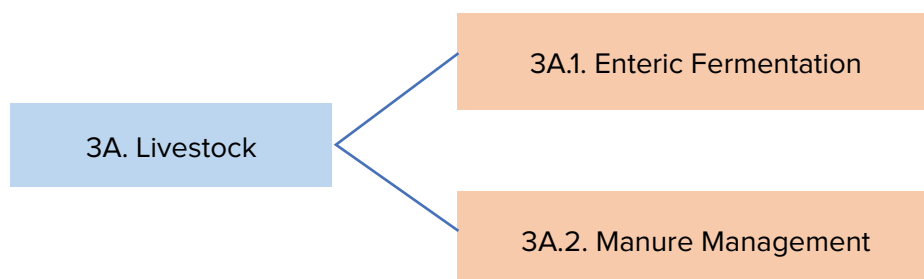
1. Peternakan (3A); yaitu emisi dari fermentasi enterik (3A1), pengelolaan kotoran ternak (3A2a), termasuk emisi langsung N₂O dari pengelolaan kotoran ternak pada ladang penggembalaan ternak (3A2b) dan emisi tidak langsung N₂O dari pengelolaan kotoran ternak pada ladang penggembalaan ternak (3C6).
2. 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 N₂O 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

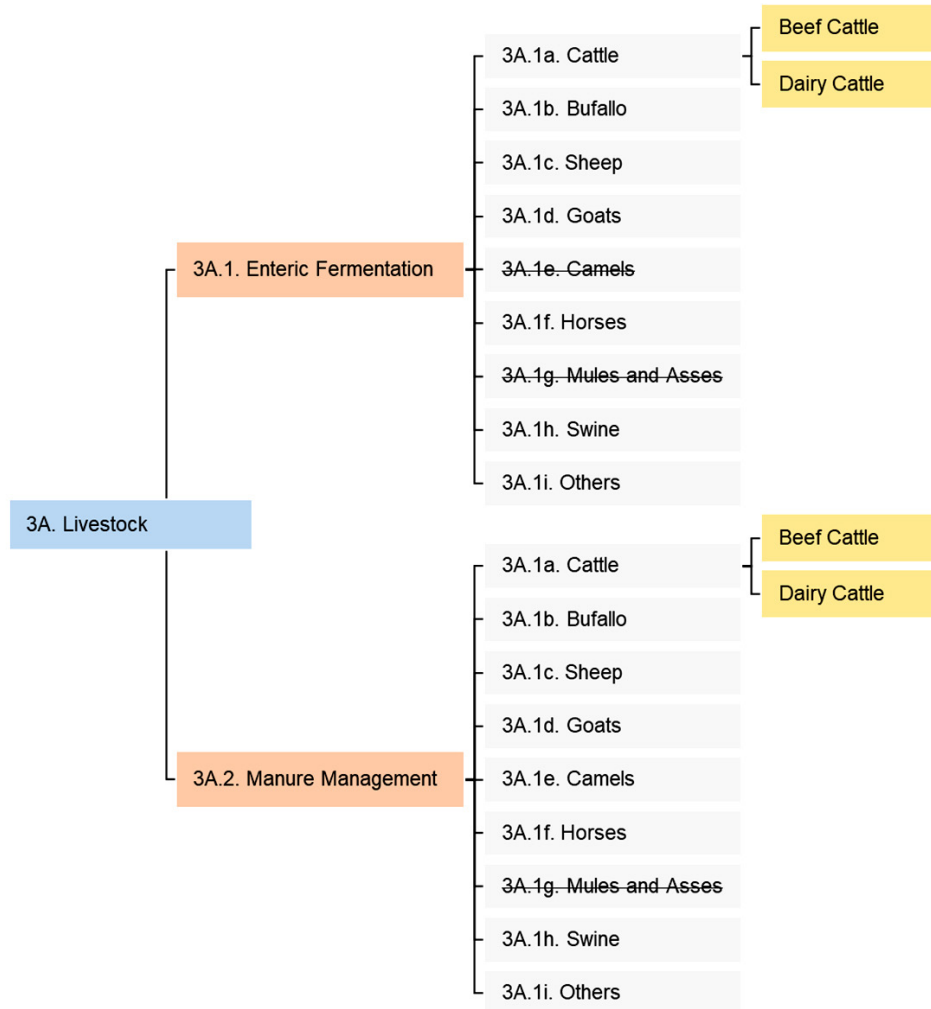
1. Peternakan



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.

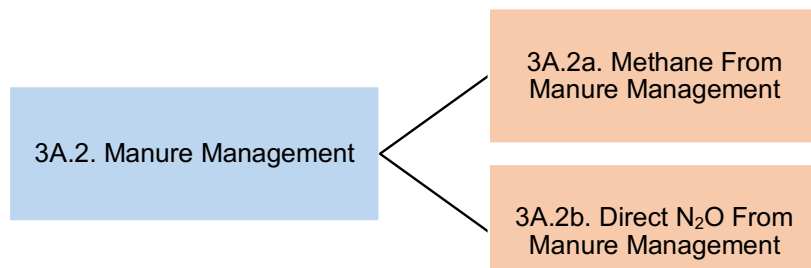


Gambar 4. 38 Cakupan Sumber Emisi GRK dari Fermentasi Enterik dan Pengelolaan Kotoran Ternak Berdasarkan Jenis Ternak (catatan: dicoret berarti tidak dihitung)

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).

b. 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.

a. 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.

b. 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).

c. 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).

d. 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.

e. 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 2022.

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).

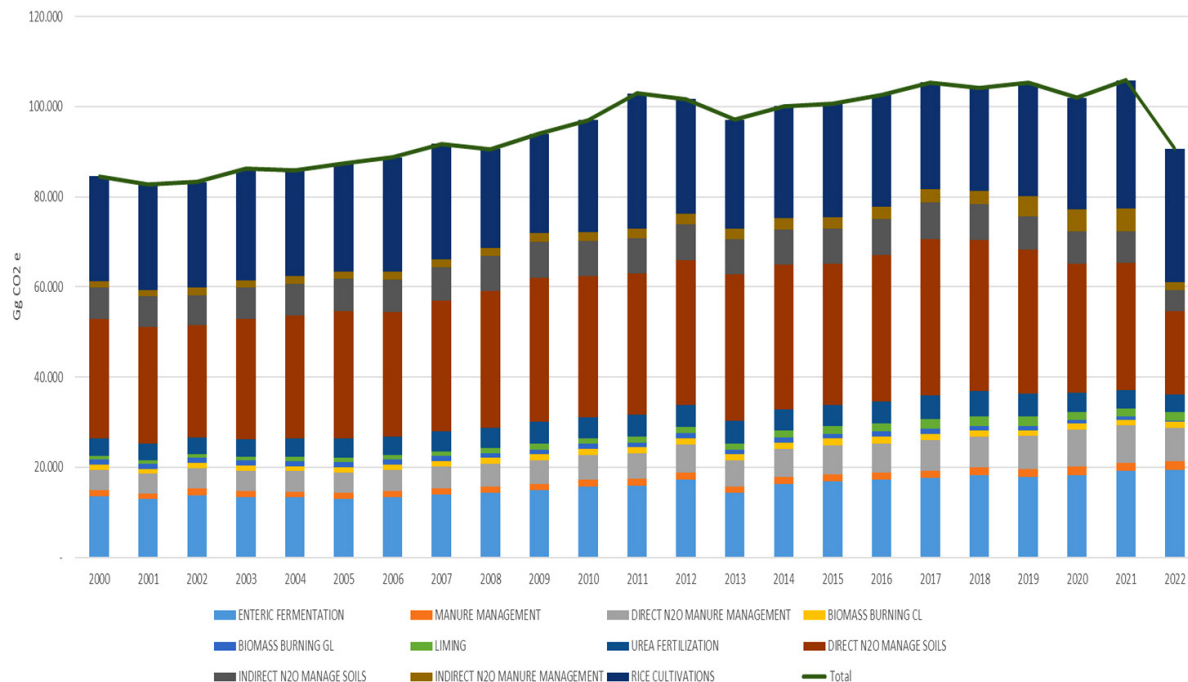
2. Sumber Agregat dan Sumber Emisi Non- CO_2 pada Lahan

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 2022, tingkat emisi GRK dari tiga gas utama (CO_2 , CH_4 dan N_2O) dari Sektor Pertanian adalah sebesar 90.642,73 Gg $\text{CO}_2\text{-e}$. Jika dibandingkan dengan tingkat emisi pada Tahun 2021 sebesar 105.876,65 Gg $\text{CO}_2\text{-e}$, maka status emisi pada Tahun 2022 turun sebesar 15.233,92 Gg $\text{CO}_2\text{-e}$, atau sekitar 14.39%. Penurunan tingkat emisi ini berasal dari beberapa kategori sumber antara lain *Direct* dan *Indirect N_2O Manage Soils* serta *Direct* dan *Indirect N_2O dari Manure Management*. Penurunan tingkat emisi dari *Direct* dan *Indirect N_2O Manage Soils* disebabkan karena berkurangnya luasan lahan kering (tidak memasukkan lahan perkebunan sawit dalam perhitungan). Sedangkan penurunan tingkat emisi dari *Direct* dan *Indirect N_2O dari Manure Management* disebabkan karena adanya faktor koreksi pada umur unggas (memperhitungkan daur hidup/life cycle).

Berdasarkan sumber emisi, pada Tahun 2022 emisi utama dari Sektor Pertanian berasal dari kegiatan budidaya padi sawah (32,63%), fermentasi enterik dari ternak (21,48%) dan emisi N_2O langsung dari tanah yang dikelola (20,38%). Emisi GRK dari Sektor Pertanian dari Tahun 2000-2022 menunjukkan kecenderungan peningkatan dengan fluktuasi yang tidak terlalu signifikan. Namun pada tahun 2022 mengalami penurunan yang cukup signifikan.



Gambar 4. 40 Tren Emisi Sektor Pertanian Menurut Kategori Tahun 2000 – 2022

Tabel 4. 8 Rekapitulasi Emisi Sektor Pertanian Tahun 2000 – 2010 (Gg CO₂e)

No.	Kategori	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1.	Enteric Fermentation	13.591,40	12.905,48	13.845,75	13.358,23	13.302,28	13.044,63	13.407,98	13.889,76	14.376,34	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

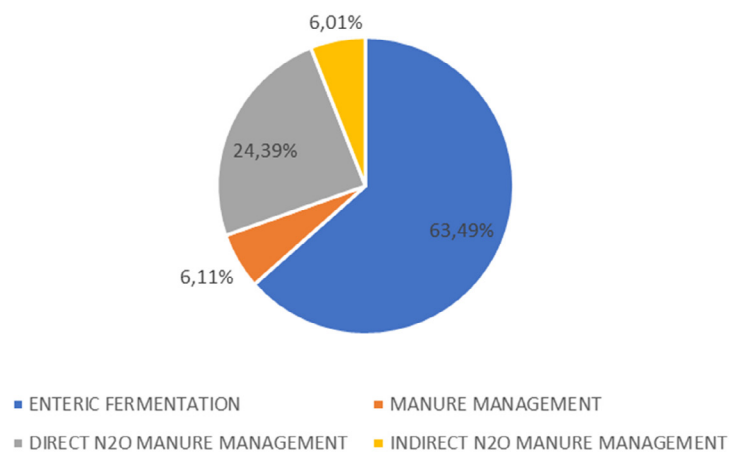
Tabel 4.9 Rekapitulasi Emisi Sektor Pertanian Tahun 2011 – 2022 (Gg CO₂e)

No.	Kategori	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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	4.786,00	5.031,00	1.843,49
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
	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

1. Peternakan

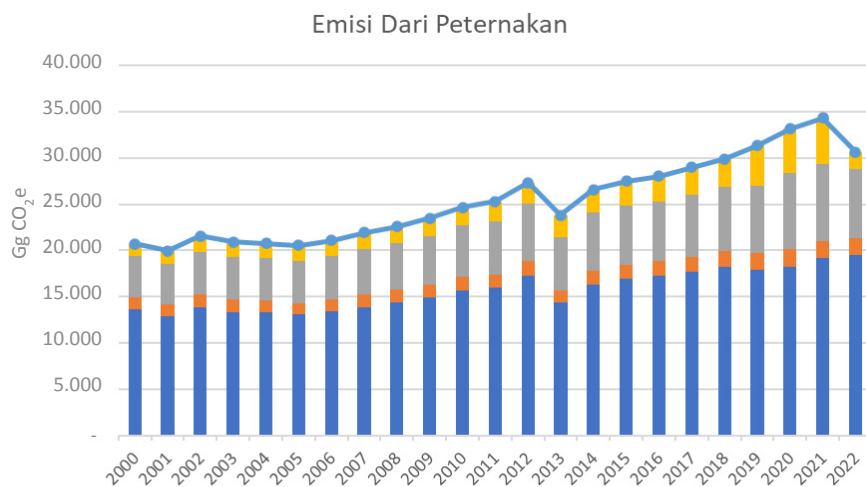
Dari hasil perhitungan tingkat emisi dari Subsektor Peternakan pada Tahun 2022 yaitu sebesar 30.663,88 Gg CO₂e, lebih rendah dari emisi pada Tahun 2021 yaitu sebesar 34.345,60 Gg CO₂e. Secara umum emisi GRK Subsektor Peternakan menunjukkan kecenderungan peningkatan pada periode 2000-2022 (Gambar 4.42). Hal ini disebabkan oleh kenaikan populasi beberapa jenis ternak terutama jenis unggas (*poultry*) dan sapi potong, hal ini sejalan dengan kenaikan kebutuhan konsumsi daging dan telur.

Sumber penyumbang emisi terbesar terhadap total emisi pada Tahun 2022 dari Subsektor Peternakan adalah dari kategori emisi CH₄ dari fermentasi enterik dengan persentase 63,49%, diikuti oleh emisi N₂O langsung dari pengelolaan kotoran ternak 24,39%, emisi CH₄ dari pengelolaan kotoran ternak 6,11 % dan emisi N₂O tidak langsung dari pengelolaan kotoran ternak 6,01%. 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

Kecenderungan emisi pada Subsektor Peternakan dari Tahun 2000-2022 terus mengalami peningkatan yang cukup konsisten, hal ini sejalan dengan pertumbuhan penduduk yang diiringi dengan peningkatan kebutuhan protein hewani dari daging maupun telur. Kecenderungan emisi Subsektor Peternakan dapat dilihat pada Gambar 4.42.

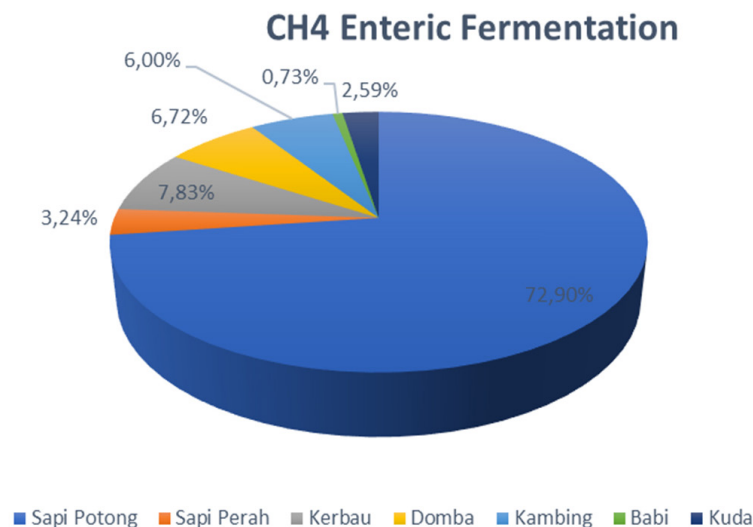


Gambar 4. 42 Tren/Kecenderungan Emisi Subsektor Peternakan Tahun 2000 – 2022

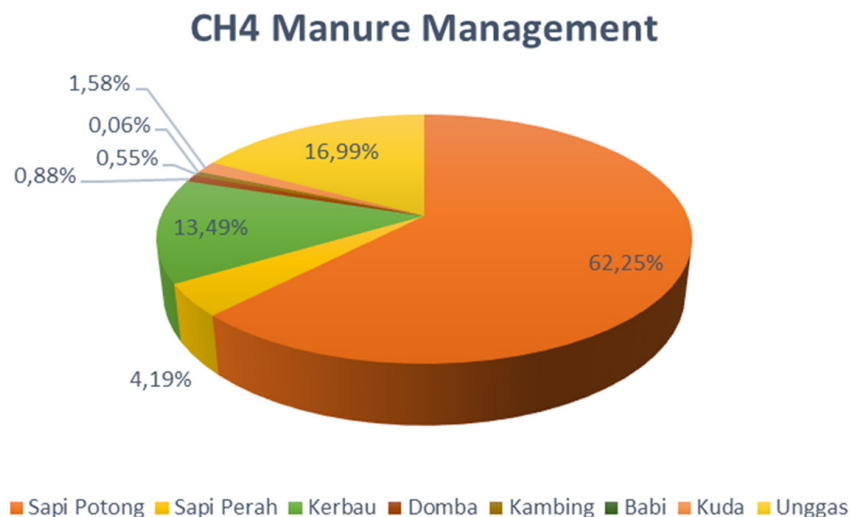
a. **Emisi *Methane* dari Peternakan**

Dari hasil perhitungan emisi Subsektor Peternakan emisi methane dari fermentasi enterik Tahun 2022 di Indonesia disajikan seperti pada Gambar 4.43, emisi terbesar dihasilkan oleh ternak jenis sapi potong (72,90%), kerbau (7,83%), domba (6,72%), dan kambing (6,00%). Sedangkan jenis ternak lainnya masing-masing menyumbang gas methane di bawah 4%.

Sedangkan emisi methane dari pengelolaan kotoran ternak Tahun 2022 di Indonesia disajikan seperti pada Gambar 4.44 emisi terbanyak dihasilkan oleh sapi potong (62,25%), unggas (16,99%), kerbau (13,49%) dan sapi perah (4,19%). Sedangkan jenis ternak lainnya masing-masing menyumbang gas *methane* di bawah 2%.



Gambar 4. 43 Persentase Gas Metahane dari Fermentasi Enterik Jenis Ternak Tahun 2022

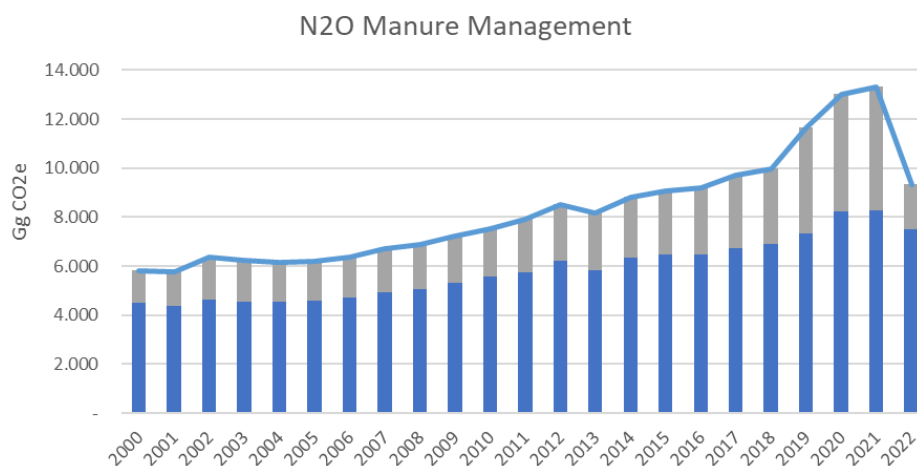


Gambar 4. 44 Persentasi Gas Methane dari Pengelolaan Kotoran Jenis Ternak Tahun 2022

b. **Emisi N_2O dari Peternakan**

Emisi N_2O dari peternakan dihasilkan dari kegiatan pengelolaan kotoran ternak baik secara langsung maupun tidak langsung. Dari hasil perhitungan emisi N_2O langsung dari pengelolaan kotoran ternak tingkat

emisi pada Tahun 2022 sebesar 7.479,04 Gg CO₂e, menurun dibandingkan dengan tingkat emisi pada Tahun 2021 sebesar 8.286,30 Gg CO₂e. Sedangkan tingkat emisi N₂O tidak langsung pada Tahun 2022 sebesar 1.843,49 Gg CO₂e, juga menurun dibandingkan dengan Tahun 2021 sebesar 5.031 Gg CO₂e. Kecenderungan emisi N₂O dari Subsektor Peternakan baik secara langsung maupun tidak langsung dari Tahun 2000-2022 secara umum meningkat, hal ini sejalan dengan meningkatnya kebutuhan protein hewani dari ternak yang semakin meningkat. Secara rinci tingkat dan kecenderungan emisi N₂O dari Subsektor Peternakan dapat dilihat pada Gambar 4.45.



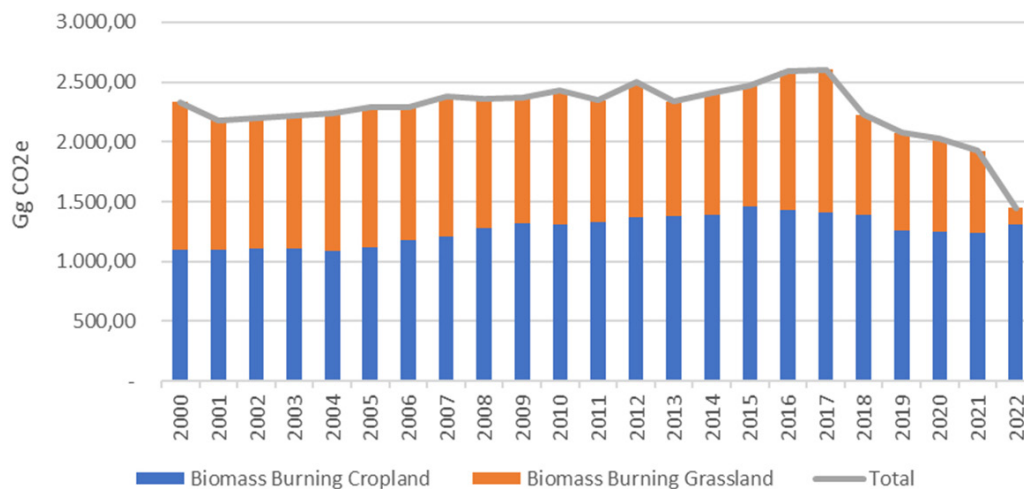
Gambar 4. 45 Emisi N₂O Langsung dan Tidak Langsung dari Pengelolaan Kotoran Ternak

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

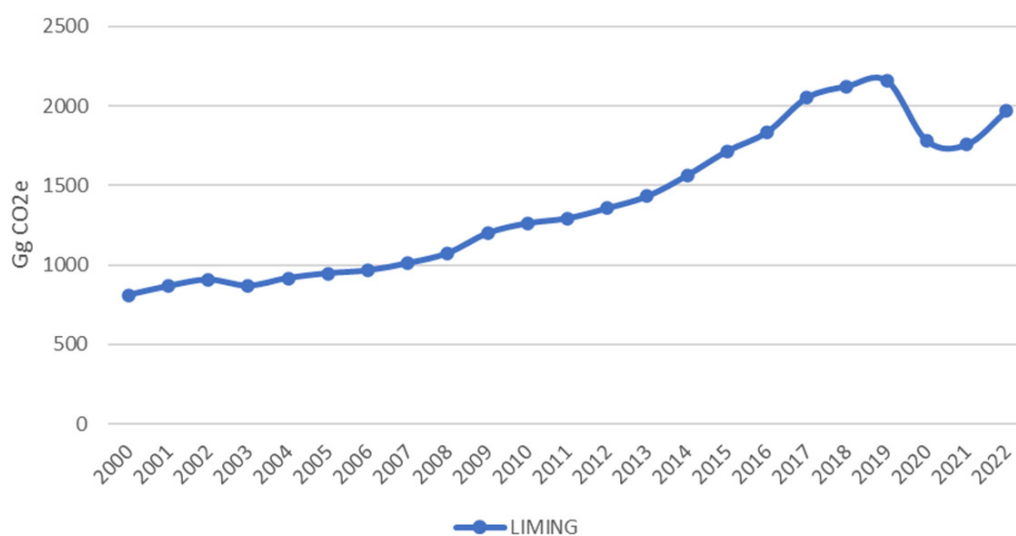
Emisi GRK dari pembakaran padang rumput (*Biomass Burning Grassland*) dihitung berdasarkan luas panen padi ladang (gogo) pada periode 2000-2021. Sedangkan emisi dari pembakaran lahan pertanian (*Biomass Burning Cropland*) dihitung berdasarkan data luas panen padi dan produksi padi sawah. Untuk perhitungan emisi GRK dari biomass burning pada tahun 2022 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 2022 sebesar 138,05 Gg CO₂e mengalami penurunan dibandingkan tingkat emisi pada Tahun 2021 sebesar 686,30 Gg CO₂e. Emisi dari pembakaran biomassa pada padi sawah pada Tahun 2022 sebesar 1.308,94 Gg CO₂e mengalami peningkatan dibandingkan dengan emisi pada Tahun 2021 sebesar 1.239,62 Gg CO₂e. Kecenderungan emisi dari pembakaran biomassa dari Tahun 2000-2017 secara umum mengalami peningkatan dan di Tahun 2018 - 2022 mengalami penurunan cukup signifikan. Secara rinci total emisi dari pembakaran biomassa pada Tahun 2022 dapat dilihat pada Gambar 4.46.



Gambar 4. 46 Emisi dari Pembakaran Biomassa Tahun 2000 – 2022

b. Aplikasi Kapur Pertanian

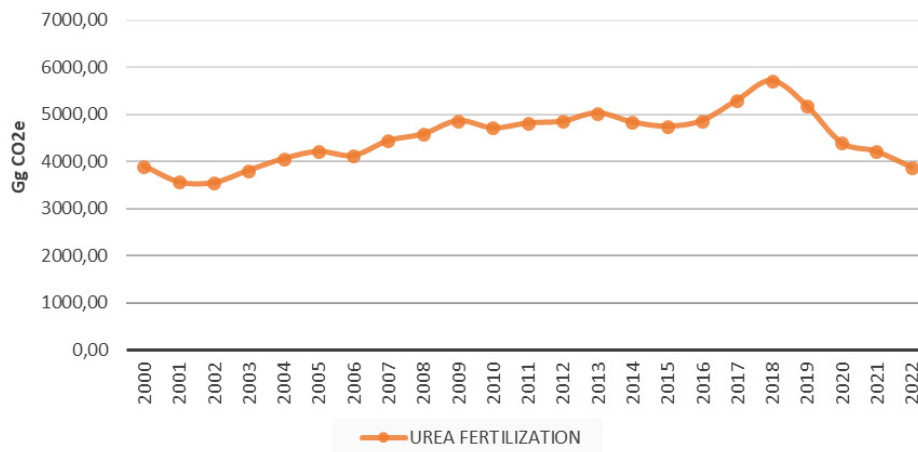
Emisi CO₂ dari aplikasi kapur pertanian dihitung dengan menggunakan pendekatan (proxy) terhadap jumlah aplikasi kapur pertanian (sesuai dosis yang dianjurkan) untuk perkebunan kelapa sawit, karet dan kakao, yang ditanam pada tanah sulfat masam dan tanah organik (lahan gambut). Namun demikian untuk perhitungan 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 - 2022 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 1.970,37 Gg CO₂e pada Tahun 2022 mengalami peningkatan dibandingkan dengan emisi Tahun 2021 sebesar 1.757,90 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 dan mengalami penurunan mulai Tahun 2020 - 2022.



Gambar 4. 47 Emisi dari Aplikasi Kapur Pertanian Tahun 2000 – 2022

c. Aplikasi Pupuk Urea

Data aktivitas konsumsi urea untuk Tahun 2000 - 2022 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 dosisi pupuk untuk perkebunan besar kelapa sawit tidak lagi digunakan mulai perhitungan Tahun 2020. Dalam laporan ini terdapat update data konsumsi pupuk urea di Tahun 2020, karena pada perhitungan emisi tersebut menggunakan data konsumsi pupuk urea hanya pada periode Bulan Januari-September 2020, sedangkan data lengkapnya baru dipublikasikan pada Tahun 2022. Emisi dari aplikasi urea di Sektor Pertanian secara rinci dapat dilihat pada Gambar 4.48, dengan tingkat emisi sebesar 3.876,25 Gg CO₂e pada Tahun 2022, mengalami sedikit penurunan dari tingkat emisi Tahun 2021 sebesar 4.208,13 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. Namun terjadi penurunan pada Tahun 2019 - 2022 sebagai akibat adanya penurunan jumlah konsumsi pupuk urea.

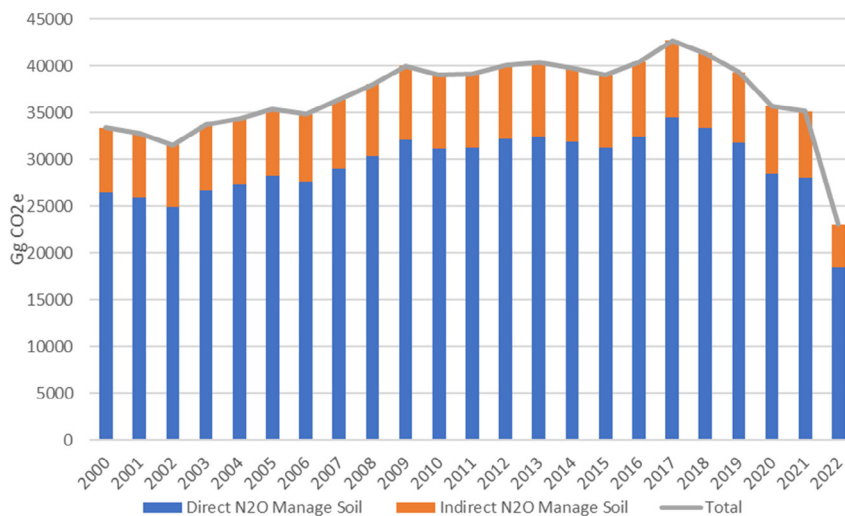


Gambar 4. 48 Emisi dari Aplikasi Pupuk Urea Tahun 2000 – 2022

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 – 2022 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 – 2022

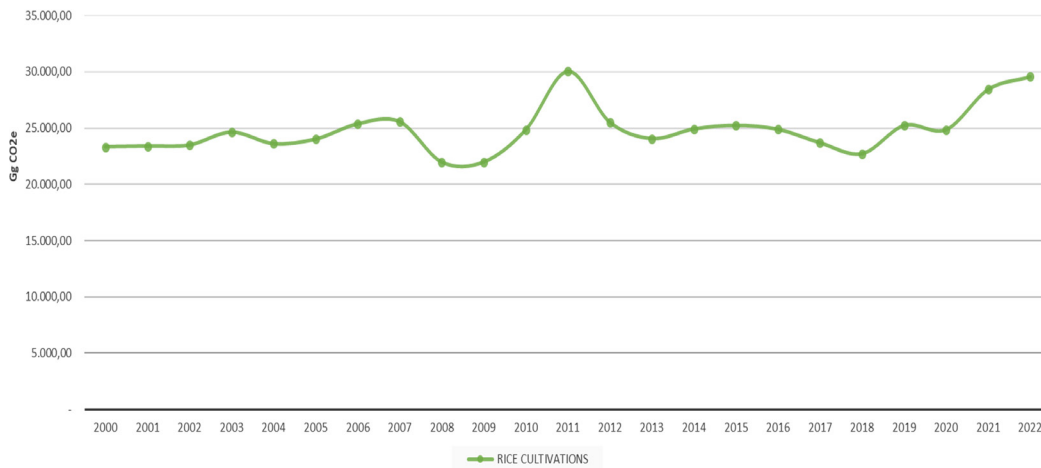
Dari hasil perhitungan pada Tahun 2022, tingkat emisi langsung N₂O dari tanah yang dikelola sebesar 18.475,21 Gg CO₂e mengalami penurunan yang signifikan dari tingkat emisi pada Tahun 2021 sebesar 28.074,37 Gg CO₂e. Demikian juga untuk tingkat emisi N₂O tidak langsung, angka menunjukkan tren penurunan emisi.

Tingkat emisi pada Tahun 2022 sebesar 4.629,67 Gg CO₂e mengalami penurunan yang signifikan dibandingkan dengan tingkat emisi Tahun 2021 sebesar 7.117,12 Gg CO₂e. Kecenderungan emisi N₂O dari tanah yang dikelola mengalami peningkatan dari Tahun 2000 - 2017 dan kecenderungan menurun pada Tahun 2018 - 2022. 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 - 2022 mengalami penurunan jika dibandingkan dengan emisi pada Tahun 2017 karena adanya penurunan luasan lahan sawah.

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 – 2022. Untuk data luas sawah baik sawah irigasi maupun sawah non-irigasi bersumber dari Statistik Lahan Pertanian Tahun 2014 – 2019 yang diterbitkan oleh Pusdatin Kementan. 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 2022 (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 CH₄ dari budidaya padi sawah di Indonesia pada Tahun 2022 tingkat emisi sebesar 29.580,36 Gg CO₂e, mengalami sedikit peningkatan jika dibandingkan dengan tingkat emisi pada Tahun 2021 sebesar 28.447,61 Gg CO₂e. Kenaikan tingkat emisi dari budidaya padi sawah disebabkan karena meningkatnya luas panen padi sawah. Secara rinci emisi CH₄ dari budidaya padi sawah Tahun 2000 - 2022 terlihat pada Gambar 4.50:

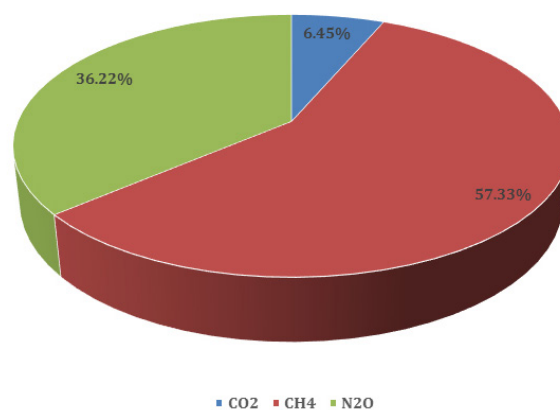


Gambar 4. 50 Emisi Gas Methane Dari Budidaya Padi Tahun 2000 – 2022

f. Tren Emisi Jenis Gas

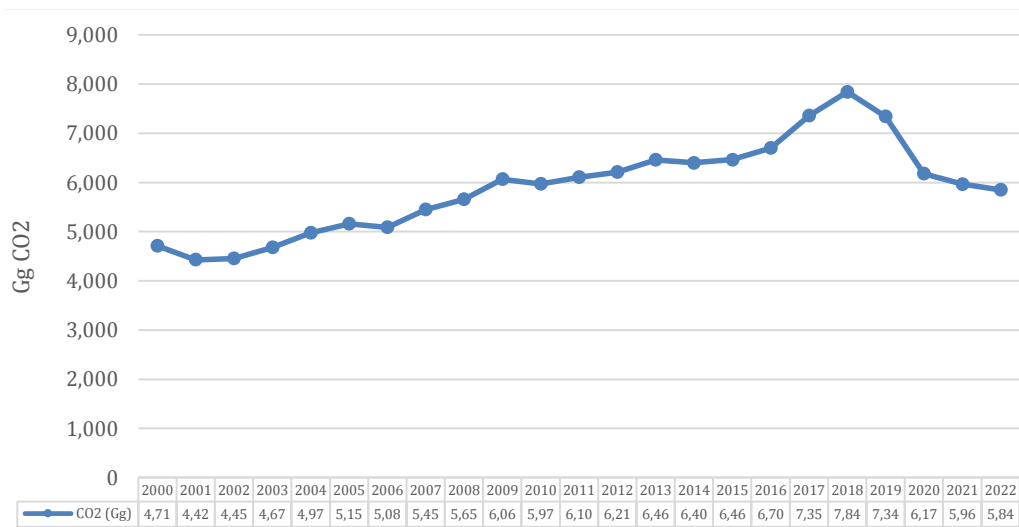
Emisi dari Sektor Pertanian menghasilkan 3 (tiga) gas utama, yaitu gas karbon dioksida (CO_2), gas methane (CH_4) dan gas dinitrogen oksida (N_2O). Emisi gas CO_2 sektor pertanian dihasilkan oleh sumber emisi dari kategori aplikasi kapur pertanian (*liming*) dan aplikasi pupuk urea (*urea fertilization*), 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 2022, proporsi gas yang diemisikan terbesar adalah gas CH_4 sebesar 57,33% diikuti gas N_2O sebesar 36,22% dan gas CO_2 sebesar 6,45%. Secara grafis komposisi ketiga gas utama dari Sektor Pertanian dapat dilihat pada Gambar 4.51.

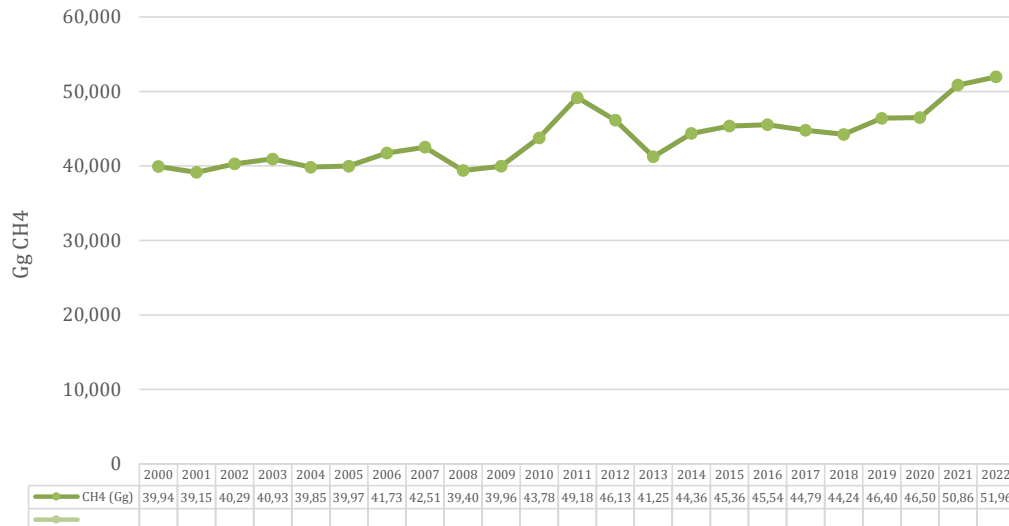


Gambar 4. 51 Komposisi Jenis Gas Sektor Pertanian Tahun 2022

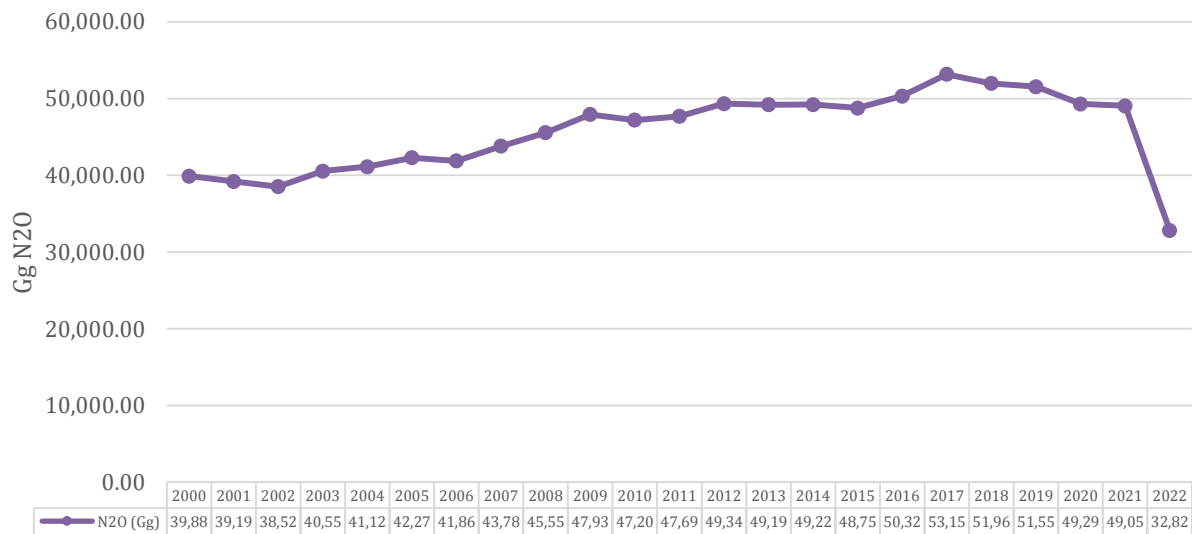
Tren emisi gas CO_2 dari Tahun 2000 – 2017 kecenderungannya meningkat dan mengalami sedikit penurunan di Tahun 2019 – 2022, hal ini disebabkan karena menurunnya jumlah penggunaan pupuk urea dan kapur pertanian sebagai sumber emisi gas CO_2 . Secara grafis tren emisi gas CO_2 Sektor Pertanian Tahun 2000 – 2022 disajikan seperti pada Gambar 4.52.

Gambar 4. 52 Tren Emisi Gas CO₂ Sektor Pertanian Tahun 2000 – 2022

Tren emisi gas CH₄ dari Tahun 2000-2022 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 2000-2022 disajikan seperti pada Gambar 4.53.

Gambar 4. 53 Tren Emisi Gas CH₄ Sektor Pertanian Tahun 2000 – 2022

Tren emisi gas N₂O dari Tahun 2000 – 2022 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 – 2022 disajikan seperti pada Gambar 4.54.

Gambar 4. 54 Tren Emisi Gas N₂O Sektor Pertanian Tahun 2000 – 2022

F. Sumber Emisi Kunci

Hasil perhitungan sumber emisi kunci atau analisis kategori kunci pada Sektor Pertanian di Tahun 2022 menunjukkan bahwa, kontribusi terbesar adalah emisi dari budidaya padi sawah dengan kontribusi emisi sebesar 32,63%. Selanjutnya, emisi fermentasi enterik dengan kontribusi emisi sebesar 21,48%, N₂O langsung dari pengolahan tanah dengan kontribusi emisi sebesar 20,38%, N₂O pengelolaan kotoran ternak kontribusi emisi sebesar 8,25%, N₂O tidak langsung dari penolakan tanah dengan kontribusi emisi sebesar 5,11%, CO₂ dari aplikasi pupuk urea kontribusi emisi sebesar 4,28% dan CO₂ dari pengapuran kontribusi emisi sebesar 2,17% 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 2022 dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Analisis Kategori Kunci Sektor Pertanian Tahun 2022

Kode	Kategori	Gas	Emisi (CO ₂ e)	Kontribusi (%)	Akumulasi (%)
3.C7	Rice Cultivations	CH ₄	29.580,36	32,63	32,63
3.A1	Enteric Fermentation	CH ₄	19.467,51	21,48	54,11
3.C4	Direct N ₂ O Manage Soils	N ₂ O	18.475,21	20,38	74,49
3.A2b	Direct N ₂ O Manure Soils	N ₂ O	7.479,04	8,25	82,74
3.C5	Indirect N ₂ O Manage Soils	N ₂ O	4.629,67	5,11	87,85
3.C3	Urea Fertilization	CO ₂	3.876,25	4,28	92,13
3.C2	Liming	CO ₂	1.970,37	2,17	94,30
3.A2a	Manure Management	CH ₄	1.873,84	2,07	96,37
3.C6	Indirect N ₂ O Manure Management	N ₂ O	1.843,49	2,03	98,40
3.C1a	Biomass Burning CL	CH ₄ , N ₂ O	1.308,94	1,44	99,85
3.C1b	Biomass Burning GL	CH ₄ , N ₂ O	138,05	0,15	100,00
			90.642,73	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 permukaan tanah (*above 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 – 2022.

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 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, dan 2022.

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 kayu yang digunakan dalam inventarisasi ini adalah kayu bulat dan kayu bakar. Data kayu bulat diperoleh dari Statistik Direktorat Jenderal Pengelolaan Hutan Produksi Lestari, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Untuk data kayu bulat Tahun 2000 diperoleh dari BPS. Data kayu bakar diperoleh dari statistik *Food and Agriculture Organization* (FAO).

Untuk data yang digunakan data aktivitas untuk pendugaan emisi/serapan dari perubahan stok karbon yaitu volume kayu bulat, didapatkan dari website Satu Data Ditjen PHL (<https://phl.menlhk.go.id>) berdasarkan hasil tangkapan layar pada tanggal 22 Oktober 2023. Sedangkan data aktivitas kayu bakar, didapatkan data global dari website FAO berdasarkan hasil tangkapan layar pada tanggal 22 Desember 2022.

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 kawasannya. 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. Untuk memperoleh luas areal yang terbakar per kelas tutupan lahan, pada tahun 2019 dilakukan *filling the gap* (proxy) dengan menggunakan rerata prosentase luasan tahun 2016-2018.

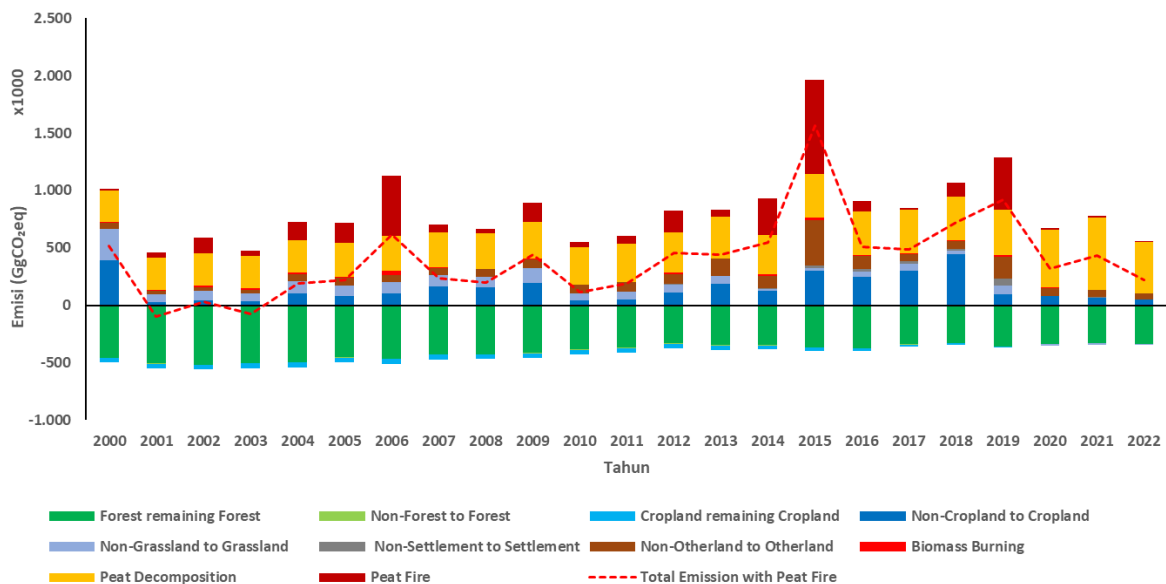
Pada tahun 2020, proses rekalkulasi penyeragaman metode dalam mengestimasi luas kebakaran hutan dan lahan periode 2000 – 2014 dan 2015 – 2020 yang dilaksanakan oleh walidata dan Direktorat teknis terkait telah selesai, dan ditindaklanjuti dengan proses rekalkulasi pada penghitungan emisi-nya.

4) Peta Sebaran Gambut BBPSI SDLP (Kementan)

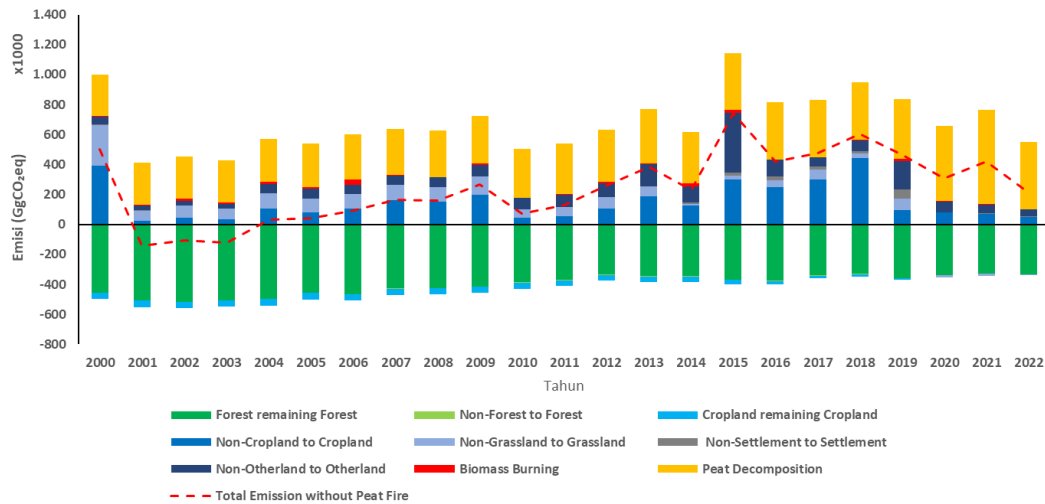
Peta sebaran gambut juga digunakan sebagai data pendukung dalam pendugaan emisi pada dekomposisi gambut dan kebakaran hutan dan lahan pada tanah gambut. Dimana pada tahun 2022 ini telah digunakan peta sebaran gambut dengan skala 1 : 50.000.

E. Perhitungan Emisi GRK/Serapan GRK

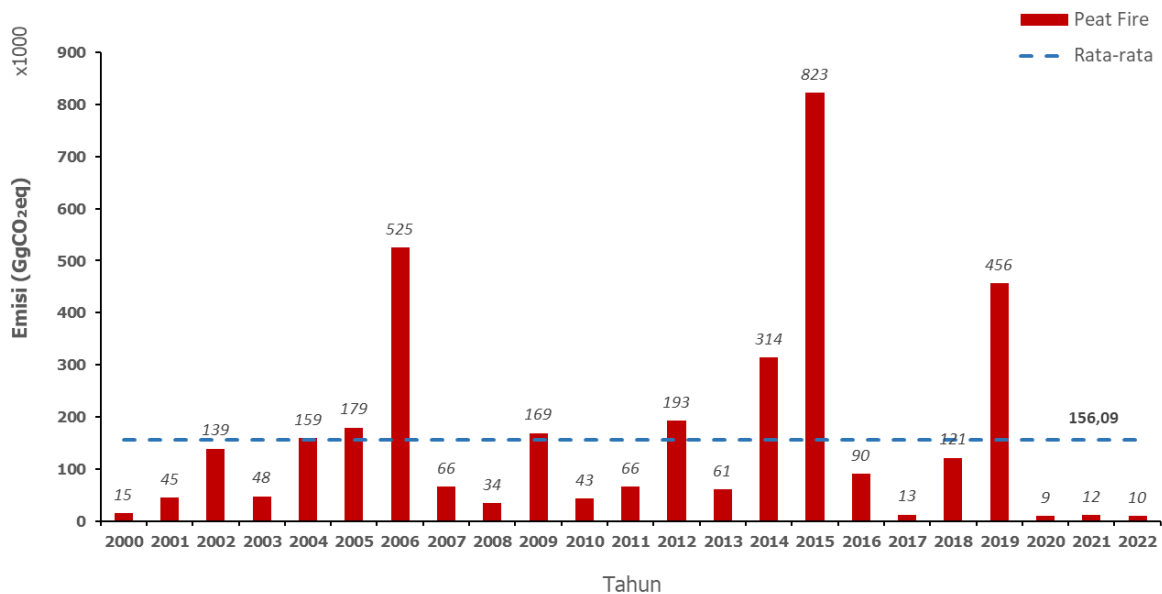
Dari hasil inventarisasi dan penghitungan, total emisi GRK pada Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya pada Tahun 2022 adalah sebesar 221.368 Gg CO₂e lebih rendah 16,99% dari Tahun 2021. Gambar 4.56 menunjukkan tren emisi Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya dengan *peat fire*, sedangkan 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 2000-2022 (dengan *Peat Fire*)

Gambar 4. 57 Emisi dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lainnya Tahun 2000 - 2022 (tanpa *Peat Fire*)

Rata-rata emisi GRK selama periode tahun 2000-2022 adalah sebesar 388.272 Gg CO₂e/tahun. Terjadi peningkatan emisi yang ekstrem pada tahun 2006, 2009, 2014, 2015 dan 2019 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 2022, emisi dari kebakaran gambut adalah sebesar 9.654 Gg CO₂e, turun 19,01% dari Tahun 2021 yang sebesar 11.919 Gg CO₂e.



Gambar 4. 58 Emisi dari Kebakaran Gambut 2000 – 2022

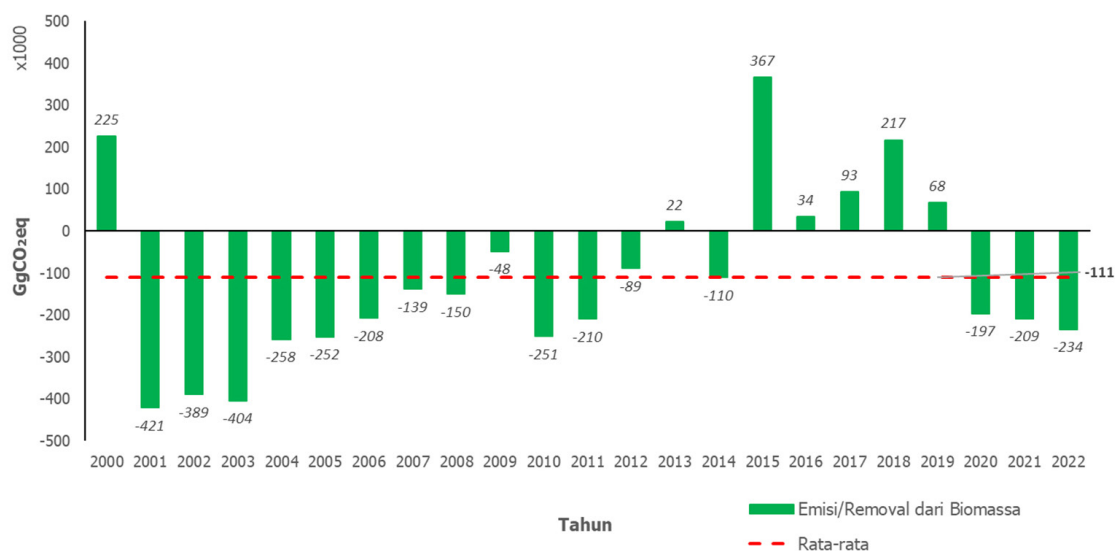
Selain itu, terdapat gas non-CO₂ yang dihasilkan dari kebakaran yang menambah emisi dari biomassa di atas permukaan tanah, yaitu CH₄ sebesar 833 Gg CO₂e dan N₂O sebesar 547 Gg CO₂e. Pada penghitungan emisi dari *Biomass Burning*, gas CO₂ tidak dihitung karena sudah dihitung pada penghitungan emisi dari perubahan penutupan lahan. Hal ini dilakukan untuk menghindari *double counting*.

Tabel 4. 11 Emisi Biomass Burning Gas Non-CO₂

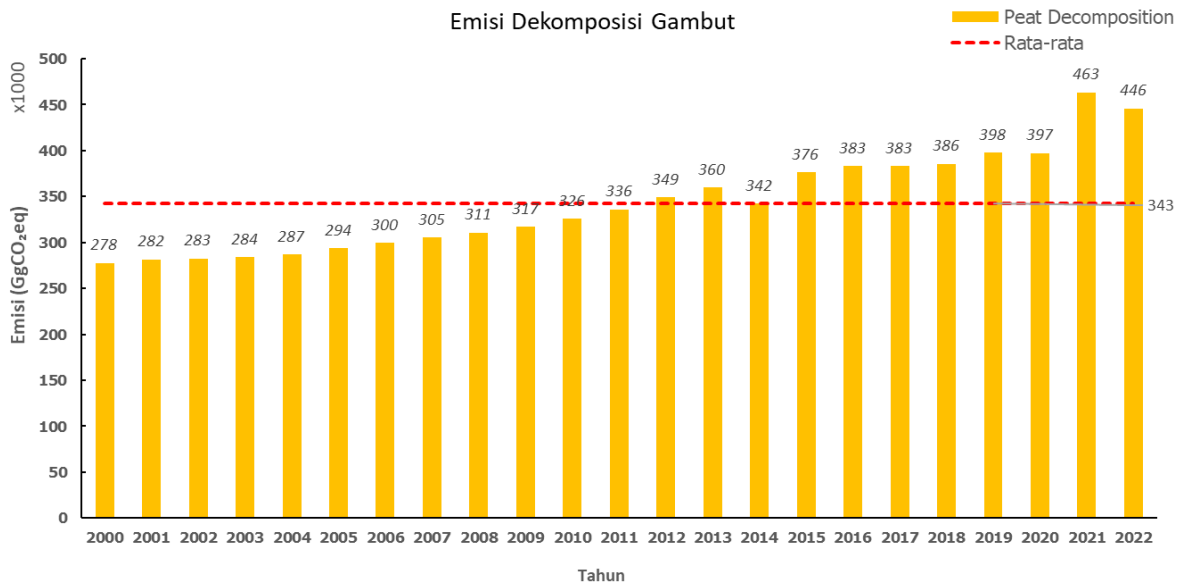
Kategori		CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ e
3C1. Biomassa Burning				
	3C1a. Biomass Burning in Forest Land	9,11	0,27	274,48
	3C1b. Biomass Burning in Crop Land	20,59	0,59	614,25
	3C1c. Biomass Burning in Grass Land	9,98	0,91	492,25
	Total CO₂e	833,42	547,56	1.380,98

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 – 2022 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 sub kategori *Non Cropland to Cropland* dan *Non Otherland to Otherland*. Hal ini dapat diindikasikan terjadi perubahan dari kategori kelas tutupan hutan ke nonhutan.

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 2000-2022



Gambar 4. 60 Emisi Dekomposisi Gambut 2000-2022

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 2022. Hal ini dimungkinkan karena pengaplikasian parameter terbaru di tahun 2022, sedangkan tahun 2000 sampai dengan tahun 2021 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 – 2022 dirangkum menggunakan format *IPCC Guideline 2006* seperti disajikan pada Tabel 4.12 dan Tabel 4.13 serta pada Gambar 4.56 dan Gambar 4.57 menggambarkan perubahan-perubahan nilai emisi GRK dari Tahun 2000-2022. Tabel 4.13 menunjukkan bahwa sumber emisi utama dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya pada Tahun 2022 adalah *Peat Decomposition* pada urutan pertama dengan emisi sebesar 445.904 Gg CO₂e, dan *Non-Cropland to Cropland* pada urutan kedua dengan emisi sebesar 49.502 Gg CO₂e. Sedangkan, sumber serapan utama adalah *Forest remaining Forest* dengan serapan sebesar 333.198 Gg CO₂e. Secara lengkap, emisi/removal GRK pada Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya dari 1) perubahan stok karbon di atas permukaan tanah (above ground biomass), 2) dekomposisi gambut, dan 3) kebakaran gambut tahun 2000-2010 dan tahun 2011-2022, dapat dilihat pada Tabel 4.12 dan Tabel 4.13.

Tabel 4. 12 Emisi dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lainnya Tahun 2000-2010 (Gg CO₂e)

Code	Source Category	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
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
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
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
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
3B3a	Grassland remaining Grassland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
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
3B4a	Wetland remaining Wetland	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
3B4b	Non-Wetland to Wetland	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
3B5a	Settlement remaining Settlement	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
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
3B6a	Otherland remaining Otherland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
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
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
	Biomass FOLU	308.726	-419.092	-386.028	-401.553	-230.608	-219.456	-179.026	-68.755	-86.481	29.469	-229.101
Other	Peat Decomposition	277.655	281.557	282.588	283.779	287.215	293.525	299.711	305.412	310.912	316.817	325.789
	Total emission without Peat Fire	586.380	-137.535	-103.440	-117.773	56.607	74.070	120.685	236.657	224.431	346.286	96.687
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
	Total emission with Peat Fire	601.229	-92.135	35.592	-70.086	216.055	253.536	645.492	303.039	258.449	515.057	139.612

Tabel 4. 13 Emisi dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lainnya Tahun 2011-2022 (Gg CO₂e)

Code	Source Category	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
3B1a	Forest remaining Forest	-368.838	-331.479	-345.487	-345.140	-367.876	-375.925	-340.318	-330.486	-357.188	-336.979	-328.826	-333.198
3B1b	Non-Forest to Forest	-5.253	-4.673	-5.781	-3.555	-2.157	-2.498	-2.055	-734	-52	-85	-549	-346
3B2a	Cropland remaining Cropland	-37787	-36.787	-35.199	-33.580	-30.184	-21.764	-14.503	-15.022	-10.189	-3.464	1.624	1.180
3B2b	Non-Cropland to Cropland	60.527	144.909	275.738	185.460	451.661	357.386	423.199	708.649	147.464	79.424	66.672	49.502
3B3a	Grassland remaining Grassland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3B3b	Non-Grassland to Grassland	55.963	60.605	59.755	6.546	1.965	28.384	110.734	19.322	19.435	-11.142	-15.218	-3.753
3B4a	Wetland remaining Wetland	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
3B4b	Non-Wetland to Wetland	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
3B5a	Settlement remaining Settlement	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3B5b	Non-Settlement to settlement	3.302	2.330	1.767	15.115	38.923	44.806	46.074	30.718	46.884	2.200	7.808	1.752
3B6a	Otherland remaining Otherland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3B6b	Non-Otherland to Otherland	99.820	104.132	176.311	134.307	455.680	131.080	70.983	84.238	222.616	70.649	57.550	49.290
3C	Biomass Burning	3.974	10.496	3.736	16.523	24.369	4.221	1.149	4.202	14.573	2.088	2.206	1.381
	Biomass FOLU	-188.293	-50.466	130.841	-24.323	572.381	165.688	295.264	500.887	83.542	-197.309	-208.735	-234.190
Other	Peat Decomposition	336.073	349.262	359.863	342.202	376.186	383.189	383.418	385.600	398.178	398.178	397.423	463.480
	Total emission without Peat Fire	147781	298.796	490.703	317.878	948.567	548.878	678.682	886.487	481.720	200.114	254.745	211.714
Other	Peat Fire	65.637	192.757	60.725	314.078	410.013	44.985	6.236	60.461	227.462	9.200	11.919	9.654
	Total emission with Peat Fire	213.417	491.552	551.428	631.956	1.358.580	593.863	684.918	946.948	709.182	209.314	266.665	221.368

F. Sumber Emisi Kunci

Berdasarkan analisis kategori kunci sebagaimana Tabel 4.14, sumber emisi/serapan kunci pada Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya tahun 2022 adalah *Peat Decomposition* dengan kontribusi emisi sebesar 49,77%, *Forest Remaining Forest* dengan kontribusi serapan sebesar 37,19%, *Non-Cropland to Cropland* dengan kontribusi emisi 5,52%, *Non-Otherland to Otherland* dengan kontribusi emisi sebesar 5,50%.

Tabel 4. 14 Analisis Kategori Kunci Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

Kategori	Emisi CO ₂ eq (Gg)	Absolute	Kontribusi (%)	Kumulatif (%)
<i>Other: Peat Decomposition</i>	445.904,35	445.904,35	49,77	49,77
<i>3B1a. Forest Remaining Forest</i>	-333.197,73	333.197,73	37,19	86,96
<i>3B2b. Non-Cropland to Cropland</i>	49.501,68	49.501,68	5,52	92,48
<i>3B6b. Non-Otherland to Otherland</i>	49.290,34	49.290,34	5,50	97,98
<i>Other: Peat Fire</i>	9.653,68	9.653,68	1,08	99,06
<i>3B3b. Non-Grassland to Grassland</i>	-3.752,53	3.752,53	0,42	99,48
<i>3B5b. Non-Settlement to Settlement</i>	1.752,21	1.752,21	0,20	99,68
<i>3C1. Biomass Burning</i>	1.380,98	1.380,98	0,15	99,83
<i>3B2a. Cropland Remaining Cropland</i>	1.180,47	1.180,47	0,13	99,96
<i>3B1b. Non-Forest to Forest</i>	-345,56	345,56	0,04	100,00
<i>3B3a. Grassland Remaining Grassland</i>	0,00	0,00	0,00	100,00
<i>3B4a. Wetland Remaining Wetland</i>	0,00	0,00	NE	NE
<i>3B4b. Non-Wetland to Wetland</i>	0,00	0,00	NE	NE
<i>3B5a. Settlement Remaining Settlement</i>	0,00	0,00	0,00	100,00
<i>3B6a. Otherland Remaining Otherland</i>	0,00	0,00	0,00	100,00
TOTAL	221.367,88	895.959,54	100,00	100,00

4.2.5 Sektor Limbah

A. Kategori Sumber Emisi GRK

Berdasarkan IPCC *Guidelines* 2006, sumber utama emisi GRK dari sektor limbah 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 (*stockfiles of EFB*).

Pelaporan emisi sektor limbah dengan mencakup 4 (empat) kategori ini kemudian secara konsisten disampaikan pada dokumen laporan 3rd BUR dan laporan tahunan nasional untuk penghitungan emisi tahun 2017 sampai dengan emisi 2022.

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 – 2022.

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 SIPSAN (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 tersedia 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 SIPSAN. Hingga tahun 2022, SIPSAN telah menghimpun data *bottom up* dari sebanyak 412 dari 514 kab/kota atau telah mencapai 80,16% data. Namun baru tervalidasi sebanyak 309 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 – 2022

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 4.15 menunjukkan nilai perbandingan komposisi sampah antara nilai rata-rata hasil penelitian di lokasi pilot studi dengan nilai default IPCC *Guidelines* 2006.

Tabel 4. 15 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. 16 *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 ini 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 ($EF = Bo \cdot MCF$, 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 4.17 memperlihatkan parameter dan faktor emisi yang digunakan.

Tabel 4. 17 Parameter dan Faktor Emisi Limbah Cair Domestik

Uraian	Jenis Data	Karakteristik	Sumber Data
Data Aktivitas	Populasi		BPS: Proyeksi Penduduk Indonesia 2010 – 2035
	Konsumsi Protein (Kg/Orang/Tahun)		BPS: Konsumsi Kalori dan Protein Penduduk Indonesia dan Provinsi (Survey Susenas)
	Fraksi Pembuangan air limbah domestic		BPS: Statistik Kesejahteraan Rakyat (hasil survey susenas)
	BOD (<i>Biological Oxygen Demand</i>)	40 gram/org/hari atau Setara 14,6 kg/org/tahun	Angka Default IPCC Guidelines 2006
	Kapasitas Produksi CH ₄ max	0,60 kg CH ₄ /kgBOD	
	Fraksi N dalam protein	0,16 kg N/kg protein	
	<i>F non-consumption protein</i>	1,10	
	F protein industri yang dibuang di saluran pembuangan	1,25	
	<i>N sludge</i> (default = 0)	0 kGram	
	Faktor Emisi N ₂ O	0,005 kg N ₂ O-N/kg N	
	Faktor konversi kg N ₂ O-N menjadi kg N ₂ O, 44/28	1,571	
	Emisi dari IPAL (default = 0)	- kg N ₂ O-N/year	
Faktor Emisi	Kapasitas maksimum produksi CH ₄	0,6 Kg CH ₄ /Kg BOD atau 0,25 Kg CH ₄ /kg COD	
	MCF	<i>Treated dan untreated</i>	
	EF <i>Effluent</i> (Kg N ₂ O-N/ kg-N)	0,005	
	EF <i>Plants</i> (g N ₂ O/orang/thn)	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 IGRK 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. 18 Parameter Fraksi Populasi dan Derajat Penggunaan pada Pengolahan Limbah Cair Domestik

	Treatment	Fraction	Degrees of Utilization
Before 2010 (assumed)			
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
2010 (updated with processed data from Welfare Statistics and MoEF monitoring of treatment facilities)			
Rural	Septic tank	0,502	0,43
	Non Septic tank	0,502	0,57

	<i>Treatment</i>	<i>Fraction</i>	<i>Degrees of Utilization</i>
Urban	<i>Septic tank</i>	0,498	0,79
	<i>Non Septic tank</i>	0,498	0,22
	<i>Centralized</i>	0,498	0,00
	<i>Bio-digesters</i>	0,498	0,00
2011			
Rural	<i>Septic tank</i>	0,495	0,45
	<i>Non Septic tank</i>	0,495	0,55
Urban	<i>Septic tank</i>	0,505	0,79
	<i>Non Septic tank</i>	0,505	0,22
	<i>Bio-digesters</i>	0,505	0,00
2021			
Rural	<i>Septic tank</i>	0,427	0,72
	<i>Non Septic tank</i>	0,427	0,28
Urban	<i>Septic tank</i>	0,574	0,84
	<i>Non Septic tank</i>	0,573	0,10
	<i>Centralized</i>	0,573	0,055
	<i>Bio-digesters</i>	0,573	0,005
2022			
Rural	<i>Septic tank</i>	0,420	0,74
	<i>Non Septic tank</i>	0,420	0,26
Urban	<i>Septic tank</i>	0,580	0,84
	<i>Non Septic tank</i>	0,580	0,10
	<i>Centralized</i>	0,580	0,056
	<i>Bio-digesters</i>	0,580	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 Kemenperin 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 - 2022 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 – 2022 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 – 2022, 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).

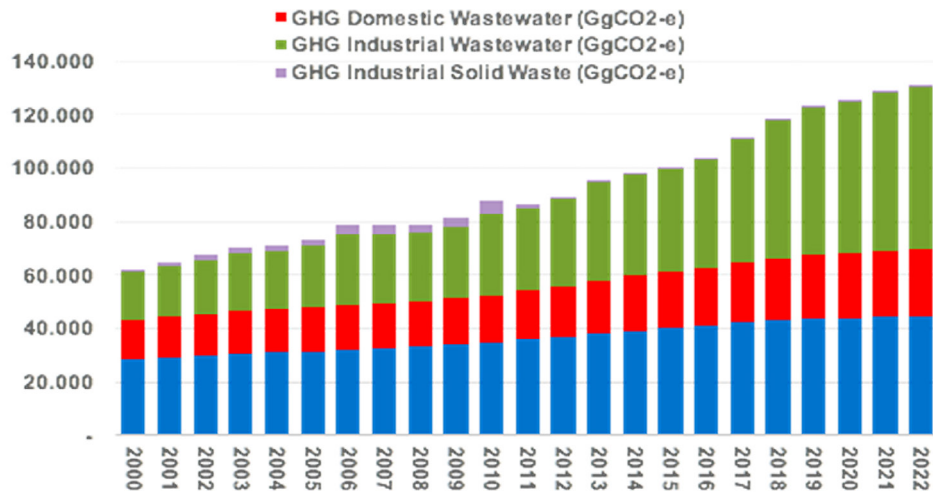
Total emisi sektor limbah pada tahun 2022 adalah sebesar 130.188,21 Gg CO₂e. Pengolahan limbah cair industri (Industrial Wastewater) masih menjadi penyumbang emisi terbesar dari sektor limbah dengan angka sebesar 60.302 Gg CO₂e atau 46,32%. Selanjutnya berturut-turut diikuti oleh emisi dari limbah padat domestik (MSW) sebesar 44.743 Gg CO₂e (34,37%), limbah cair domestik sebesar (DWW) 24.987 Gg CO₂e (19,19%) dan limbah padat industri (ISW) sebesar 156 Gg CO₂e (0,12%).

Angka emisi tahun 2022 naik, tapi pertambahannya dari 2021 ke 2022 lebih kecil dibandingkan kenaikan pada tahun 2020 ke 2021. Hal ini disebabkan karena penurunan cukup signifikan angka produksi kilang minyak (*petroleum refineries*) pada tahun 2021 dan 2022 dibandingkan tahun 2020, dan juga adanya sedikit penurunan pada produksi CPO sejak 3 tahun terakhir.

Tabel 4. 19 Emisi GRK dari Sektor Limbah Tahun 2000 – 2022

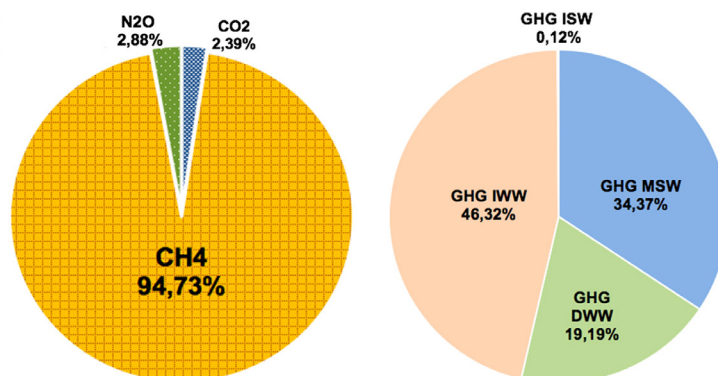
Tahun	GHG MSW (Gg CO ₂ e)	GHG DWW (Gg CO ₂ e)	GHG IWW (Gg CO ₂ e)	GHG ISW (Gg CO ₂ e)	GHG TOTAL (Gg CO ₂ e)
2000	28.198	14.977	17.735	1.281	62.190,74
2001	28.950	15.196	19.175	1.537	64.857,22
2002	29.649	15.659	20.346	1.761	67.415,06
2003	30.310	15.926	22.008	1.911	70.154,81
2004	30.939	16.129	22.020	1.982	71.070,09
2005	31.546	16.392	22.763	2.171	72.870,89
2006	32.135	16.560	26.502	3.175	78.372,61
2007	32.630	16.982	25.485	3.233	78.329,44
2008	33.153	17.223	25.242	3.210	78.826,55
2009	33.801	17.330	26.909	3.536	81.576,26
2010	34.783	17.602	30.935	4.446	87.766,10

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)
2011	35.967	17.899	31.851	1.219	86.936,71
2012	37.079	18.491	33.135	504	89.209,19
2013	38.212	18.973	36.138	246	93.569,26
2014	39.170	19.294	37.246	174	95.884,01
2015	40.119	19.508	37.766	121	97.539,33
2016	41.180	20.886	39.918	116	102.105,15
2017	42.147	22.805	43.871	128	108.938,64
2018	43.019	23.321	48.168	132	114.636,80
2019	43.785	23.584	52.832	173	120.333,20
2020	43.957	24.009	56.509	188	124.753,28
2021	44.269	24.635	59.202	168	128.274,38
2022	44.743	24.986	60.302	156	130.188,21



Gambar 4. 62 Emisi GRK dari Kegiatan Pengelolaan Limbah 2000 – 2022

Berdasarkan jenis gasnya, CH₄ merupakan gas utama yang dihasilkan dari sektor ini yaitu sebesar 123.024 Gg CO₂e (94,72%), dilengkapi oleh gas N₂O sebesar 3.727 Gg CO₂e (2,88%) dan gas CO₂ 3.087 Gg CO₂e (2,39%). Distribusi emisi GRK Sektor Limbah Tahun 2022 menurut sumber dan jenis gasnya disajikan pada Gambar 4.63.



Gambar 4. 63 Distribusi Emisi Sektor Limbah Tahun 2022

Tabel pelaporan umum (*common reporting format*) emisi GRK sektor limbah tahun 2022 disajikan pada Tabel 37 di bawah ini, untuk tiga gas CO₂, CH₄ dan N₂O yang telah dikonversikan dalam satuan Giga gram CO₂e.

Tabel 4. 20 Common Reporting Format of the GHG Emissions from Waste Category in 2022

GHG Source and Sink Categories			CO ₂ *	CH ₄	N ₂ O	TOTAL
			(Ggram CO ₂ e)			
Total Waste			3.118	123.321	3.750	130.188
A.	Solid waste disposal					
	1.	Manage waste disposal sites				
	1.1	Managed domestic waste disposal sites				
	1.2	Manage Industrial waste disposal		24,81		24,81
	2.	Unmanage domestic waste disposal sites		39.251		39.251
	3.	Uncategorised waste disposal sites				
B.	Biological treatment od solid waste					
	1.	Composting of domestic solid waste		1,00	35,02	35,97
	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	3.116	1.982	358	5.456
D.	Wastewater treatment and dischrage					
	1.	Domestic wastewater		21.631	3.356	24.987
	2.	Industrial wastewater		60.302		60.302
	3.	Other (as specified in Table 5 D)				
E.	Other (please specify)					
	1.	Industrial solid waste handling	1,43	129,19		130,62
*CO ₂ emission from waste sector is derived from fossil content (C2) and as CO ₂ equivalent emitted from pre-treatment 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 4.21).

Tabel 4. 21 Analisis Kategori Kunci Sektor Limbah Tahun 2022

Code	Category	Total GHG Emissions	Level/ Rank	Cumulative
4D 2	Industrial Wastewater Treatment and Discharge	60.302	46,32	46,32
4A 2	Unmanaged Solid Waste Disposal	39.251	30,15	76,47
4D 1	Domestic Wastewater	24.987	19,19	95,66
4C	Open Burning of waste	5.456	4,19	99,85
4E 1	Other – Industrial Solid Waste Handling	131	0,10	99,95
4A 1.2	Managed Industrial Solid Waste Disposal	25	0,02	99,97
4B 1	Biological Treatment of Domestik Solid Waste	36	0,03	100
4B 2	Biological Treatment of Industrial Solid Waste	0,95	0,00	100
TOTAL		130.188	100%	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 **834 Juta ton CO₂e** pada target *unconditional* (CM1) dan sebesar **1.185 Juta ton CO₂e** pada target *conditional* (CM2). Untuk memenuhi target tersebut, secara nasional telah dilakukan berbagai aksi mitigasi pada semua sektor oleh penanggung jawab aksi mitigasi.

Hasil perhitungan capaian pengurangan emisi GRK secara nasional dari aksi mitigasi di 5 sektor untuk tahun kegiatan 2021 yaitu sebesar **487,90 Juta ton CO₂e**, dan sebesar **428,43 Juta ton CO₂e** untuk tahun 2022 sebagaimana disajikan pada Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Capaian Pengurangan Emisi GRK Nasional dari Aksi Mitigasi Tahun 2020 – 2022

No.	Sektor	Capaian Pengurangan emisi GRK (ton CO ₂ e)	
		2021	2022
1.	Energi	91.497.470	123..401
2.	IPPU	2.786.417	4.613.395
3.	Kehutanan dan penggunaan lahan lainnya	377.873.377	285.339.564
4.	Pertanian	14.043.100	13,554,000
5.	Limbah	1.702.503	1.694.692
	Total	487.902.867	428.426.052

Tabel di atas menunjukkan adanya penurunan terhadap capaian pengurangan emisi GRK dari Sektor Kehutanan dan penggunaan lahan lainnya, Limbah dan Pertanian sedangkan Sektor Energi dan IPPU mengalami peningkatan di Tahun 2022 apabila dibandingkan dengan capaian pengurangan emisi GRK Tahun 2021.

Untuk Sektor Limbah capaian pengurangan emisi di tahun 2022 mengalami penurunan dari tahun sebelumnya diakibatkan pada sub kategori limbah cair industri data aksi mitigasi hanya didukung pada industri “vegetable, fruits, juices”. Sedangkan penurunan capaian pengurangan emisi GRK di Sektor Kehutanan dan penggunaan lahan lainnya disebabkan karena adanya koreksi atas metodologi perhitungan yang digunakan. Pada Sektor Pertanian mengalami penurunan yang disebabkan karena aksi penanaman padi varietas rendah emisi dan luas sebaran varietas padi tahun 2022 menjadi 10.133.741 Ha dari tahun sebelumnya seluas 10.435.715,48 Ha. Untuk sektor Energi dan IPPU mengalami peningkatan capaian pengurangan emisi GRK sebagai akibat adanya penambahan aksi mitigasi di Sektor Energi seperti aksi mitigasi dari Piranti Lemari Pendingin (Kulkas), Piranti Penanak Nasi, Pemanfaatan *Co-firing*, Pemanfaatan Langsung Panas Bumi dan di Sektor IPPU yaitu aksi mitigasi di industri pupuk.

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 Tahun 2021.

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 72 Tahun 2017 tentang Pedoman Pelaksanaan Pengukuran, Pelaporan dan Verifikasi Aksi dan Sumberdaya Pengendalian Perubahan Iklim dan saat ini sedang dalam proses revisi sebagaimana amanat pada Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021.

5.1.1 Sektor Energi

Sebagaimana tertuang dalam dokumen NDC bahwa Sektor Energi memiliki target pengurangan emisi GRK yang cukup besar yaitu 11% (314 Juta ton CO₂e) dari target 29% di tahun 2030 dan meningkat menjadi 12,5% (358 Juta ton CO₂e) di tahun 2030 sebagaimana tertuang dalam Dokumen *Enhanced NDC*. Untuk mencapai target NDC di Sektor Energi tersebut, KESDM, Kemenhub dan Kemenperin telah melakukan aksi mitigasi dari 5 (lima) kelompok aksi yaitu (1) Efisiensi Energi, (2) Energi Baru Terbarukan, (3) Bahan Bakar Rendah Karbon, (4) Penggunaan Teknologi Pembangkit Bersih dan (5) Reklamasi Lahan Pasca Tambang. Kemenhub menyampaikan aksi mitigasi dari 3 (tiga) kelompok aksi yaitu (1) transportasi darat dan kereta api, (2) transportasi udara, dan (3) transportasi laut. Kemenperin menyampaikan aksi mitigasi Efisiensi Energi di Industri Semen dan Industri Pupuk.

Dari hasil pencermatan atas pelaporan capaian pengurangan emisi GRK di Sektor Energi yang disampaikan oleh Kementerian ESDM, terdapat aksi mitigasi pada kategori emisi sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya. Aksi mitigasi kategori emisi sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya antara lain Reklamasi Lahan Pasca Tambang (KESDM) sebesar **3.922.990 ton CO₂e** dan Penghijauan Lingkungan di Bandar Udara (Kemenhub) sebesar **586.747 ton CO₂e** dimasukkan ke dalam kategori emisi sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya. Sehingga capaian pengurangan emisi GRK di Sektor Energi sebesar **123,22 Juta ton CO₂e**. Hal ini menunjukkan peningkatan sebesar **31,73 Juta ton CO₂e** dari tahun 2021. Capaian pengurangan emisi GRK di Sektor Energi sebagaimana terlihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5. 2 Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2022

No	Kategori Emisi GRK	Capaian Emisi GRK Tahun 2022
1	Sektor Energi	112.046.371
2	Subsektor Energi di Transpotasi	3.354.092
3	Subsektor Energi di Industri	7.823.938
	Total (Ton CO₂e)	123.224.401

Capaian pengurangan emisi GRK untuk Tahun Kegiatan 2022 di Sektor Energi termasuk subsektor energi di industri dan subsektor energi di transportasi untuk setiap aksi mitigasi yang telah dilakukan sebagaimana terlihat pada Tabel 5.3, Tabel 5.4, dan Tabel 5.5.

Tabel 5. 3 Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2022

NO	AKSI MITIGASI	Capaian Pengurangan Emisi GRK (ton CO ₂ e)
I	EFISIENSI ENERGI	31.874.748
1	Penerapan mandatori manajemen energi untuk pengguna padat energi	14.035.811
2	Peningkatan efisiensi peralatan rumah tangga	17.695.716
	-Lampu <i>Compact Fluorescent Lamp</i> (CFL)	3.067.908
	-Piranti Pengkondisi Udara (<i>Air Conditioning</i>)	14.528.951
	-Piranti Lemari Pendingin (Kulkas)	6.926
	-Piranti Penanak Nasi	91.932

NO	AKSI MITIGASI	Capaian Pengurangan Emisi GRK (ton CO ₂ e)
3	Penggantian (<i>Retrofitting</i>) Lampu LED -- PJU Hemat energi	18.003
4	KBLBB	110.294
	-Program Konversi Motor Listrik	51
	-Kendaraan Listrik Baru	110.242
5	Implementasi Joint Crediting Mechanism (JCM) di Indonesia	14.925
	PERSENTASE (%)	26%
II	ENERGI BARU DAN TERBARUKAN	51.295.834
6	Pembangkit Energi Baru Terbarukan	
	- PLTP	7.097.083
	- PLTMH	
	a. PLTMH off grid	43.605
	b. PLTMH on grid	770.607
	- PLTM	4.124.371
	- PLTS	583.110
	a. PLTS off grid	56.571
	b. PLTS on grid	270.758
	- PLTS Rooftop	
	a. PLTS Rooftop PLN	72.756
	b. PLTS Rooftop Non PLN	9.178
	IUPTLS PLTS	166.729
	- PLTBayu	266.891
	a. PLT Bayu off grid	6.128
	b. PLT Bayu on grid	260.763
	- PLT Hybrid	7.117
	Bioenergi	2.077.179
	- PLT Biomassa	1.394.743
	IUPLTS PLTBm	654.447
	- Pembangunan PLTA	4.881.732
	IUPTLS PLTA & SLO PLTA	3.072.053
8	Lampu Tenaga Surya Hemat Energi (LTSHE)	8.413,5
9	Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya	26.499
10	Pemanfaatan Biogas	10.647
	IUPTLS PLTBg	17.342
11	Pemanfaatan Biodiesel	27.746.961
12	Pemanfaatan Co-Firing	595.786
13	Pemanfaatan Langsung Panas Bumi	1.546
	PERSENTASE (%)	42%
III	BAHAN BAKAR RENDAH KARBON	15.547.603
14	<i>Fuel Switching</i> BBM Transportasi (RON 88 ke RON 92)	224.246
15	Program Konversi Minyak Tanah ke LPG	15.273.493
16	Peningkatan Sambungan Rumah yang Teraliri Gas Bumi melalui Pipa	49.865
	PERSENTASE (%)	13%

NO	AKSI MITIGASI	Capaian Pengurangan Emisi GRK (ton CO ₂ e)
IV	PENGUNAAN TEKNOLOGI PEMBANGKIT BERSIH	13.328.182
17	Aksi Mitigasi Sektor Ketenagalistrikan	
	- Penggunaan <i>Clean Coal Technology</i> pada PLTU Batubara (<i>Supercritical</i>)	6.157.891
	- Pengoperasian Pembangkit Listrik Gas Baru	7.170.291
	PERSENTASE (%)	11%
V	KEGIATAN LAIN	11.142.368
18	Reklamasi Lahan Pasca Tambang	0
19	Kegiatan Aksi Mitigasi Sub Sektor Transportasi	3.354.092
20	Kegiatan Aksi Mitigasi Sub Sektor Industri	7.823.938
	PERSENTASE (%)	9%
TOTAL		123.224.401

Tabel 5. 4 Capaian Pengurangan Emisi GRK Subsektor Energi di Industri Tahun 2022

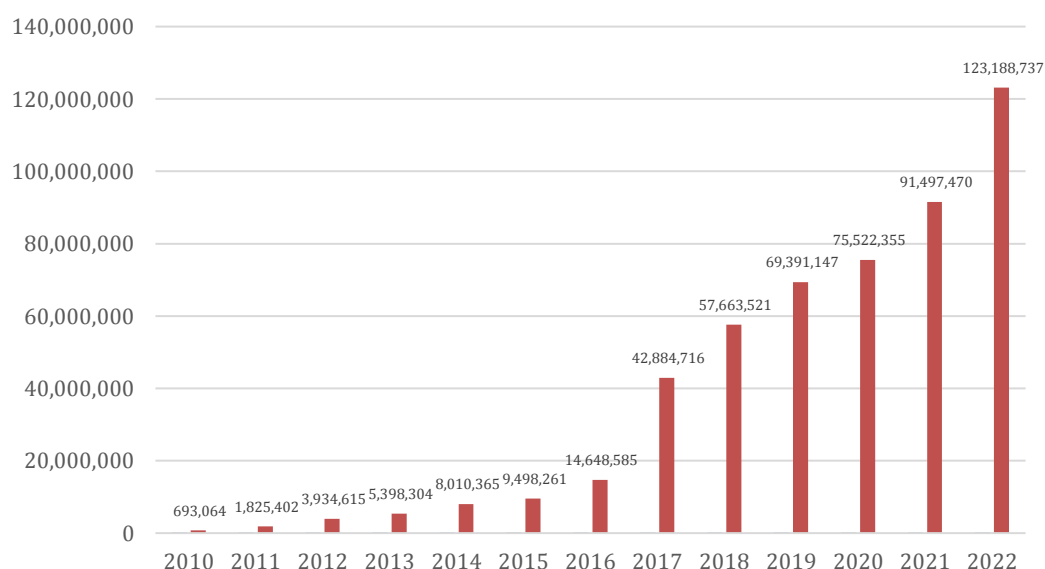
No	Aksi Mitigasi	Capaian Pengurangan Emisi GRK (ton CO ₂ e)
1	Efisiensi Energi melalui Pemanfaatan Bahan Bakar Alternatif	7.823.938
TOTAL (ton CO ₂ e)		7.823.938

Tabel 5. 5 Capaian Pengurangan Emisi GRK Subsektor Energi di Transportasi Tahun 2022

NO	AKSI MITIGASI	Capaian Pengurangan Emisi GRK (ton CO ₂ e)
SUB SEKTOR TRANSPORTASI DARAT		
1	Mendorong Pembinaan dan Pengembangan sistem transit - Bus Rapid Transit (BRT)/ semi BRT	768.534
2	Pemanfaatan Teknologi Lalu Lintas untuk Kelancaran Lalu Lintas di Jalan Nasional / (Area Traffic Control System/ ATCS)	120.827
3	Pemanfaatan Solar Cell pada Penerangan Jalan Umum (PJU)	18.728
4	Penggunaan Sarana Bantu Navigasi Pelayaran (SBNP) pada TSDP berbasis solar cell	7.586
5	Implementasi LDF (<i>Long Distance Ferry</i>)	1.589
	TOTAL	917.263
SUB SEKTOR PERKERETAAPIAN		
1	Pemanfaatan Jalur Ganda Lintas Jawa & KA Lintas Sumatera	1.759.322
2	Pemanfaatan KA Bandara :	
	KA Bandara Soekarno Hatta	6.854
	KA Bandara YIA	2.499,29
3	Pemanfaatan KRL Perkotaan Jabodetabek	242.689
4	Pemanfaatan KRL Yogyakarta-Solo	12.603
4	Pemanfaatan MRT dan LRT (Palembang & Jakarta)	0
	TOTAL	2.023.967
SUB SEKTOR PERHUBUNGAN LAUT		
1	Pemanfaatan Teknologi Solar Cell pada Sarana Bantu Navigasi Pelayaran (SBNP)	1.884
2	Modernisasi Kapal (Pemanfaatan Kapal Navigasi Baru)	215.028

NO	AKSI MITIGASI	Capaian Pengurangan Emisi GRK (ton CO ₂ e)
3	Efisiensi Manajemen Operasional Pelabuhan (Pemanfaatan Shore Connection)	454,455
4	Elektrifikasi Peralatan Pelabuhan	8.427
5	Pemanfaatan PLTS, PJU dan LED di Pelabuhan	10.825
	TOTAL	236.619
SUBSEKTOR UDARA		
1	Peremajaan Angkutan Udara	169.388
2	Penyempurnaan Sistem dan Prosedur Pengoperasian serta Perawatan Pesawat Udara	
3	Penerapan <i>Performanced Based Navigation</i> (PBN)	
	Pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan	3.215
4	Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya	
	Pemanfaatan Solar cell untuk Penerangan Jalan	
5	Penggunaan lampu <i>Light Emitting Diode</i> (LED) untuk penerangan bandar udara dan rambu navigasi penerbangan	3.640
6	Penghijauan Lingkungan Bandar Udara	0
	TOTAL	176.243
	TOTAL AKSI MITIGASI	3.354.092

Capaian pengurangan emisi GRK terverifikasi berdasarkan pelaporan kinerja aksi mitigasi yang disampaikan oleh KESDM, Kemenhub dan Kemenperin dari tahun 2010 – 2022, sebagaimana terlihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5. 1 Capaian Pengurangan Emisi GRK Terverifikasi Sektor Energi Tahun 2010 – 2022

5.1.2 Sektor IPPU

Berdasarkan laporan capaian pengurangan emisi GRK yang disampaikan oleh Kemenperin untuk tahun kegiatan 2022, diketahui bahwa Kemenperin telah melakukan aksi mitigasi sebagai berikut:

1. Penerapan modifikasi proses dan teknologi pada industri semen, melalui penurunan rasio klinker, sebagai data capaian pengurangan emisi GRK di sektor IPPU.
2. Konservasi dan audit energi melalui pemanfaatan bahan bakar alternatif dan efisiensi energi di industri semen, sebagai pendukung data capaian pengurangan emisi GRK di sektor Energi.

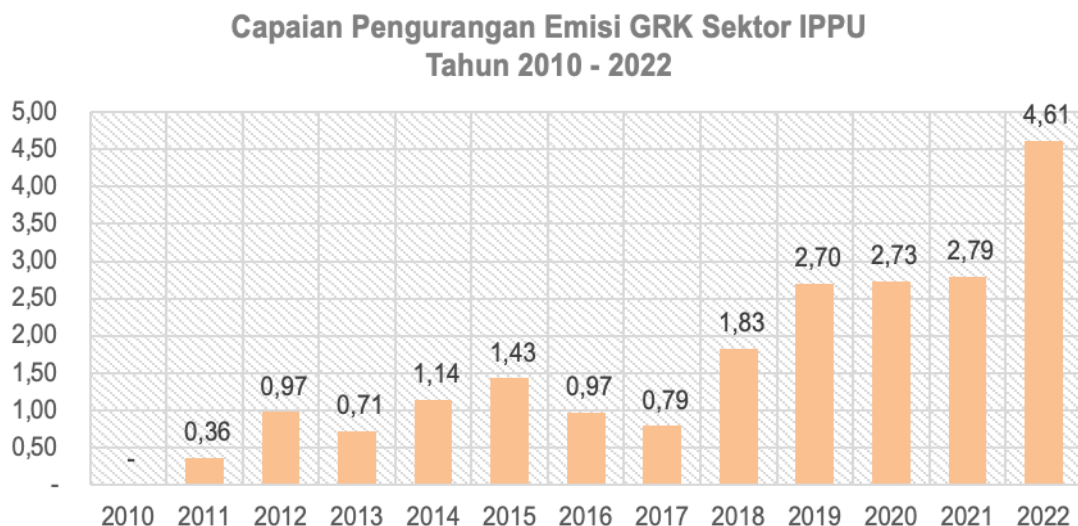
Aksi mitigasi Penurunan Rasio Klinker di industri semen dan industri pupuk menggunakan sumber data dari 14 plant yang terinput pada SIINAS (Sistem Informasi Industri Nasional). Kemenperin selaku PJA menyatakan bahwa pada tahun 2022 telah melakukan pengurangan emisi GRK sebesar **4,61 Juta ton CO₂e** dari aksi mitigasi tersebut. Pengurangan emisi GRK dari rasio klinker dari industri semen adalah sebesar **2,61 Juta ton CO₂e**, menurun sebesar **0,17 Juta ton CO₂e** dibandingkan dengan capaian pengurangan emisi pada tahun 2021. Pengurangan emisi GRK dari industri pupuk yaitu sebesar **2,00 Juta ton CO₂e**.

Capaian pengurangan emisi GRK terverifikasi untuk aksi mitigasi Penurunan Rasio Klinker di Industri Semen dan Industri Pupuk pada tahun kegiatan 2022 sebagaimana tertuang pada Tabel 5.6.

Tabel 5. 6 Capaian Pengurangan Emisi GRK Terverifikasi Sektor IPPU Tahun 2022

No	Aksi Mitigasi	Capaian Pengurangan Emisi GRK (ton CO ₂ e)
1.	Penurunan Rasio Klinker di Industri Semen	2.613.272
2.	Penurunan Rasio Klinker di Industri Pupuk	2.000.123
	TOTAL	4.613.395

Capaian pengurangan emisi GRK terverifikasi Sektor IPPU yang disampaikan oleh Kemenperin terhitung dari tahun 2010 – 2022, sebagaimana terlihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5. 2 Capaian Pengurangan Emisi GRK Terverifikasi Sektor IPPU Tahun 2010 – 2022

5.1.3 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).

Kepala Biro Perencanaan Kementerian Pertanian melalui surat nomor: B.1253/RC.010/A.1/07/2023 tanggal 24 Juli 2023 menyampaikan Laporan Inventarisasi GRK dan Aksi Mitigasi GRK Sektor Pertanian Tahun 2022 menyebutkan bahwa aksi mitigasi yang dilakukan oleh Kementerian Pertanian sebagai berikut:

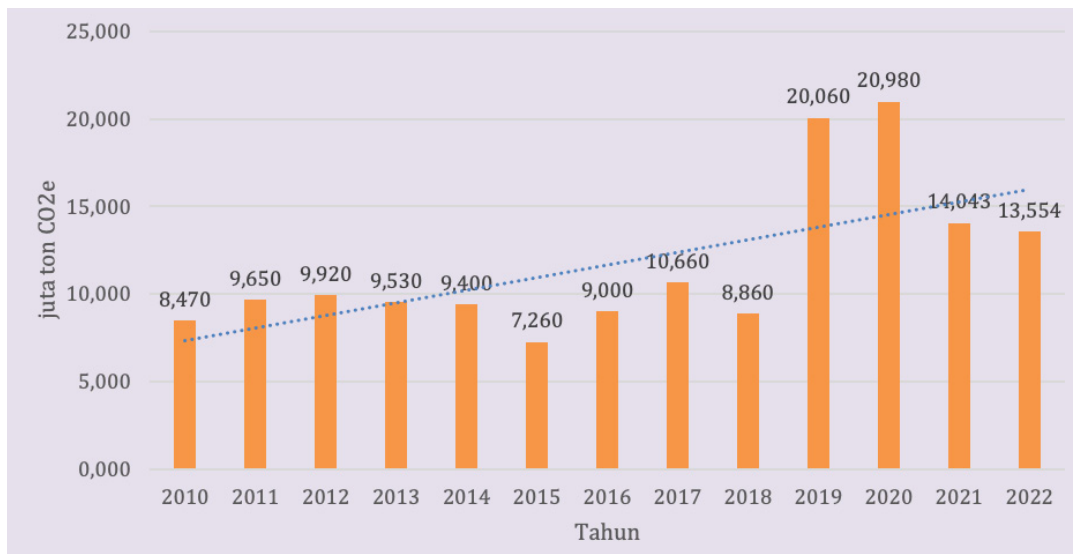
1. Mitigasi emisi CH_4 melalui pemanfaatan biogas kotoran ternak (BATAMAS);
2. Peningkatan cadangan karbon tanah melalui penggunaan pupuk organik sebagai dampak penggunaan UPPO dan pengelolaan bahan organik;
3. Desa Organik;
4. Penanaman padi varietas rendah emisi (Mitigasi emisi CH_4 dari pengelolaan lahan sawah melalui pengaturan rezim air dan varietas padi);
5. Perbaikan kualitas pakan;
6. Pemupukan Berimbang;
7. Pengelolaan muka air tanah (MAT) lahan gambut.

Kementerian Pertanian melaporkan hasil capaian pengurangan emisi total Tahun 2022 sebesar 13,554 juta ton CO_2e . Pengurangan emisi ini berasal dari 7 (tujuh) aksi mitigasi GRK Sektor Pertanian tahun 2022 (CH_4 melalui pemanfaatan biogas kotoran ternak, Peningkatan cadangan karbon tanah melalui penggunaan pupuk organik sebagai dampak penggunaan UPPO dan pengelolaan bahan organik, Desa organik, Penanaman Padi Varietas Rendah Emisi (Pengaturan Air dan Varietas Padi untuk Mitigasi CH_4 dari Lahan Sawah), Perbaikan kualitas pakan, dan Pemupukan Berimbang) sebesar 5,723 juta ton CO_2e dan aksi mitigasi pengurangan emisi dari sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya yaitu aksi mitigasi Pengelolaan Muka Air Tanah (MAT) Gambut sebesar 7,831 juta ton CO_2e . Selanjutnya, pengurangan emisi Sektor Pertanian yang digunakan adalah pengurangan emisi total yang dikurangi pengurangan emisi sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya, yaitu sebesar 5,723 juta ton CO_2e . Pengurangan emisi terbesar diperoleh dari aksi Penanaman Padi Varietas Rendah Emisi (Pengaturan Air dan Varietas Padi untuk Mitigasi CH_4 dari Lahan Sawah) yang berasal dari luas lahan sawah yang menggunakan Varietas Rendah Emisi yaitu sebesar 5,723 juta ton CO_2e dan mitigasi sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya yaitu pengelolaan Muka Air Tanah Lahan Gambut yang direstorasi menggunakan data tahun 2019 karena data tahun 2022 belum tersedia dari Badan Restorasi Gambut.

Aksi Mitigasi yang dilaporkan Kementerian Pertanian pada tahun 2022 memiliki data aktivitas sebagaimana Tabel 5.7.

Tabel 5. 7 Data Aktivitas Sektor Pertanian Tahun 2010 – 2022

No.	Aksi Mitigasi	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1.	BATAMAS (Unit)	952	1172	1416	1.592	1.592*	796*	398*	199*	115***	67	59	74	37
2.	UPPO (Unit)	340	1476	1.576	1.999	1.999*	1.999	2.574	1.400	2.561	3.061	1.024	1.326	2.292
	Subsidi Pupuk Organik (Ton)											627.520	518.312	9.865.141
3.	Desa Organik (desa)	–	–	–	–	–	–	–	–	7.440	155	1.090	1.134	1.616
4.	Pengaturan Air dan Varietas Padi untuk Mitigasi CH ₄ dari Lahan Sawah													
	a. Luas Panen Padi (Ha)										10.677.887	10.657.275	10.411.801,22	10.606.513
	b. Luas Lahan Sawah Irigasi dan Non Irigasi (Ha)										7.463.948	7.463.948	7.463.948	7.463.948
	Sebaran Varietas (Ha)	–	–	–	–	–	–	–	–	6.573.009	6.484.122	11.845.151,23	10.435.715,48	10.133.741
	SLPTT (Ha)	2.310.989	2.274.024	3.131.073	3.728.725	3.565.188	356.950	2.154.673	–	–	–	–	–	–
	SRI (Ha)	1.240	11.180	60.300	207.000	180.000	200.000	200.000*	–	–	–	–	–	–
5.	Kualitas Pakan Sapi													
	a. Data persentase Sapi Potong Dewasa (ekor)										4.461.120	4.551.846	5.101.978	5.259.228
	b. Program Hijauan Pakan (Ha)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	785	1.025	898	160
	Rumput Gajah												539	
	Legum												359	
6.	Pemupukan Berimbang luas panen padi (Ha)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	10.677.887	10.657.275	10.411.801,22	10.606.513
7.	Pengelolaan MAT luas yang direstorasi (Ha)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	7.463.948	7.463.948	7.463.948	679.902



Gambar 5. 3 Capaian Pengurangan Emisi GRK Terverifikasi Kementerian Pertanian Tahun 2010 – 2022

Laporan capaian pengurangan emisi terverifikasi di Sektor Pertanian Tahun 2022 adalah 13,554 Juta ton CO₂e sesuai dengan laporan capaian dari Kementerian Pertanian Tahun 2023.

Kementerian Pertanian menyampaikan aksi mitigasi baru yaitu Sekuestrasi Karbon Pada Tanaman Buah Tahunan sebesar 2,063 Juta ton CO₂e yang berasal dari

- Cadangan karbon buah tahunan metode Gain and Loss Tahun 2006 – 2021 sebesar 2,059 Juta ton CO₂e
- Cadangan karbon buah tahunan metode Gain and Loss Tahun 2022 sebesar 0,004 Juta ton CO₂e

Aksi mitigasi ini belum dapat disertakan dalam capaian penurunan emisi Sektor Pertanian Tahun 2022. Klaim penurunan emisi ini membutuhkan penelaahan metodologi oleh Panel Metodologi. Data aktivitas yang merupakan luas lahan milik masyarakat membutuhkan penguatan dasar hukum yang konsisten.

Pengurangan Emisi Tahun 2022 lebih kecil daripada Tahun 2021 yang disebabkan aksi Penanaman Padi Varietas Rendah Emisi (Pengaturan Air dan Varietas Padi untuk Mitigasi CH₄ dari Lahan Sawah), yaitu luas sebaran varietas padi Tahun 2022 menjadi 10.133.741 Ha.

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

- a. Mitigasi dari penggunaan varietas rendah emisi dalam penanaman padi di sawah.
- b. Mitigasi efisiensi penggenangan air di penanaman padi sawah.
- c. Mitigasi penggunaan pupuk organik sebagai konversi pupuk anorganik.
- d. Mitigasi manajemen *manure* untuk *biodigester*.
- e. Mitigasi *feed supplement* untuk ternak.

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

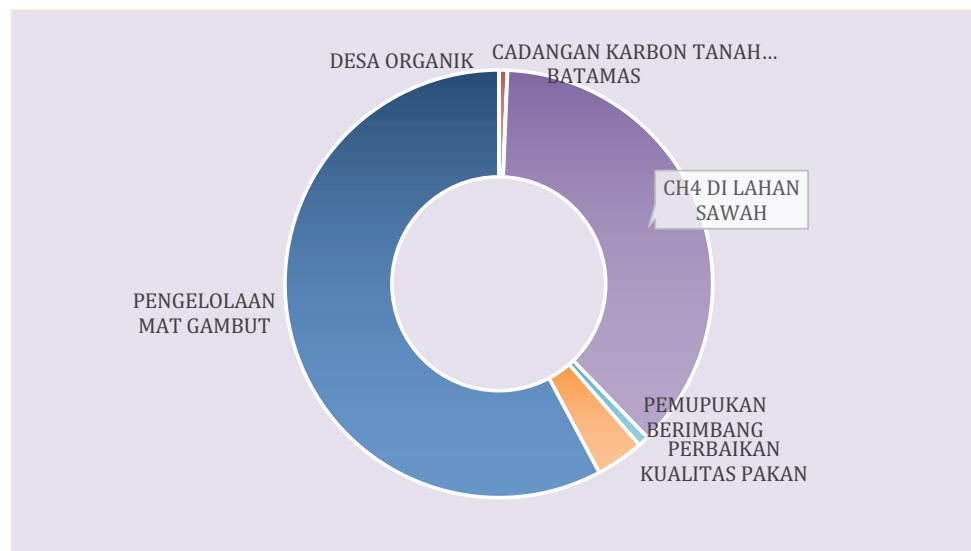
Aksi Mitigasi Pengaturan Air dan Varietas Padi untuk Mitigasi CH₄ dari Lahan Sawah sejak tahun 2018 hanya melaporkan data yang berasal dari Varietas Rendah Emisi. Aksi SLPTT (Sekolah Lapang Pengelolaan

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 2020 beserta dokumen yang berhubungan dengan laporan tersebut, yaitu:

- Laporan Inventarisasi GRK dan Aksi Mitigasi Sektor Pertanian Tahun 2022 yang disampaikan melalui Surat Kepala Biro Perencanaan Kementan Nomor: B.1253/RC.010/A.1/07/2023 tanggal 24 Juli 2023
- 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 2022 disajikan pada disajikan pada Gambar 5.4.



Gambar 5. 4 Pengurangan Emisi Total Sektor Pertanian Tahun 2022

Tabel 5. 8 Capaian Pengurangan Emisi Aksi Mitigasi Terverifikasi Kementerian Pertanian Tahun 2010 – 2022.

No	Aksi Mitigasi	Pengurangan Emisi Terverifikasi (Juta ton CO ₂ e)												
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1	BATAMAS	0,040	0,040	0,050	0,050	0,050	0,020	0,010	0,010	0,000	0,103	0,006	0,007	0,004
2	UPPO +subsidi pupuk organik	0,130	0,260	0,420	0,440	0,430	0,450	0,410	0,400	0,410	0,010	0,006	0,011	0,082
3	Desa Organik	-	-	-	-	-	-	-	-	0,008	0,004	0,001	0,003	0,003
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
5	Perbaikan Kualitas Pakan Sapi Perah	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,014	0,057	0,085	0,112
6	Pemupukan Berimbang	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,209	0,385	0,483	0,492
7	Pengelolaan MAT Lahan Gambut	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,831	7,831	7,831	7,831
	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	13,554

5.1.4 Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

Rencana aksi/kegiatan pada sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya dalam upaya pengurangan emisi GRK dan/atau peningkatan serapan GRK sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya sebagai 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)

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 dan penggunaan lahan lainnya Tahun 2022 melalui Nota Dinas Direktur Mitigasi Perubahan Iklim Nomor: ND.426/MPI/PPM/PP1.1/10/2023 tanggal 13 Oktober 2023 perihal penyampaian laporan penurunan emisi GRK sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya tahun 2022. Selanjutnya terhadap laporan pengurangan emisi GRK tersebut dilakukan proses verifikasi oleh Tim MRV dengan dukungan pakar/ahli yang berasal dari lembaga penelitian, perguruan tinggi, dan NGO melalui serangkaian tahapan diskusi. Proses verifikasi tersebut meliputi desk review dan rekalkulasi berdasarkan kesepakatan terhadap kriteria yang disepakati. Desk review dilakukan dengan mengkaji data aktivitas, metodologi dan didukung oleh klarifikasi dari sumber atau pengampu data aktivitas.

Berikut adalah catatan penting hasil *desk review* :

1. Sesuai dengan tujuan pemantauan dan pelaporan, penghitungan capaian mitigasi sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya ini bertujuan mengukur pencapaian NDC, oleh karena itu nilai baseline yang dijadikan rujukan adalah nilai baseline yang ditetapkan dalam roadmap NDC. Penggunaan FREL sebagai nilai baseline menjadi kurang tepat karena FREL merupakan nilai rujukan pada ruang lingkup mitigasi REDD+.
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.
3. Nilai baseline ini yang selanjutnya digunakan sebagai rujukan penghitungan capaian mitigasi berdasarkan nilai emisi/serapan actual yang dipantau atau dilaporkan oleh pengampu data aktivitas atau penanggung jawab mitigasi perubahan iklim.
4. Berdasarkan hasil diskusi dan pembahasan dalam proses verifikasi yang dilakukan, diperoleh hasil yang berbeda dari klaim yang dilaporkan. Nilai rekalkulasi capaian mitigasi sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya yang terverifikasi pada tahun 2023 (data aktivitas tahun 2022) memiliki nilai pengurangan emisi GRK dan/atau serapan GRK sebesar **285,339,564 ton CO₂e**.

Tabel 5. 9 Definisi Kondisi *Baseline* yang Disepakati.

No	Kelompok Aksi Mitigasi	Kategori berdasarkan Roadmap NDC	Kategori berdasarkan Inventarisasi GRK	Nilai <i>baseline</i> (ton CO ₂ e)
1	Penurunan deforestasi	Deforestasi	Perubahan kelas hutan menjadi non hutan (<i>Forest to non forest</i>), namun tidak termasuk perubahan dari hutan menjadi hutan tanaman	270.163.740

No	Kelompok Aksi Mitigasi	Kategori berdasarkan Roadmap NDC	Kategori berdasarkan Inventarisasi GRK	Nilai <i>baseline</i> (ton CO ₂ e)
2	Penurunan degradasi hutan	<i>Wood harvesting, secondary forest</i>	Kelas hutan tetap sebagai kelas hutan (<i>forest remaining forest</i>)	56.349.119
3	Rehabilitasi Hutan dan Lahan (Peningkatan serapan karbon)	<i>Afforestasi (Aff/Rff), Timber plantation</i>	Perubahan kelas tutupan lahan lain menjadi hutan (<i>Land to forest</i>)	(211.682.085)*
4	Pengurangan emisi dekomposisi gambut	<i>Peat</i>	<i>Peat</i>	370.487.775
5	Pengendalian kebakaran gambut	<i>Peat fire</i>	<i>Peat fire</i>	240.235.673
	Total <i>baseline</i> sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya (ton CO ₂ e)			725.554.223

Ket: *= serapan

Tabel 5. 10 Capaian Mitigasi Terverifikasi Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya Tahun 2022

No	Kelompok Aksi Mitigasi	<i>Baseline</i>	Emisi/Serapan Aktual	Capaian mitigasi
1	Penurunan Deforestasi	270.163.740	39.416.066	230.747.673,57
2	Penurunan Degradasi Hutan	56.349.119	35.585.785	20.763.334,35
3	Rehabilitasi Hutan dan Lahan (Peningkatan Serapan Karbon)	(211.682.085)*	(1.763.614)*	-209.918.470,98
4	Pengurangan Emisi Dekomposisi Gambut	370.487.775	347.606.046	22.881.729,08
5	Pengendalian Kebakaran Gambut	240.235.673	19.370.376	220.865.297,51
	Total	725.554.223	440.214.659	285.339.564

Keterangan: *= serapan GRK

Berdasarkan capaian tersebut dapat disimpulkan bahwa capaian mitigasi pada sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya di tahun 2022 secara total mengalami penurunan dari capaian tahun sebelumnya (Tabel 5.11)

Tabel 5. 11 Capaian mitigasi terverifikasi Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya tahun 2021 dan 2022

No	Kelompok Aksi Mitigasi	Capaian Mitigasi Terverifikasi Tahun 2021 (Ton CO ₂ e)	Capaian Mitigasi Terverifikasi Tahun 2022 (Ton CO ₂ e)
1	Penurunan Deforestasi	215.887.660,00	230.747.673,57
2	Penurunan Degradasi Hutan	58.402.313,33	20.763.334,35
3	Rehabilitasi Hutan dan Lahan	1.485.359,59	(209.918.470,98)*
4	Pengurangan Emisi Dekomposisi Gambut	(114.842.793,50)**	22.881.729,08
5	Pengendalian Kebakaran Gambut	216.940.838,29	220.865.297,51
	Total capaian	377.873.377,71	285.339.563,52

Ket:

* = kekurangan serapan karbon

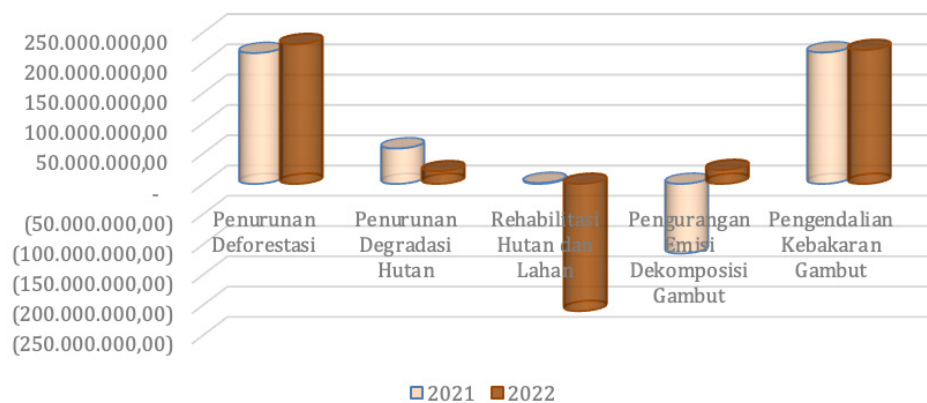
**= mengemisi (emisi di atas *baseline* pada tahun tersebut)

Perbedaan besar terjadi pada capaian dari aksi mitigasi rehabilitasi hutan dan lahan. Pada tahun sebelumnya berhasil mencapai surplus serapan sebesar 1.485.359 juta ton CO₂e dari *baseline* yang ditetapkan. Namun pada tahun 2022, pada hasil pemantauan diperoleh penghitungan bahwa aksi mitigasi rehabilitasi

hutan dan lahan belum dapat memenuhi target serapan yang ditetapkan. Terdapat selisih sebesar 209.918.470 juta ton CO₂e dari *baseline* yang ditetapkan, dalam hal ini definisi serapan harus melebihi nilai *baseline* pada tahun berjalan. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa hasil serapan dari kegiatan rehabilitasi hutan dan lahan pada tahun 2022 belum tertangkap secara baik dan atau belum memberikan dampak yang cukup signifikan terhadap peningkatan serapan karbon yang ditargetkan pada tahun tersebut.

Senada dengan capaian dari aksi mitigasi rehabilitasi hutan dan lahan, penurunan juga terjadi pada capaian upaya mitigasi pengendalian degradasi hutan. Kondisi ini dapat mengindikasikan bahwa kejadian degradasi hutan kemungkinan berkurang atau belum terpantau secara keseluruhan. Penurunan kualitas hutan primer menjadi sekunder yang diakibatkan baik oleh pemanenan maupun perambahan belum dilaporkan dengan lengkap.

Kenaikan capaian mitigasi terjadi pada 3 (tiga) kelompok aksi, yaitu pada pengendalian penurunan deforestasi, pengurangan emisi dari dekomposisi gambut, dan upaya pengendalian kebakaran gambut. Dari ketiga kelompok aksi tersebut, kenaikan signifikan terjadi pada capaian dari aksi pengurangan emisi dekomposisi gambut. Pada tahun sebelumnya emisi dari dekomposisi gambut berada di atas kondisi *baseline*, sedangkan pada tahun 2022 laporan pemantauan menyatakan terjadi pengurangan emisi sebesar 22.881.729 ton CO₂e. Kondisi tren dari masing – masing capaian dari kelompok aksi digambarkan pada Gambar 5.5.



Gambar 5. 5. Capaian Mitigasi Terverifikasi Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya Tahun 2021 dan 2022

5.1.5 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 2022 yakni:

1. Penghitungan pengurangan emisi GRK dari sub-sektor limbah padat domestik dilakukan oleh Direktorat Penanganan Sampah. Hal ini menunjukkan *improvement* dalam peningkatan kapasitas dan pelaksanaan kerangka transparansi. Seperti tahun sebelumnya, laporan pengurangan emisi GRK yang dilaporkan hanya mencakup kegiatan-kegiatan yang dapat dimonitor oleh KLHK.

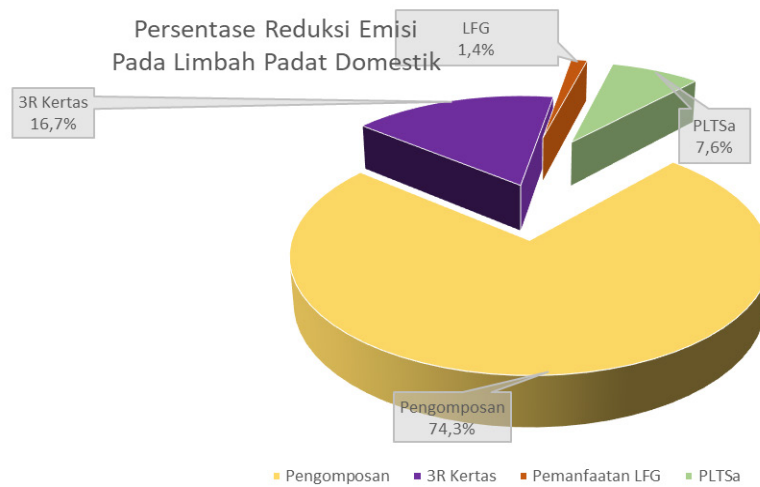
2. Metodologi penghitungan tingkat emisi *baseline* maupun tingkat emisi setelah mitigasi merujuk *Tier-1* atau *Tier-2 IPCC Guidelines 2006*:
 - a. Pengolahan Limbah Padat Domestik (Sampah)
Tingkat emisi GRK pengolahan sampah di TPA dihitung menggunakan pendekatan *First Order Decay* (FOD). Penghitungan 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 menggunakan data SIPSN.
 - b. Pengolahan Limbah Cair Domestik
Aksi mitigasi pada IPAL domestik yang dilaporkan pada tahun 2022 baru mencakup mitigasi pada IPAL domestik yang merupakan hasil monitoring 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 merupakan hasil pengukuran di tingkat unit (tiap-tiap IPAL domestik).
 - c. Pengolahan Limbah Padat Industri
Tidak terdapat update data aksi mitigasi yang dilaporkan pada kegiatan pengolahan limbah padat industri di tahun 2022, baik pada 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*.
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 5.12:

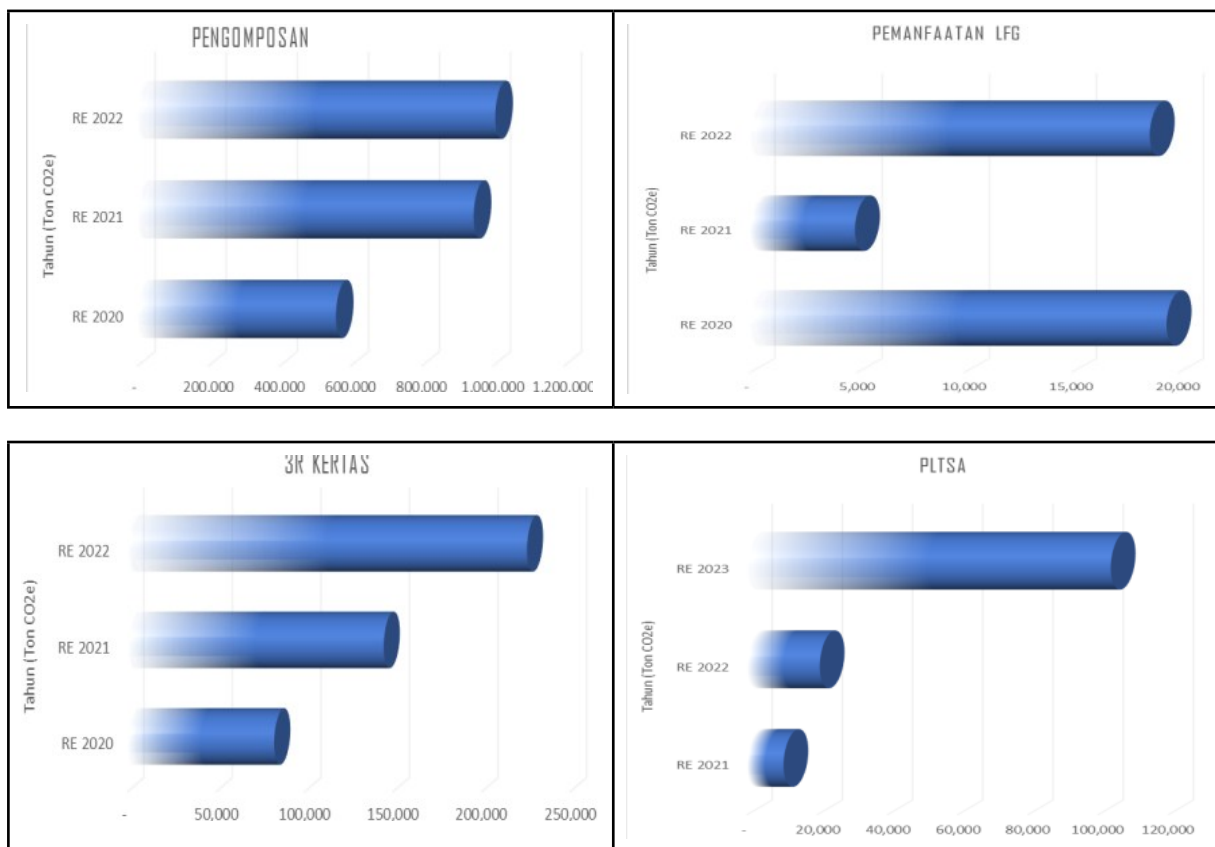
Tabel 5. 12 Capaian Pengurangan Emisi GRK pada Sektor Limbah yang Telah Terverifikasi Tahun 2023

Aksi Mitigasi	Baseline (ton CO ₂ e)	Pengurangan Emisi Terverifikasi (ton CO ₂ e)
Pengomposan	46.216.737,63	1.006.773,71
3R Kertas		225.530,20
Pemanfaatan LFG		18.654,19
PLTSa		103.503,83
IPAL Terpadu	25.462.924,35	269.764,68
Penggunaan Biodigester		3.908,30
Penggunaan IPAL Statistik		65.319,03
CH ₄ Recovery	183.326.855,13	46,48
Sludge IPAL dan Limbah Padat	266.162,90	1.191,14
Total		1.694.691,57

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 2021 (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.

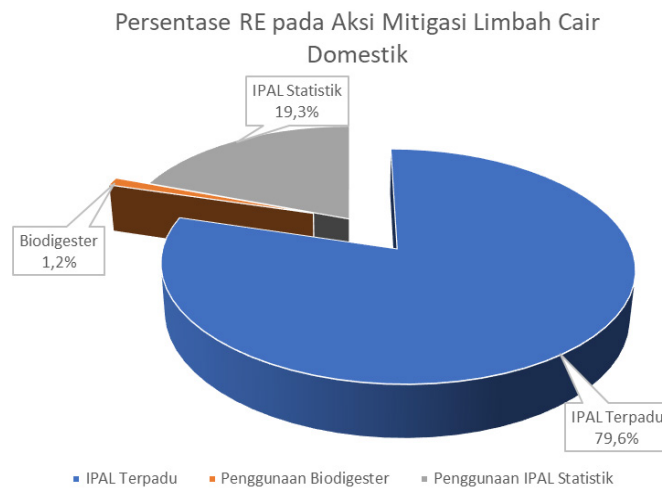


Gambar 5. 6 Proporsi Pengurangan Emisi pada Pengolahan Limbah Padat Domestik



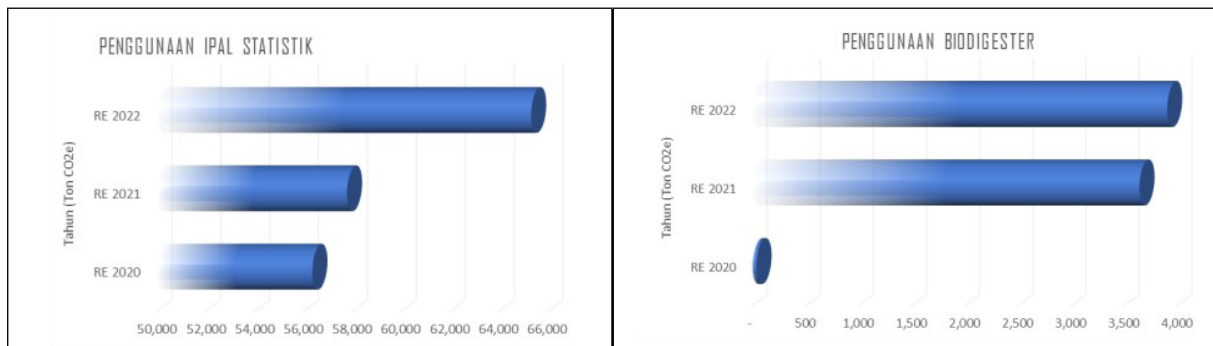
Gambar 5. 7 Perbandingan Reduksi Emisi (RE) Sub Sektor Limbah Padat Domestik Tahun 2021 – 2022

Pengurangan emisi pada pengolahan limbah cair domestik sebagian besar berupa pemanfaatan biogas (CH_4) pada IPAL yang tercatat secara statistik. Proporsi Capaian Pengurangan emisi dari aksi mitigasi pada limbah cair domestik disajikan pada Gambar 5.8.



Gambar 5. 8 Proporsi Pengurangan Emisi pada Pengolahan Limbah Cair Domestik

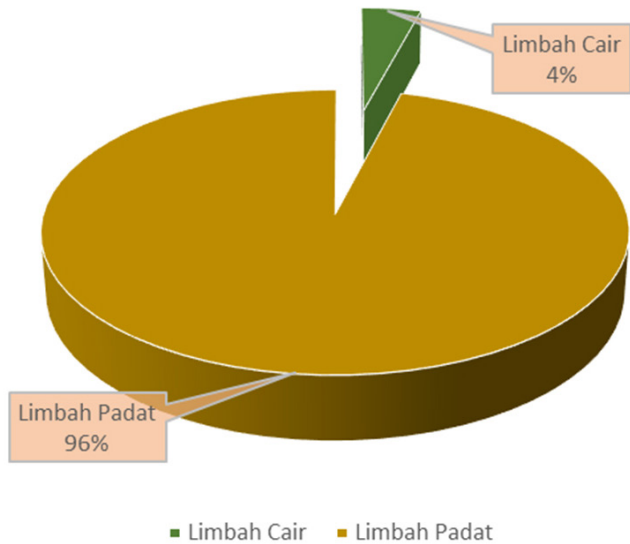
Pada kegiatan pengelolaan limbah cair domestik, peningkatan dari angka pengurangan emisi GRK terjadi di kegiatan pengolahan limbah dengan biodigester dan IPAL Statistik (Gambar 5.9).



Gambar 5. 9 Perbandingan Reduksi Emisi (RE) Biodigester dan IPAL Statistik Tahun 2021 - 2022

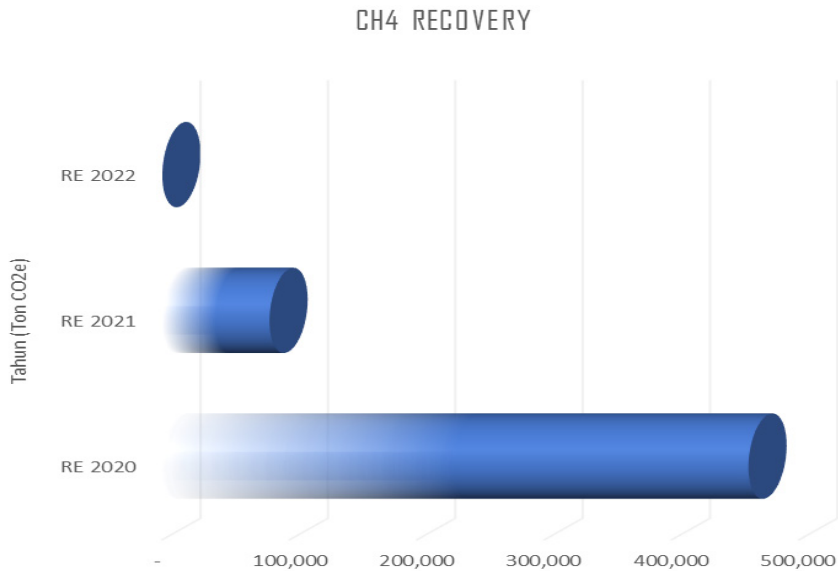
Pada limbah cair industri, capaian pengurangan emisi di tahun 2022 mengalami penurunan dari tahun sebelumnya. Hal tersebut diakibatkan data aksi mitigasi hanya didukung pada industri *"vegetable, fruits, juices"*. Adapun aksi mitigasi pada limbah cair industri berupa pemanfaatan gas CH_4 sebagai sumber energi alternatif. Proporsi Capaian Pengurangan emisi dari aksi mitigasi pada limbah industri disajikan pada Gambar 5.10.

Persentase RE pada Aksi Mitigasi Limbah Industri



Gambar 5. 10 Proporsi Pengurangan Emisi Pada Pengolahan Limbah Industri

Khusus pada pelaporan pengurangan emisi GRK pada pengolahan limbah cair industri, keterbatasan data aktivitas mengakibatkan penurunan hasil penghitungan pada limbah cair industri (Gambar 5.11).



Gambar 5. 11 Perbandingan Reduksi Emisi (RE) Limbah Cair Industri Tahun 2021 – 2022

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

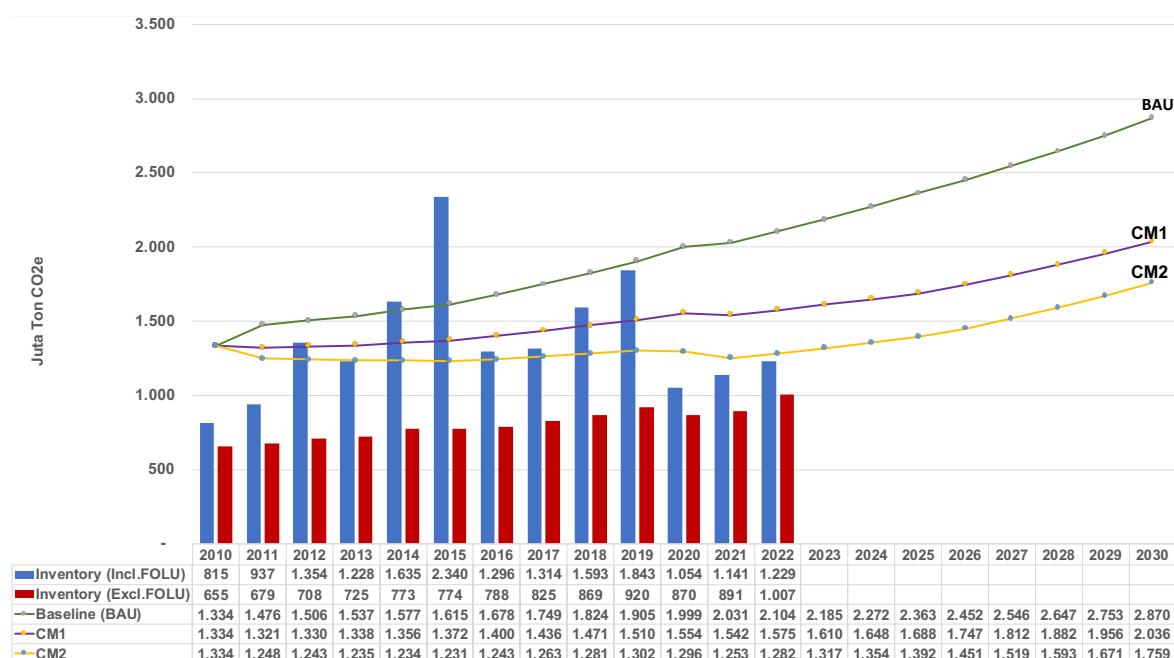
5.3.1 Capaian Pengurangan Emisi GRK Nasional

Sebagaimana tertuang dalam dokumen NDC, untuk 2030 target pengurangan emisi GRK dengan kondisi *unconditional* (Counter Measure 1/CM1) sebesar 834 Juta ton CO₂e atau sebesar 29% dibandingkan dengan skenario *business as usual* (BAU) sebesar 2.869 Juta ton CO₂e.

Untuk tahun 2022, dengan nilai BAU sebesar **2.104,46 Juta ton CO₂e** dan target pengurangan emisi GRK pada CM1 sebesar **1.574,85 Juta ton CO₂e** serta hasil perhitungan inventarisasi GRK, sebesar **1.228,72 Juta ton CO₂e**, diperoleh emisi GRK tahun 2022 sebesar **875,74 Juta ton CO₂e** dibawah emisi BAU. Dari data tersebut diketahui bahwa capaian pengurangan emisi GRK Nasional sebesar **41,61%** terhadap nilai BAU di tahun 2022.

Capaian pengurangan emisi GRK Nasional tersebut menunjukkan penurunan emisi dari capaian pengurangan emisi GRK tahun sebelumnya. Hal ini menunjukkan perlu upaya lebih intensif pemerintah dalam hal ini KLHK dalam pelaksanaan aksi mitigasi di sektor limbah dan sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya yang merupakan tanggung jawab dari Kementerian LHK, serta pelaporan yang intensif untuk aksi mitigasi dari sektor energi, sektor IPPU, sektor pertanian, sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya dan limbah. Profil capaian pengurangan emisi GRK Nasional tahun 2010 – 2022 sebagaimana terlihat pada Tabel 5.13.

Hasil inventarisasi GRK dibandingkan dengan emisi BAU dan target pengurangan emisi GRK menurut skenario CM1, CM2 sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 5.12.



Gambar 5. 12 Profil Capaian Pengurangan Emisi GRK Nasional (2010 – 2022) terhadap BAU, CM1 dan CM2

Tabel 5. 13 Profil Capaian Pengurangan Emisi GRK Nasional Terhadap Target Pengurangan Emisi GRK pada CM1 di Tahun 2010 – 2021

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Baseline (BAU) - Juta tCO₂e	1.334,19	1.476,11	1.506,41	1.536,81	1.576,55	1.614,84	1.678,01	1.749,08	1.824,02	1.905,36	1.998,80	2.030,52	2.104,46
CM 1 - Juta tCO₂e	1.334,13	1.321,35	1.329,76	1.338,39	1.356,10	1.371,84	1.399,85	1.436,13	1.471,30	1.509,66	1.553,75	1.542,29	1.574,85
ER CM 1 - Juta tCO₂e	0,06	154,76	176,64	198,41	220,45	243,00	278,16	312,95	352,72	395,70	445,05	488,23	529,62
ER CM 1 - %	0,00	10,48	11,73	12,91	13,98	15,05	16,58	17,89	19,34	20,77	22,27	24,04	25,17
Hasil Inventory - Juta tCO₂e	814,64	937,10	1.354,32	1.227,85	1.635,19	2.339,65	1.295,74	1.313,88	1.592,71	1.843,08	1.053,69	1.140,67	1.228,72
ER Inventory	519,54	539,01	152,09	308,95	(58,64)	(724,82)	382,27	435,20	231,31	62,27	945,11	889,79	875,74
Capaian ER - %	38,94	36,52	10,10	20,10	(3,72)	(44,88)	22,78	24,88	12,68	3,27	47,28	43,82	41,61

5.3.2 Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor

Dokumen NDC telah menetapkan target *unconditional* (CM1) sebesar 29% dan target *conditional* (CM2) sebesar 41% 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 17,2%, sektor energi sebesar 11%, sektor pertanian sebesar 0,32%, sektor *Industrial Process and Product Use* (IPPU) sebesar 0,10%, dan sektor limbah sebesar 0,38%, sebagaimana tercantum pada Tabel 5.14.

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	1,355	1,223	314	446	11%	15,5%	6,7%	4,50%
2. Waste	88	296	285	270	11	40	0,38%	1,4%	6,3%	4,00%
3. IPPU	36	70	67	66,35	2,75	3,25	0,10%	0,11%	3,4%	0,10%
4. Agriculture	111	120	110	116	9	4	0,32%	0,13%	0,4%	1,30%
5. Forestry and Other Land Uses (FOLU)	647	714	217	22	497	692	17,2%	24,5 1%	0,5%	2,70%
TOTAL	1.334	2.869	2.034	1.683	834	1.185	29%	41%	3,9%	3.20%

Notes: **CM1**= Counter Measure 1 (*unconditional mitigation scenario*)

CM2= Counter Measure 2 (*conditional mitigation scenario*)

*) Including fugitive.

**) Only include rice cultivation and livestock.

***) including emission from estate crops plantations.

Untuk tahun 2022, capaian pengurangan emisi GRK untuk sektor energi, IPPU, limbah, pertanian, dan sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya dibandingkan dengan emisi BAU dan emisi aktual hasil Inventarisasi GRK sebagaimana terlihat pada Tabel 5.15.

Tabel 5. 15 Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektoral Terhadap Emisi BAU di Tahun 2022

	Energi	IPPU	Limbah	Pertanian	Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya	Total (5 sektor)
Baseline (BAU) - Juta tCO₂e	1.031,21	70,03	161,78	115,88	725,55	2.104,46
CM 1 - Juta tCO₂e	866,68	67,77	158,58	111,98	369,85	1.574,85
ER CM 1 - Juta tCO₂e	164,54	2,26	3,21	3,91	355,71	529,62
ER CM 1 - %	15,96	3,23	1,98	3,37	49,03	25,17
Hasil Inventory - Juta tCO₂e	727,33	59,19	130,19	90,64	221,36	1.228,72
ER Inventory	303,88	10,84	31,59	25,24	504,19	875,74
Capaian ER - %	29,47	15,48	19,53	21,78	69,49	41,61

Dari tabel tersebut diketahui bahwa capaian pengurangan emisi GRK apabila dilihat dari emisi BAU untuk sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya telah menunjukkan hasil yang mendekati target pengurangan emisi GRK Tahun 2022, sedangkan sektor lain masih memerlukan upaya yang lebih intensif untuk dapat mencapai target pengurangan emisi GRK sampai dengan tahun 2030. Informasi capaian pengurangan emisi GRK tahun 2022 untuk setiap sektor sebagaimana diuraikan dibawah ini.

5.3.2.1 Sektor Energi

Sektor energi mempunyai target pengurangan emisi GRK sebesar 11% (314 Juta ton CO₂e) dengan kondisi skenario tanpa persyaratan mitigasi-unconditional (*Counter Measure/CM1*), dan meningkat menjadi 12,5% (358 Juta ton CO₂e) sesuai dokumen Enhanced NDC (E-NDC) di tahun 2030.

Target pengurangan emisi GRK tersebut akan dicapai melalui aksi mitigasi yang berbasis sektor energi yang telah dilakukan oleh pemerintah pusat (KESDM, Kementerian Perindustrian, dan Kementerian Perhubungan) dengan berbagai program dan kebijakan pemerintah terkait pengadaan dan penggunaan energi, peran aktif pihak swasta dan masyarakat yang telah melakukan berbagai tindakan yang bersifat mitigasi sektor energi.

Untuk capaian pengurangan emisi GRK tahun 2022 dengan menggunakan pendekatan perhitungan dari BAU sebesar 1.031,21 Juta ton CO₂e dan hasil perhitungan emisi inventarisasi GRK sebesar 727,33 Juta ton CO₂e dengan target pengurangan emisi GRK pada CM1 sebesar 866,68 Juta ton CO₂e, maka diketahui bahwa capaian pengurangan emisi GRK sektor energi sebesar 29,47% terhadap nilai BAU tahun 2022 atau sebesar 303,88 Juta ton CO₂e di tahun 2022. Hal ini menunjukkan bahwa sektor energi harus lebih intensif mengidentifikasi aksi mitigasi selain yang dilaporkan untuk menuju pencapaian target NDC di tahun 2030.

Untuk tahun 2022, kontribusi capaian pengurangan emisi GRK di sektor Energi dengan capaian sebesar 123,22 Juta ton CO₂e dari 5 kelompok aksi mitigasi (efisiensi energi, energi baru terbarukan, bahan bakar rendah karbon, penggunaan teknologi pembangunan bersih dan kegiatan lain).

Tabel 5. 16 Profil Progres Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2010 – 2022

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
BAU	453,18	458,58	483,76	510,33	538,35	567,91	623,18	683,82	750,36	823,38	903,51	965,25	1.031,21
CI1	453,18	456,70	479,80	504,07	529,56	556,34	596,02	638,51	684,05	732,82	785,08	824,87	866,68
% RE (BAU-CM1)	-	0,41	0,82	1,23	1,63	2,04	4,36	6,63	8,84	11,00	13,11	14,54	15,96
Inventori	434,72	454,48	477,85	496,03	531,14	527,10	529,58	553,97	593,03	636,45	584,28	595,86	727,33
% RE (BAU-Inven)	4,07	0,89	1,22	2,80	1,34	7,19	15,02	18,99	20,97	22,70	35,33	38,27	29,47

5.3.2.2 Sektor IPPU

Sektor IPPU mempunyai target pengurangan emisi GRK sebesar 0,1% (2,75 Juta ton CO₂e) dengan kondisi skenario tanpa persyaratan mitigasi-unconditional (*Counter Measure/CM1*) dan meningkat menjadi 0,2% (7 Juta ton CO₂e) sesuai Enhanced NDC di tahun 2030. Target pengurangan emisi GRK tersebut akan dicapai melalui aksi mitigasi yang berbasis sektor proses industri dan penggunaan produk yang telah dilakukan oleh pemerintah pusat (Kementerian Perindustrian) dengan berbagai program dan kebijakan pemerintah daerah terkait proses industri dan penggunaan produk, peran aktif pihak swasta dan masyarakat yang telah melakukan berbagai tindakan yang bersifat mitigasi sektor IPPU.

Untuk capaian pengurangan emisi GRK tahun 2022 dengan menggunakan pendekatan perhitungan dari emisi BAU sebesar 70,03 Juta ton CO₂e dan hasil perhitungan inventarisasi GRK sebesar 59,19 Juta ton CO₂e dengan target pengurangan emisi GRK pada CM1 sebesar 67,77 Juta ton CO₂e, diketahui capaian pengurangan emisi GRK sebesar 15,48% terhadap emisi BAU tahun 2022 atau sebesar 10,84 Juta ton CO₂e. Untuk tahun 2022, kontribusi capaian pengurangan emisi GRK di sektor IPPU baru dari industri semen dan industri pupuk dengan capaian sebesar 4,61 Juta ton CO₂e.

Tabel 5. 17 Profil Progres Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor IPPU Tahun 2010 – 2022

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
BAU	36,19	39,62	42,19	42,27	52,82	59,53	62,47	62,45	64,73	66,38	69,57	69,85	70,03
CM1	36,19	39,22	41,39	41,29	51,71	58,13	60,87	60,76	62,92	64,48	67,43	67,64	67,77
% RE (BAU-CM1)	-	1,02	1,90	2,31	2,10	2,35	2,56	2,70	2,81	2,86	3,07	3,16	3,23
Inventori	35,732	34,601	38,843	37,874	45,996	48,745	53,766	57,085	57,481	58,173	57,194	59,377	59,19
% RE (BAU-Inven)	1,26	12,66	7,93	10,40	12,91	18,12	13,93	8,59	11,20	12,36	17,79	14,99	15,48

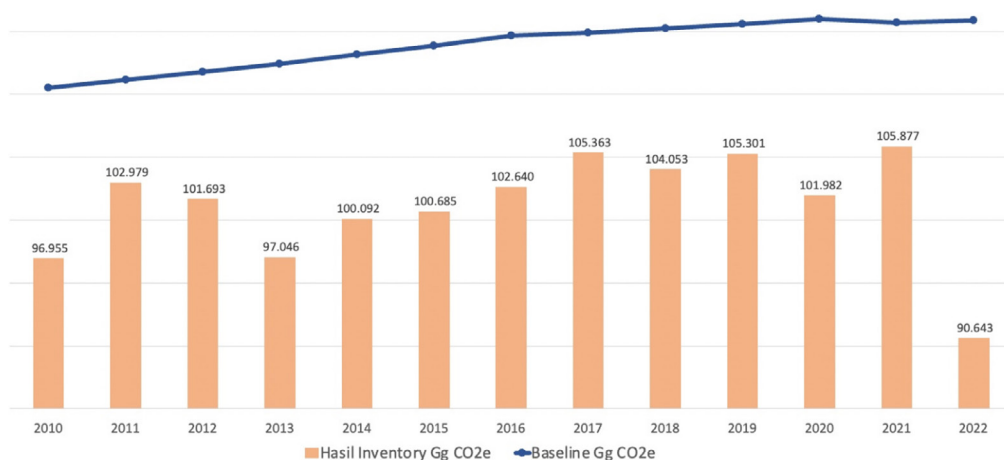
5.3.2.3 Sektor Pertanian

Besaran emisi *baseline* Sektor Pertanian tahun 2022 adalah 115,88 Juta ton CO₂e, di mana target pengurangan emisi *Counter Measurement* (CM) 1 adalah 111,98 Juta ton CO₂e, hasil inventarisasi emisi Sektor Pertanian Tahun 2022 adalah 90,64 Juta ton CO₂e. Pengurangan emisi yang diharapkan terjadi dari BAU untuk mencapai target pengurangan emisi CM1 sebesar 3,91 Juta ton CO₂e, sementara pengurangan emisi yang terjadi dari hasil inventarisasi emisi terhadap *baseline* sebesar 25,24 Juta ton CO₂e. Maka capaian pengurangan emisi dari *baseline* tahun 2022 terhadap target pengurangan emisi CM1 tahun 2022 sebesar 21,78%.

Capaian pengurangan emisi tahun 2022 lebih besar dari tahun 2021 yang sebesar 8,48% yang disebabkan hasil mitigasi emisi tahun 2022 lebih kecil akibat berkurangnya pengurangan emisi dari aksi Mitigasi Emisi CH₄ dari Pengelolaan Lahan Sawah melalui Pengaturan Rezim Air dan Varietas Rendah Emisi Tahun 2022 menjadi sebesar 5,030 juta ton CO₂e.

Tabel 5. 18 Kontribusi Sektor Pertanian terhadap NDC Tahun 2010 – 2022

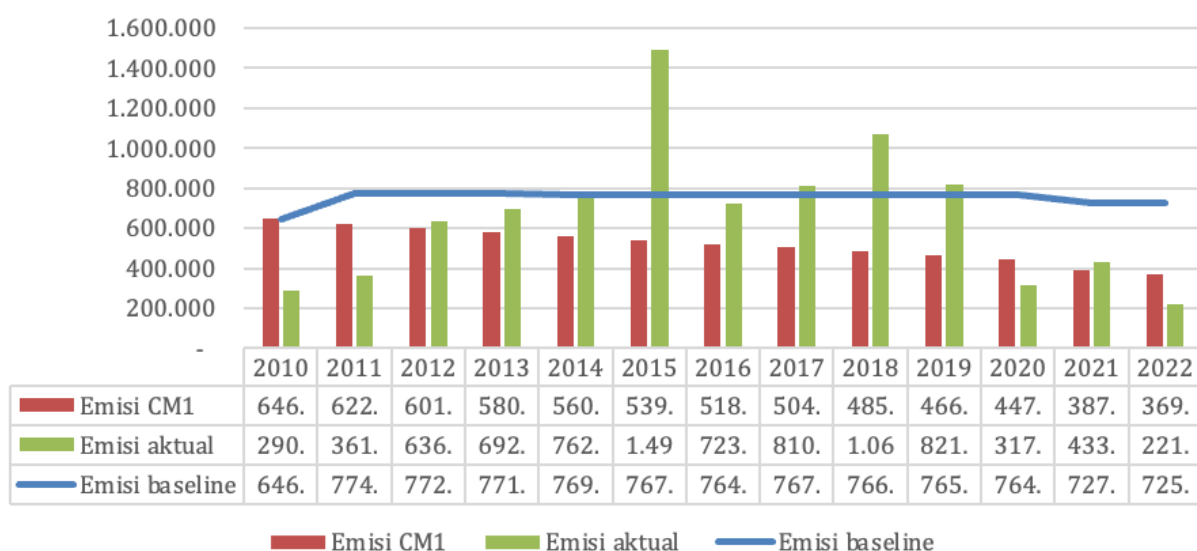
CAPAIAN TERHADAP NDC	TAHUN												
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Baseline Gg CO ₂ e	110.510	111.128	111.773	112.446	113.149	113.881	114.650	114.924	115.234	115.578	115.961	115.686	115.882
CM1 Gg CO ₂ e	110.510	110.941	111.371	111.802	112.233	112.665	113.092	113.013	112.929	112.842	112.750	112.359	111.977
ER CM1 Gg CO ₂ e	-	187	402	644	915	1.217	1.558	1.910	2.306	2.736	3.212	3.327,16	3.905
ER CM1 %	-	0,17	0,36	0,57	0,81	1,07	1,36	1,66	2,00	2,37	2,77	2,88	3,37
Hasil Inventory Gg CO ₂ e	96.955	102.979	101.693	97.046	100.092	100.685	102.640	105.363	104.053	105.301	101.982	105.877	90.643
ER Inventory	13.555	8.149	10.080	15.400	13.057	13.197	12.010	9.560	11.181	10.277	13.980	9.809	25.239
Capaian ER %	12,27	7,33	9,02	13,70	11,54	11,59	10,48	8,32	9,70	8,89	12,06	8,48	21,78



Gambar 5. 13 Perbandingan Hasil Inventarisasi GRK terhadap Baseline Emisi GRK (BAU) Sektor Pertanian Tahun 2010-2022

5.3.2.4 Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

Nationally Determined Contribution (NDC) telah menetapkan target capaian mitigasi bagi sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya untuk mengurangi emisi atau serapan GRK sebesar 17,2% pada target *unconditional* (CM1) atau 497 Juta ton CO₂e dibandingkan skenario BAU pada tahun 2030 (Tabel 51). Secara khusus pada tahun 2022 sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya memiliki target tingkat emisi CM1 sebesar 369,847 Juta ton CO₂e, atau setara dengan 50,97% dari kondisi baseline.



Gambar 5. 14 Perbandingan Hasil Inventarisasi GRK terhadap Baseline Emisi GRK (BAU) Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

Secara khusus pada tahun 2022 kondisi profil emisi serta capaian terhadap target NDC diuraikan pada tabel berikut.

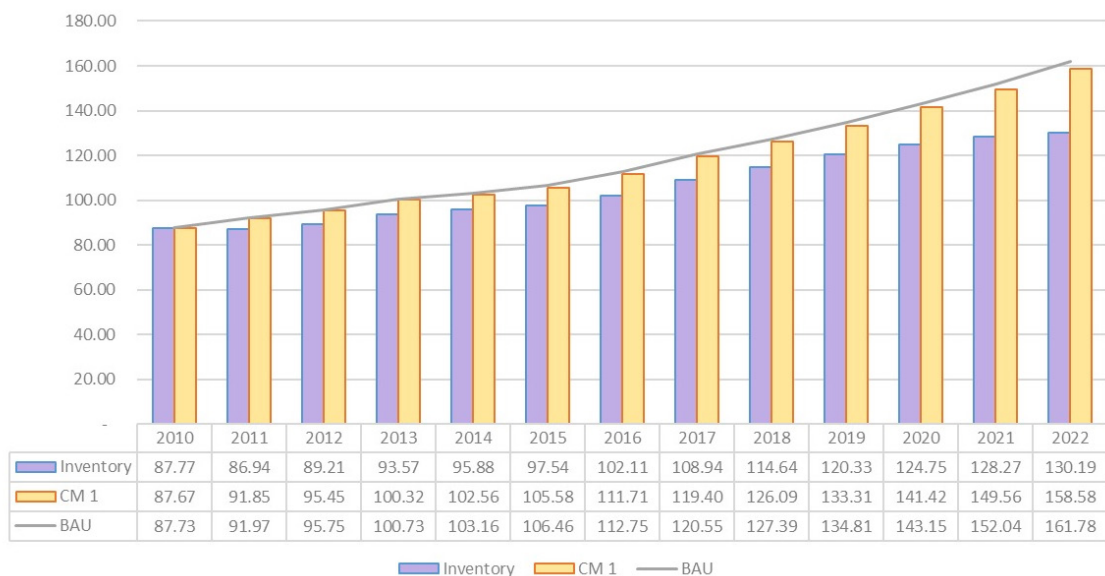
Tabel 5. 19 Profil Emisi dan Capaian Terhadap Target NDC Tahun 2022

Tracking Progress NDC	Ton CO ₂ e
BAU Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya	725.554.223
CM1 Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya	369.846.706
Target RE berdasarkan CM1	355.707.517
Aktual IGRK Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya	221.367.885
RE/serapan berdasarkan BAU - IGRK	504.186.338
% RE-CM1 terhadap <i>baseline</i>	49,03%
% RE terhadap <i>baseline</i>	69,49%
% RE terhadap target RE CM1	141,74%

Tabel ini menunjukkan bahwa upaya pencapaian target di tahun 2030 berada pada jalur atau “track” yang positif. Sebagaimana yang dituangkan dalam peta jalan NDC, pada tahun 2022 penurunan Tingkat emisi yang diharapkan adalah sebesar 49,03% dari kondisi baseline. Namun berdasarkan proses inventarisasi GRK, diperoleh hasil bahwa penurunan Tingkat emisi sudah melebihi dari target, yaitu turun sebesar 69,49% dari kondisi baseline. Hal ini menunjukkan bahwa reduksi emisi yang terjadi lebih besar dari yang ditargetkan. Jika kondisi ini bisa dipertahankan, maka diharapkan target NDC pada tahun 2030 dapat tercapai.

5.3.2.5 Sektor Limbah

Nationally Determined Contribution (NDC) telah menetapkan target capaian mitigasi bagi sektor limbah untuk mengurangi emisi atau serapan GRK sebesar 0,38% pada target *unconditional* (CM1) atau 11 Juta ton CO₂e dibandingkan skenario BAU pada tahun 2030 (Tabel 51). Secara khusus pada tahun 2022 sektor limbah memiliki target tingkat emisi CM1 sebesar 158,575 Juta ton CO₂e, atau setara dengan 2% dari kondisi baseline.



Gambar 5. 15 Perbandingan Hasil Inventarisasi GRK terhadap Baseline Emisi GRK (BAU) Sektor Limbah

Secara khusus pada tahun 2022 kondisi profil emisi sektor limbah serta capaian terhadap target NDC diuraikan pada tabel berikut.

Tabel 5. 20 Profil Emisi Sektor Limbah Serta Capaian Terhadap Target NDC

Tracking Progress NDC	Ton CO2e
BAU Limbah	161.782.649,67
CM1 Limbah	158.575.799,16
Aktual IGRK Limbah	130.188.210,93
RE berdasarkan BAU - IGRK	31.594.438,74
RE berdasarkan BAU - CM1	3.206.850,51
% RE CM 1 terhadap baseline	2%
% RE Aktual terhadap baseline	20%

Pada tabel terlihat bahwa Upaya kinerja pencapaian target NDC sektor limbah di tahun 2022 telah melampaui target yang diharapkan. Hal ini menunjukkan bahwa upaya mitigasi di sektor limbah sudah “on the track”. Sebagaimana yang dituangkan dalam peta jalan NDC, pada tahun 2022 penurunan Tingkat emisi yang diharapkan adalah sebesar 2% dari kondisi baseline. Namun berdasarkan penghitungan inventarisasi GRK sektor limbah, diperoleh hasil bahwa penurunan tingkat emisi berada pada kondisi sebesar 20% dari kondisi baseline. Hal ini menunjukkan bahwa reduksi emisi yang terjadi lebih besar dari yang ditargetkan. Kondisi ini menunjukkan bahwa kegiatan mitigasi di sektor limbah berhasil memberikan kontribusi positif pada upaya penurunan emisi GRK nasional.

BAB VI. RENCANA PERBAIKAN (PLAN OF IMPROVEMENT)



BAB VI. RENCANA PERBAIKAN (PLAN OF IMPROVEMENT)

6.1 Rencana Perbaikan Laporan

6.1.1 Sektor Energi dan IPPU

Guna meningkatkan kualitas data emisi aktual/inventarisasi GRK dan data *capaian* pengurangan emisi GRK, beberapa langkah perbaikan telah dilakukan sesuai *rekomendasi* pada dokumen pelaporan tahun sebelumnya.

Pada periode pelaporan sebelumnya (Laporan IGRK MPV tahun 2022), direkomendasikan untuk melakukan perbaikan pada:

1. Perbaikan mekanisme pengumpulan data dan sistem penjaminan dan pengendalian mutu (QA/QC), terutama pada peningkatan proses dokumentasi di tingkat lembaga/institusi pengumpul data.
2. Pengembangan sistem penyimpanan data dan dokumen (*data archiving*) untuk penyelenggaraan inventarisasi GRK dan monitoring, pelaporan dan verifikasi. Sistem pengarsipan data dan informasi yang baik, penting dalam mendukung prinsip TACCC.
3. Peningkatan kualitas data aktivitas dan faktor emisi. Upaya perbaikan difokuskan pada sumber/rosot yang sudah diidentifikasi sebagai kategori kunci serta untuk meningkatkan kualitas inventarisasi GRK ke *tier* yang lebih tinggi.
4. Membangun Struktur Manajerial, SOP (*Standard Operating Procedure*), dan dokumentasi mengenai alur informasi kebutuhan evaluasi aksi mitigasi perubahan iklim, metode pemantauan dan pencatatan aksi mitigasi perubahan iklim, dan dokumentasi pelaporan.
5. Membangun sistem pemantauan dan pelaporan data untuk aksi mitigasi yang lebih akurat dan rinci, sehingga setiap data dapat diverifikasi dengan baik.
6. Peningkatan akuntabilitas capaian aktivitas aksi mitigasi. Diantaranya dengan memasukkan komponen/data biaya investasi dan operasional. Hal ini akan sangat bermanfaat dalam analisis keekonomian aksi mitigasi pengurangan emisi GRK nasional.
7. Di sektor IPPU, diharapkan adanya penambahan kontribusi pengurangan emisi GRK dari aksi mitigasi di industri selain industri semen seperti industri amonia, kimia, besi baja, pulp & paper, makanan & minuman, gelas & keramik dan tekstil.

Menindaklanjuti rekomendasi tersebut, pada periode pelaporan tahun 2022, telah dilakukan beberapa perbaikan pelaporan antara lain :

1. Penyelenggaraan Inventarisasi GRK
Telah dilakukan proses peningkatan kualitas dalam pengumpulan data, sistem QA/QC, penentuan data aktivitas dan faktor emisi sebagai kategori kunci serta sistem penyimpanan data dan dokumen (*data archiving*) dalam proses inventarisasi GRK sehingga diharapkan dapat menuju *tier* yang lebih tinggi.
2. Penyelenggaraan MPV
 - a. Dalam pelaksanaan MPV di Sektor Energi, Subsektor Energi di Transportasi dan Subsektor Energi di Industri telah disepakati bentuk koordinasi dimana KESDM selaku koordinator/Penangggung Jawab aksi di Sektor Energi sehingga proses pelaporan, pemantauan dan dokumentasi diharapkan dapat sesuai SOP yang telah terbangun.
 - b. Sampai dengan pelaporan tahun 2022, Kementerian Perindustrian selaku Penanggung Jawab Aksi di Sektor IPPU sudah melaporkan capaian pengurangan emisi GRK dari industri semen dan industri pupuk yang dapat memenuhi prinsip TACCC.

Sebagai bentuk keberlanjutan, beberapa rekomendasi yang perlu untuk terus dikembangkan antara lain:

1. Penyelenggaraan Inventarisasi GRK

Proses perbaikan dalam pengumpulan data, sistem QA/QC, penentuan data aktivitas dan factor emisi serta sistem penyimpanan data dan dokumen (data archiving) terus dilakukan guna meningkatkan kualitas inventarisasi GRK dengan memperhatikan ketersediaan data aktivitas di tingkat tapak dan perkembangan teknologi / pengetahuan.

Pada inventarisasi GRK sektor energi upaya perbaikan untuk melakukan:

1. Menggunakan data emisi GRK di sub sektor Pembangkit Listrik dari aplikasi APPLE Gatrik Ditjen Ketenagalistrikan, Kementerian ESDM untuk perhitungan emisi GRK pada tahun-tahun berikutnya sebagai rekomendasi hasil dari temuan BPK RI
2. Disagregasi pada sub sektor transportasi darat, pemisahan data konsumsi BBM untuk penerbangan dan transportasi laut domestik dan internasional, penggunaan faktor emisi nasional (*Tier-2*) dan perlu dikembangkan faktor emisi CH_4 dan N_2O , pemenuhan konsistensi data aktivitas pada industri minyak dan gas (1A1b), dan pemenuhan *Refinement* 2019.

Sedangkan pada inventarisasi GRK sektor IPPU perlu diupayakan antara lain:

1. Memasukkan HFC dan SF6 dalam inventarisasi emisi GRK nasional sebagai data dan informasi berkaitan dengan sumber dan aktivitas gas-gas tersebut
2. Meningkatkan kontinuitas dan koherensi data aktivitas pada tingkat pabrik dan updating faktor emisi oleh Kementerian Perindustrian.
3. Melibatkan lebih banyak industri dan asosiasi dalam pembentukan dan pemeliharaan \ inventarisasi sektor IPPU
4. Menyusun faktor emisi nasional di tingkat pabrik bersama pemangku kepentingan terkait yang akan diperbarui secara tahunan.

2. Penyelenggaraan MPV

Perbaikan pelaporan dalam penyelenggaraan MPV perlu difokuskan pada:

1. Guna meningkatkan kualitas data pelaporan di Sektor Energi perlu ditingkatkan koordinasi antar kementerian terkait.
2. Pemetaan aksi mitigasi yang dapat berkontribusi dalam pencapaian target pengurangan emisi GRK di Sektor Energi dan sektor pendukungnya.
3. Kementerian Perindustrian perlu intensif mengidentifikasi aksi mitigasi selain dari di industri semen, seperti dari industri amonia, kimia, besi baja, pulp & paper, makanan & minuman, gelas & keramik dan tekstil), sehingga dapat menuju pencapaian target pengurangan emisi GRK sebagaimana tertuang dalam NDC

6.1.2 Sektor Pertanian

1. Penyelenggaraan Inventarisasi GRK

Direktorat Inventarisasi GRK dan MPV melakukan evaluasi terhadap penyelenggaraan inventarisasi GRK Sektor Pertanian dan secara konsisten melakukan perbaikan-perbaikan dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK. Dalam rangka perbaikan penyelenggaraan inventarisasi dan tingkat akurasi perhitungan GRK Sektor Pertanian, perlu dilakukan hal-hal sebagai berikut:

1. Pada penyelenggaraan inventarisasi GRK Sektor Pertanian model II terdapat beberapa kategori sumber emisi yang berubah parameter dan asumsinya, sehingga diperlukan rekalkulasi dalam rangka implementasi prinsip TACCC terutama konsistensinya.
2. Dari sisi penyediaan data aktivitas masih terdapat beberapa data yang diperoleh dengan pendekatan/proxy dengan menggunakan asumsi, sehingga diperlukan peningkatan koordinasi yang lebih intensif dengan instansi teknis (Ditjen Teknis lingkup ementerian Pertanian) dan lembaga terkait (APPI, BPS, Kementerian ATR/BPN) dalam penyediaan data asli/primer atau data hasil dari pengukuran/perhitungan. Diperlukan pembaruan atau penelitian untuk beberapa faktor emisi dan parameter inventarisasi terhadap sumber emisi yang menjadi penyumbang emisi terbesar (*key category*) untuk meningkatkan tingkat ketelitian (*tier*), khususnya emisi N_2O langsung dari pengelolaan tanah dan budidaya pada sawah.

3. Diperlukan analisis ketidakpastian (*uncertainty analysis*), baik dari data aktivitas maupun faktor emisi yang digunakan, dalam rangka meningkatkan tingkat kepercayaan terhadap hasil perhitungan emisi GRK Sektor Pertanian.

2. Penyelenggaraan MPV Sektor Pertanian

1. Penyampaian laporan diharapkan memenuhi amanat tata waktu dalam Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 Pasal 12 bahwa penyampaian laporan dari tingkat kabupaten/kota madya kepada gubernur, selanjutnya kepada menteri terkait dan selanjutnya Menteri LHK dilakukan pada bulan Maret hingga Juni setiap tahun.
2. Penyampaian Laporan Mitigasi Sektor Pertanian diharapkan mengacu kepada aksi mitigasi yang diasumsikan menyumbang pengurangan emisi sesuai *Enhanced NDC* Tahun 2022, yaitu yang berasal dari mitigasi manajemen air di lahan sawah, mitigasi penggunaan varietas rendah emisi di lahan sawah, mitigasi penggunaan pupuk organik, mitigasi *manure management* untuk biogas dan mitigasi *feed supplement*.
3. Untuk memenuhi prinsip TACCC penyampaian Laporan Mitigasi Sektor Pertanian Tahun 2021 oleh Kementerian Pertanian menyertakan *worksheet* penghitungannya. Mengingat dalam laporan yang disampaikan, belum menyampaikan beberapa data yang dibutuhkan, misalnya data luas lahan padi menggunakan varietas rendah emisi pada masing-masing varietas. Dalam laporan hanya disampaikan luas secara agregat, di mana tidak memungkinkan melakukan pemeriksaan pada setiap faktor.
4. Penghitungan pengurangan emisi memerlukan perbaikan data aktivitas dan mengurangi penggunaan data yang berasal dari asumsi ataupun *expert judgement*, melainkan menggunakan data yang lebih akurat.

6.1.3 Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

1. Penyelenggaraan Inventarisasi GRK

Penyelenggaraan inventarisasi gas rumah kaca adalah siklus yang membutuhkan upaya perbaikan dan penyempurnaan terus-menerus agar dapat beradaptasi dengan perkembangan pengetahuan dan pengalaman terkait pendugaan emisi dan serapan GRK serta ketersediaan data dari sumber dan rosot serta pengalaman yang diperoleh dalam pelaksanaan inventarisasi sebelumnya. Untuk itu, selain tetap menjaga integritas dan kualitas penyelenggaraan inventarisasi gas rumah kaca, perlu dilakukan upaya-upaya perbaikan di antaranya:

1. Perbaikan penerapan sistem penjaminan dan pengendalian mutu (QA/QC) di semua level baik level subsektor, sektor dan nasional sesuai dengan pedoman QA/QC yang telah ditetapkan melalui Peraturan Dirjen PPI Nomor 10 Tahun 2018.
2. Pengembangan sistem pengarsipan data dan informasi untuk penyelenggaraan inventarisasi GRK untuk semua kategori. Pengembangan ini merupakan bagian penting dari proses penyelenggaraan inventarisasi GRK dalam mendukung pelaksanaan verifikasi, menjamin transparansi serta merupakan bagian dari sistem penjaminan dan pengendalian mutu (QA/QC).
3. Peningkatan kualitas data aktivitas maupun faktor emisi dari site spesifik. Perlunya penggunaan faktor emisi yang bersifat *country/site specific*/lokal, sehingga perhitungan Inventarisasi GRK dapat menghasilkan data dengan kualitas yang lebih baik. Pada saat ini, laporan 2nd FREL telah disubmit, di mana terdapat sumber/rosot lain dari cakupan *pool* karbon yang signifikan, di antaranya bahan organik tanah dari ekosistem mangrove yang terbarukan. Sehingga, dalam menjaga konsistensi pelaporan GRK baik nasional maupun internasional, maka perbaikan data aktivitas dan faktor emisi perlu dilakukan.
4. Perbaikan faktor emisi untuk kebakaran gambut. Beberapa parameter pada estimasi emisi dari Kebakaran Gambut teridentifikasi *over-estimate* (misalnya pada FE = 923,1 ton CO₂e/Ha). Pada saat ini telah terbit jurnal oleh tim peneliti (antara lain tim Pusat Penelitian dan Pengembangan Kehutanan dan BRIN) mengenai parameter pada estimasi emisi dari kebakaran Gambut rilis pada akhir 2021. Sehingga diperlukan pembahasan lebih lanjut mengenai penggantian parameter tersebut.

5. Pembaruan parameter inventarisasi dengan mengacu pada IPCC *Refinement 2019*. IPCC *refinement 2019*, tidak dimaksudkan untuk merevisi 2006 IPCC *Guidelines*. Namun lebih bertujuan untuk memberikan update/pembaruan dan pengkayaan materi (*supplements*) dengan justifikasi ilmiah terbaru. Beberapa parameter karbon *pools* pada kelas hutan dan non-hutan perlu di perbarui sesuai IPCC *Refinement 2019*.
6. Penggunaan GWP (*Global Warming Potential*) dari IPCC *Assessment Report* terbaru. Laporan ini masih menggunakan GWP – IPCC AR2. Sesuai dengan Decision 18/CMA.1 disebutkan bahwa dalam penggunaan GWP sangat disarankan untuk menggunakan AR5 IPCC. Penggunaan GWP terbaru ini perlu mendapatkan kajian sesuai dengan ketersediaan data dan kesesuaian dengan sektor emisi lainnya.
7. Peralihan pendekatan analisis emisi GRK. Perubahan dari perhitungan peningkatan dan penurunan cadangan karbon (*gain and loss; process-based approach*) ke metode perubahan cadangan karbon (*stock difference; stock-based approach*). Peralihan metodologi ini terkait dengan ketersediaan data, menekan nilai *uncertainties* serta konsistensi dengan pelaporan GRK lainnya.

2. Penyelenggaraan MPV

Berdasarkan proses verifikasi capaian mitigasi sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya pada tahun 2022, beberapa hal yang perlu diambil langkah – langkah perbaikan adalah sebagai berikut:

1. Perlu pengaturan tata waktu yang jelas dalam kegiatan pengumpulan data aktivitas yang digunakan dalam penghitungan capaian pengurangan dan atau serapan emisi GRK. Kendala ketiadaan data aktivitas pada waktu yang ditentukan untuk pelaporan capaian mitigasi di triwulan akhir (September – Desember) mengakibatkan penggunaan asumsi yang besar dalam proses pengolahan data. Penggunaan asumsi luasan tutupan lahan menghasilkan bias pada hasil capaian mitigasi. Hal ini tentu menjadi tidak sesuai dengan prinsip akurasi dalam implementasi prinsip TACCC.
2. Untuk menjaga terlaksananya prinsip konsistensi dan komparabilitas, maka pada penggunaan *baseline* untuk mengukur pencapaian target NDC, maka *baseline* yang digunakan harus *in-line* yaitu *baseline* NDC. Pada pelaporan awal capaian mitigasi terdapat 2 (dua) *baseline* yang digunakan untuk mengukur keberhasilan, yaitu *baseline* 1st FREL dan *baseline* NDC. Mengingat kedua *baseline* tersebut tidak dapat diperbandingkan, serta sesuai dengan tujuan pengukuran pencapaian target, maka *baseline* yang digunakan adalah *baseline* NDC.
3. Pengukuran capaian pengurangan emisi GRK dan atau serapan dari sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya tidak dapat dicapai oleh pelaksanaan aksi mitigasi yang terpisah – pisah. Upaya menekan laju deforestasi, pengendalian degradasi dan kebakaran serta dekomposisi gambut secara simultan akan menghasilkan dampak pengurangan emisi dan peningkatan serapan secara simultan. Untuk itu, *baseline* yang digunakan dalam mengukur keberhasilan tiap upaya adalah satu *baseline* yang telah ditetapkan, yaitu *baseline* NDC. Penggunaan *baseline* FREL hanya digunakan untuk kepentingan pengukuran kinerja guna kepentingan pembayaran (RBP).
4. Perlu peningkatan kapasitas dalam penghitungan *uncertainty analysis* guna meningkatkan kualitas pelaporan yang mengimplementasikan prinsip TACCC.

6.1.4 Sektor Limbah

1. Penyelenggaraan Inventarisasi GRK

Sejumlah kebutuhan perbaikan dalam penghitungan emisi GRK sektor limbah disampaikan sebagai berikut:

1. Perbaikan kuantitas dan kualitas data limbah padat domestik yang datanya dihimpun dari subnasional.
 - a. Peningkatan jumlah data masuk dari kabupaten/kota ke SIPSN (saat ini baru sekitar 80,16%).
 - b. Perbaikan kualitas data masuk ke SIPSN dari subnasional (termasuk tipe pengelolaan TPA yang tervalidasi - MCF).

2. Perbaikan kualitas data limbah cair industri dan limbah padat industri, termasuk data mitigasinya (*methan recovery*, *sludge remove*, pengomposan pulp paper, insinerasi, pengelolaan pihak ke-3 berijin).
3. Identifikasi data aktivitas pada sumber emisi thermal selain open burning (insinerasi).
4. Pengembangan faktor emisi dan parameter spesifik nasional, seperti data karakteristik sampah (Komposisi sampah, *dry matter content* dan DOC), data karakteristik BOD limbah cair domestik dan tipe pengolahan limbah (WWTP) dengan memperbanyak sumber referensi dan hasil-hasil penelitian.

2. Penyelenggaraan MPV

Perbaikan verifikasi terhadap capaian pengurangan emisi sektor limbah pada tahun sebelumnya:

1. Perbaikan (*improvement*) kualitas data aktivitas dan data aksi mitigasi sub sektor limbah padat domestik (penggunaan data SIPSN).

Sedangkan untuk monitoring, pelaporan, dan verifikasi aksi mitigasi yang telah dilakukan sepanjang tahun 2022, rencana perbaikan yang direkomendasikan antara lain:

1. Peningkatan kualitas data.
Guna peningkatan kualitas data aktivitas perlu dilakukan kontrol kualitas data, untuk itu komunikasi teknis diperlukan bersama Direktorat teknis atau K/L terkait. Hal ini penting untuk segera dilakukan, memperhatikan implementasi prinsip TACCC di mana ke depan Direktorat Teknis atau instansi pengampu data yang akan melakukan pengukuran reduksi emisi GRK
2. Perbaikan pendekatan/asumsi
Sebagian besar data aktivitas yang digunakan masih bersifat potensi dengan pendekatan “penilaian pakar” (*expert judgement*), ke depan penggunaan asumsi akan dikurangi dengan uji petik.
3. Ekspansi/perluasan sumber data aktivitas.
Khusus pada limbah industri, data aktivitas yang tersedia masih minim, selanjutnya dibutuhkan koordinasi teknis baik dengan kemenperin, GAPKI, maupun dengan kementan (*agroindustry*) terutama untuk 3 kelas industri besar (pulp paper, sawit, tapioka). Selain itu perlunya monitoring aksi mitigasi secara lebih komprehensif, sehingga diperoleh angka capaian pengurangan emisi GRK yang menunjukkan capaian emisi GRK dari seluruh kegiatan mitigasi di Indonesia.
4. Pencantuman sumber referensi pada setiap data aktivitas maupun faktor emisi yang digunakan dalam perhitungan reduksi emisi. Hal tersebut dapat digunakan sebagai indikator kualitas dari proses pelaporan reduksi emisi yang dilakukan telah memenuhi prinsip *transparency*.

6.2 Rencana Pengembangan Kapasitas

Untuk pengembangan kapasitas penyelenggaraan Inventarisasi GRK dan MPV, beberapa kegiatan yang direkomendasikan, antara lain:

1. Sosialisasi dan diseminasi informasi terkait kebijakan penyelenggaraan Inventarisasi GRK dan MPV sebagaimana tertuang pada Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 termasuk peraturan pengikutnya.
2. Peningkatan pemahaman dan pengetahuan para pihak (Kementerian/Lembaga terkait, pemerintah sub nasional, swasta) terkait inventarisasi GRK, dan metodologi penghitungan capaian pengurangan emisi GRK dengan melibatkan Balai Pengendalian Perubahan Iklim (BPPI).
3. Peningkatan kapasitas terhadap penanggung jawab/pelaksana aksi mitigasi/kegiatan dalam hal Pengukuran, dan Pelaporan serta terhadap verifikator/Tim MPV dalam hal Verifikasi aksi mitigasi/kegiatan sektor NDC. Peningkatan kapasitas para pihak dalam teknis penggunaan aplikasi SIGN SMART dan SRN.

BAB VII. PENUTUP



BAB VII. PENUTUP

Sebagai *ouput*/keluaran dari tugas pokok dan fungsi Direktorat Inventarisasi GRK dan MPV, untuk tahun 2023 telah tersusun Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV) yang menggambarkan hasil kegiatan tahun 2022. 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 *baseline* (*Business as Usual*/BAU) dan hasil inventarisasi GRK, serta rencana perbaikan dan pengembangan penyelenggaraan inventarisasi GRK dan MRV.

Hasil analisis perhitungan emisi GRK terdapat data inventarisasi GRK dan capaian pengurangan emisi GRK secara nasional pada tahun 2023, menunjukkan emisi GRK aktual sebesar **1.244,98 Juta ton CO₂e** dengan persentase capaian pengurangan emisi GRK Nasional terhadap nilai *baseline* sebesar **40,8%**. Berdasarkan hitungan tersebut, diketahui bahwa sebesar **859,49 Juta ton CO₂e** yang harus dipenuhi dari aksi mitigasi yang dilakukan oleh para penanggung jawab aksi.

Sesuai dengan hasil perhitungan atas capaian pengurangan emisi GRK dari aksi mitigasi di 5 (lima) sektor yaitu energi, IPPU, pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan lainnya, dan limbah yang dilaporkan ke KLHK untuk tahun kegiatan 2022 yaitu sebesar **428,39 Juta ton CO₂e**. Hal ini menunjukkan bahwa aksi mitigasi yang dilakukan dari 5 (lima) sektor tersebut belum dapat memenuhi target capaian pengurangan emisi GRK yaitu sebesar **859,49 Juta Ton CO₂e** atau baru sekitar **49,8%** sehingga untuk mencapai target tersebut, KLHK perlu upaya intensif dalam pelaksanaan maupun pelaporan aksi mitigasi.

Laporan ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi profil emisi GRK sehingga dapat menjadi kontrol terhadap progress 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. (2017). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 73 Tahun 2017 tentang Pedoman Penyelenggaraan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional*. 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.

Ministry of Energy and Mineral Resources. (2021). *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