



ISSN : 2830-2923

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

2022

Volume 8, April 2023



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



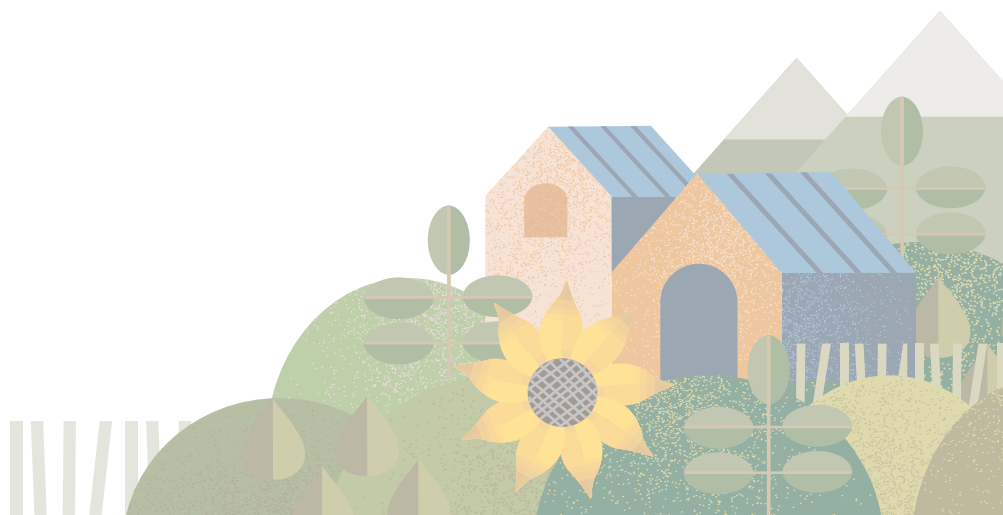
LAPORAN

INVENTARISASI GAS RUMAH KACA (GRK) DAN MONITORING, PELAPORAN, VERIFIKASI (MPV) 2022

Volume 8, April 2023



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





RINGKASAN EKSEKUTIF

Komitmen Indonesia yang dituangkan dalam dokumen *Nationally Determined Contribution* (NDC) adalah komitmen nasional bagi penanganan perubahan iklim global dalam rangka mencapai tujuan Persetujuan Paris atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai Perubahan Iklim (*Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change*). Indonesia telah menerbitkan kebijakan tentang *Updated NDC* dengan target pengurangan emisi GRK sebesar 29% dengan kemampuan sendiri dan 41% dengan dukungan internasional, yang telah ditingkatkan targetnya melalui *Enhanced NDC* (ENDC) pada tahun 2022, menjadi sebesar 31,89% dan 43,20%. Selain itu, pada tahun 2021, Indonesia juga sudah menerbitkan kebijakan tentang *Long-term Strategies for Low Carbon and Climate Resilience 2050* (LTS-LCCR), dengan visi menuju *net-zero emission* pada tahun 2060 atau lebih cepat.

Untuk mendorong upaya pencapaian target yang telah ditetapkan dalam dokumen ENDC dan LTS-LCCR, pemerintah telah mengeluarkan beberapa regulasi antara lain Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon (NEK) untuk Pencapaian Target NDC dan Pengendalian Emisi GRK dalam Pembangunan Nasional, dan dua regulasi turunan berupa Peraturan Menteri LHK Nomor 21 Tahun 2022 tentang Tata Laksana Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon dan Peraturan Menteri ESDM Nomor 16 Tahun 2022 tentang Tata Cara Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon Subsektor Pembangkit Tenaga Listrik. Selain itu, telah dikeluarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor SK.168/MenLHK/PKTL/Pla.1/2/2022 tentang *Indonesia's Forestry and Other Land Use (FOLU) Net Sink 2030* untuk Pengendalian Perubahan Iklim.

Untuk memonitor pelaksanaan dan menjamin bahwa target pengurangan emisi yang telah disepakati tercapai sesuai dengan yang diagendakan, *Paris Agreement* telah menyepakati untuk mengembangkan kerangka transparansi yang kuat (*Enhanced Transparency Framework/ETF*) yang secara garis besar memuat prinsip-prinsip:

1. Membantu negara pihak untuk **"track countries progress"** kontribusi aksi mitigasi yang merupakan komponen penting dalam isu perubahan iklim, pendanaan, alih teknologi, dan peningkatan kapasitas;
2. Melaporkan **secara transparan dan dapat terukur, dilaporkan, dan terverifikasi (Measurable, Reportable, and Verifiable/MRV)** terhadap tindakan yang diambil dan kemajuan dalam mitigasi perubahan iklim, langkah-langkah adaptasi dan dukungan yang diberikan atau diterima;
3. Informasi yang dikumpulkan melalui ETF akan dimasukkan ke dalam **inventarisasi global (global stocktake)** yang akan menilai kemajuan kolektif menuju tujuan iklim jangka panjang.

Dalam konteks *tracking progress* dan melaporkan secara ter MRV-able pencapaian target dan implementasi aksi mitigasi, 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 2021 masing-masing kategori/sektor adalah Energi sebesar **595.862 Gg CO₂e**, Proses Industri dan Penggunaan Produk, sebesar **59.377 Gg CO₂e**, Pertanian sebesar **105.877 Gg CO₂e**, Kehutanan dan Kebakaran Gambut sebesar **249.713 Gg CO₂e** dan Limbah sebesar **129.838 Gg CO₂e**.

Mengacu pada Hasil perhitungan inventarisasi GRK nasional menunjukkan bahwa **Tingkat emisi aktual GRK di tahun 2021 adalah sebesar 1.140,67 Juta ton CO₂e**, dan ini menunjukkan adanya pengurangan emisi dari *baseline*/BAU sebesar **889,79 juta Ton CO₂e** atau sebesar **43,82%**. Emisi GRK di semua sektor menunjukkan adanya tren pengurangan dibanding tahun sebelumnya.

Dari sisi pelaksanaan aksi mitigasi perubahan iklim yang terverifikasi menunjukkan bahwa pada tahun 2020 terjadi pengurangan emisi GRK sebesar **573.951.814 ton CO₂e** (573,95 Juta ton CO₂e) dan pada tahun 2021 dengan **pengurangan emisi GRK sebesar 487.902.867 ton CO₂e** (487,90 Juta ton CO₂e).

Dari total pengurangan emisi GRK sebesar **487.902.867 ton CO₂e (487,90 Juta ton CO₂e)** pada tahun 2021, secara terperinci pengurangan emisi GRK terverifikasi di masing-masing kategori/sektor yaitu (1) Energi sebesar **91.497.470 ton CO₂e**, (2) Proses Industri dan Penggunaan Produk sebesar **2.786.417 ton CO₂e**, (3) Pertanian sebesar **14.043.100 ton CO₂e**, (4) Kehutanan sebesar **377.873.377 ton CO₂e**, dan (5) Limbah sebesar **1.702.503 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
 - a. Dalam pelaksanaan MPV di Sektor Energi, Subsektor Energi di Transportasi dan Subsektor Energi di Industri telah disepakati bentuk koordinasi dimana KESDM selaku koordinator/ Penanggung Jawab aksi di Sektor Energi sehingga proses pelaporan, pemantauan dan dokumentasi diharapkan dapat sesuai SOP yang telah terbangun.
 - b. Sampai dengan pelaporan tahun 2021, Kementerian Perindustrian selaku Penanggung Jawab Aksi di Sektor IPPU baru dapat melaporkan capaian pengurangan emisi GRK dari industri semen yang dapat memenuhi prinsip TACCC.



MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA

SAMBUTAN



Sebagaimana Pemerintah Indonesia sangat serius dalam pengurangan emisi GRK guna berkontribusi menahan kenaikan suhu rata-rata global jauh di bawah 2°C dan berupaya untuk membatasi kenaikan suhu hingga 1,5°C di atas tingkat pra-industri sebagaimana disepakati di dalam Persetujuan Paris (Paris Agreement). Di tingkat internasional, pemerintah Indonesia menyampaikan kepada UNFCCC dua dokumen baru di tahun 2021, yaitu dokumen pembaruan NDC dan dokumen LTS-LCCR atau Strategi Jangka Panjang untuk Indonesia yang Rendah Karbon dan Berketahanan Iklim 2050. Dokumen LTS-LCCR sendiri menjelaskan pandangan optimis bahwa Indonesia mampu mencapai puncak tingkat emisi gas rumah kaca (GRK) pada tahun 2030 dengan sektor kehutanan dan penggunaan lahan sebagai penyerap emisi *netto* atau *forest and other land use (FOLU) net-sink* serta mencapai *net zero emission (NZE)* pada tahun 2060 atau lebih cepat.

Di tingkat nasional sendiri, pemerintah Indonesia menerbitkan dua peraturan baru yaitu (a) Undang-undang Nomor 7 Tahun 2021 tentang Harmonisasi Peraturan Perpajakan yang memuat aturan tentang pajak karbon, serta (b) Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon (NEK) untuk Pencapaian Target NDC dan Pengendalian Emisi GRK dalam Pembangunan Nasional. Pada tahun 2022 telah disahkan dua regulasi turunan setingkat Menteri yakni Peraturan Menteri LHK Nomor 21 Tahun 2022 tentang Tata Laksana Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon dan Peraturan Menteri ESDM Nomor 16 Tahun 2022 tentang Tata Cara Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon Subsektor Pembangkit Tenaga Listrik. Selain itu, telah dikeluarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor SK.168/Menlhk/PKTL/Pla.1/2/2022 tentang *Indonesia's Forestry and Other Land Use (FOLU) Net Sink 2030* untuk Pengendalian Perubahan Iklim.

Selanjutnya pada tahun 2022, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan selaku *National Focal Point* UNFCCC, telah menyampaikan peningkatan ambisi 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. Dokumen ENDC disusun untuk lebih memutakhirkan kebijakan-kebijakan nasional terkait perubahan iklim dan secara bertahap target pengurangan emisi GRK oleh Indonesia akan sejalan dengan kebijakan jangka panjang *Long-term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience (LTS-LCCR 2050)* menuju *net-zero emission* pada tahun 2060 atau lebih cepat.

Hal-hal yang dimutakhirkan didalam dokumen ENDC adalah peningkatan target NDC, perkembangan kebijakan nasional, kebijakan adaptasi perubahan iklim dan kerangka transparansi. Target pengurangan emisi GRK Indonesia dengan kemampuan sendiri pada *Updated NDC (UNDC)* sebesar 29% meningkat ke 31,89% pada ENDC, sedangkan target dengan dukungan internasional pada UNDC sebesar 41% meningkat ke 43,20% pada ENDC.

Untuk memonitor pelaksanaan dan menjamin bahwa target pengurangan emisi yang telah disepakati tercapai sesuai dengan yang diagendakan, *Paris Agreement* telah menyepakati untuk meningkatkan 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, Indonesia memberlakukan Kerangka Transparansi Nasional yang terintegrasi melalui Sistem MRV, Sistem Registri Nasional (SRN), dan Sistem Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional (SIGN- SMART).

Bentuk konkrit dari pelaksanaan ETF, setiap tahun Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan berkoordinasi dengan Kementerian/Lembaga terkait mewujudkan penyusunan Laporan Inventarisasi GRK dan Monitoring, Pelaporan dan Evaluasi (IGRK-MPV) yang bertujuan untuk memonitor tingkat dan status emisi GRK dan upaya aksi yang diselenggarakan baik oleh pemerintah, dunia usaha, maupun masyarakat.

Dokumen tahunan ini diharapkan dapat dijadikan acuan kinerja pencapaian NDC yang dibuktikan dengan indikator jenis dan jumlah hasil aksi mitigasi perubahan iklim dan tingkat emisi GRK. Sehingga memudahkan dalam memberikan informasi bagi para pengambil keputusan, informasi kepada publik, dan bahan 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 2022 ini. Semoga dokumen ini dapat menjadi rujukan bersama guna mewujudkan komitmen Indonesia menuju pencapaian *Enhanced NDC 2030* dan Komitmen Pencapaian Target *Net Zero Emission* tahun 2060 atau lebih awal.

Jakarta, Maret 2023

Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan,



SITI NURBAYA

KATA PENGANTAR



Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan selaku *National Focal Point* UNFCCC, telah menyampaikan peningkatan ambisi pengurangan emisi gas rumah kaca melalui dokumen *Enhanced NDC* (ENDC) Indonesia. Target pengurangan emisi GRK Indonesia dengan kemampuan sendiri pada *Updated NDC* (UNDC) sebesar 29% meningkat ke 31,89% pada ENDC, sedangkan target dengan dukungan internasional pada UNDC sebesar 41% meningkat ke 43,20% pada ENDC.

Dalam upaya pencapaian target NDC dan pengendalian emisi GRK telah disusun beberapa kebijakan sektoral seperti halnya FOLU *Net-sink* 2030, percepatan penggunaan kendaraan listrik, peningkatan aksi di sektor limbah, serta peningkatan target pada sektor pertanian dan industri. Selain itu, pemerintah juga sudah mengeluarkan kebijakan pendukung antara lain munculnya Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 dan regulasi turunan setingkat Menteri.

Tantangan selanjutnya adalah bagaimana mewujudkan upaya sinergi dan kolaborasi kebijakan sektoral berikut kebijakan pendukung lainnya dalam pencapaian target pengurangan emisi yang tertuang dalam dokumen ENDC dengan melibatkan peran multi pihak baik pemerintah pusat, pemerintah daerah (provinsi dan kabupaten/kota), dunia usaha, dan masyarakat.

Salah satu upaya yang telah dilakukan adalah mendorong para pemangku kepentingan untuk melakukan perencanaan, pelaksanaan, dan monitoring evaluasi aksi mitigasi serta melaporkan secara transparan tindakan yang diambil dan kemajuan dalam mitigasi perubahan iklim ke dalam Sistem Registrasi Nasional Pengendalian Perubahan Iklim.

Ditjen Pengendalian Perubahan Iklim dengan kementerian terkait setiap tahun berkoordinasi untuk melakukan proses pengumpulan data dan informasi yang digunakan dalam melakukan *tracking progress* pencapaian target ENDC yang dituangkan dalam Laporan Inventarisasi GRK dan Monitoring, Pelaporan dan Verifikasi.

Mengacu pada Laporan Inventarisasi GRK dan Monitoring, Pelaporan Verifikasi (IGRK MPV) tahun sebelumnya, secara garis besar Laporan IGRK MPV tahun 2022 mencakup data dan informasi yang meliputi:

1. Nilai emisi *baseline* periode 2010 – 2030, dimana nilai emisi *baseline* pada tahun 2021 berdasarkan emisi *baseline* dalam NDC sebesar **2.030,52 Juta ton CO₂e**;
2. Data penghitungan inventarisasi GRK tahun 2010 – 2021, dimana terdapat rekalkulasi inventarisasi GRK, yang menunjukkan angka pada tahun 2021 sebesar **1.140.677 Gg CO₂e**;
3. Capaian pengurangan emisi GRK terverifikasi dari aksi mitigasi yang dilakukan oleh setiap sektor/ Kementerian/Lembaga pada tahun 2021 sebesar **487,90 Juta ton CO₂e**;
4. Capaian angka pengurangan emisi GRK yang diperoleh dari pengurangan angka emisi *baseline* tahun 2021 dan penghitungan inventarisasi GRK tahun 2021 yakni sebesar **889,79 Juta ton CO₂e**;
5. Selain data dan informasi profil emisi, juga disajikan upaya pelaksanaan dan rencana pengembangan (*plan of improvement*) penyelenggaraan IGRK dan MPV.

Diharapkan laporan ini dapat dijadikan sebagai acuan dalam mempercepat proses dan memberikan gambaran lengkap terhadap pencapaian komitmen Indonesia di tatanan global.

Apresiasi dan ucapan terima kasih disampaikan kepada berbagai pihak yang berkontribusi dalam penyusunan Laporan ini.

Jakarta, Maret 2023

**Direktur Jenderal
Pengendalian Perubahan Iklim,**



LAKSMI DHEWANTHI



Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV) Tahun 2022

Volume 8, April 2023

LEMBAR PENYUSUN

Tim Penyusun

Pengarah: Laksmi Dhewanthi

Penanggung Jawab: Syaiful Anwar

Penyusun:

1. Syaiful Anwar
2. Hari Wibowo
3. Budiharto
4. Ratnasari
5. Fifi Novitri
6. Allan Rosehan
7. Endah Riana Oktavia
8. Rully Dhora Carolyn
9. Vinna Precylia
10. Saiful Lathif
11. Rusi Asmani
12. Heri Purnomo
13. Kurnia Utama
14. Prasetyadi Utomo
15. Erny Wibawanti

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 (2021). Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca, Monitoring, Pelaporan, dan Verifikasi Nasional Tahun 2022.

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.

Publikasi didukung oleh Climate Promise - JSB, UNDP Indonesia

DAFTAR ISI

RINGKASAN EKSEKUTIF	iii
SAMBUTAN	v
KATA PENGANTAR	vii
LEMBAR PENYUSUN	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	3
BAB II KERANGKA TRANSPARANSI	9
2.1. <i>Measurement, Reporting and Verification (MRV)</i>	9
2.2. <i>Sistem Registri Nasional Pengendalian Perubahan Iklim (SRN-PPI)</i>	10
2.3. <i>Sertifikasi Pengurangan Emisi GRK (SPE)</i>	11
BAB III METODOLOGI	17
3.1. Metodologi Inventarisasi GRK	17
3.1.1. Kelembagaan Inventarisasi GRK	17
3.1.2. Metodologi Perhitungan Inventarisasi GRK	19
3.2. Metodologi Penghitungan Capaian Aksi Mitigasi	46
3.2.1. Kelembagaan	46
3.2.2. Hasil Penetapan Metodologi	47
BAB IV HASIL INVENTARISASI GRK NASIONAL	59
4.1. Profil Emisi GRK Nasional	59
4.2. Profil Emisi Sektoral	62
4.2.1. Sektor Energi	62
4.2.2. Sektor IPPU	78
4.2.3. Sektor Pertanian	86
4.2.4. Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya	108
4.2.5. Sektor Limbah	118
BAB V HASIL CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK	131
5.1. Pengurangan Emisi GRK Nasional Dari Aksi Mitigasi	131
5.2. Pengurangan Emisi GRK Dari Aksi Mitigasi	131
5.2.1. Sektor Energi	132
5.2.2. Sektor IPPU	136
5.2.3. Sektor Pertanian	137
5.2.4. Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya	141
5.2.5. Sektor Limbah	143
5.3. Profil Capaian Pengurangan Emisi GRK Nasional Terhadap Target <i>Nationally Determined Contribution (NDC)</i>	147
5.3.1. Capaian Pengurangan Emisi GRK Nasional	147
5.3.2. Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor	149
BAB VI RENCANA PERBAIKAN (<i>PLAN OF IMPROVEMENT</i>)	157
6.1. Rencana Perbaikan Laporan	157
6.1.1. Sektor Energi dan IPPU	157
6.1.2. Sektor Pertanian	158
6.1.3. Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya	159
6.1.4. Sektor Limbah	161

6.2. Rencana Pengembangan Kapasitas	162
BAB VII PENUTUP	165
DAFTAR PUSTAKA	167

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR 1.	MEKANISME MRV	10
GAMBAR 2.	TAHAPAN PENYELENGGARAAN SRN-PPI.....	11
GAMBAR 3.	SKEMA PROSES PENERBITAN SPE	12
GAMBAR 4.	KERANGKA TRANSPARANSI.....	13
GAMBAR 5.	KELEMBAGAAN INVENTARISASI GRK NASIONAL	18
GAMBAR 6.	MEKANISME PELAPORAN INVENTARISASI GRK	19
GAMBAR 7.	PROSEDUR PENYELENGGARAAN PENETAPAN METODOLOGI	47
GAMBAR 8.	PROFIL EMISI GRK NASIONAL TAHUN 2000 – 2021.....	59
GAMBAR 9.	PROFIL EMISI GRK NASIONAL TAHUN 2000 – 2021 (TANPA KEHUTANAN DAN KEBAKARAN GAMBUT).....	60
GAMBAR 10.	KONTRIBUSI EMISI GRK SEKTORAL TERHADAP EMISI GRK NASIONAL.....	61
GAMBAR 11.	KATEGORI UTAMA SUMBER EMISI GRK	62
GAMBAR 12.	SUMBER EMISI GRK DARI SEKTOR ENERGI.....	63
GAMBAR 13.	SUBKATEGORI SUMBER EMISI GRK DARI KATEGORI PEMBAKARAN BAHAN BAKAR.....	63
GAMBAR 14.	CAKUPAN SUMBER EMISI GRK DARI PEMBAKARAN BAHAN BAKAR DI INDUSTRI ENERGI	63
GAMBAR 15.	SUMBER EMISI GRK DARI PEMBAKARAN BAHAN BAKAR PADA INDUSTRI MANUFAKTUR.....	64
GAMBAR 16.	CAKUPAN SUMBER EMISI GRK DARI PEMBAKARAN BAHAN BAKAR TRANSPORTASI.....	64
GAMBAR 17.	CAKUPAN EMISI <i>FUGITIVE</i> DARI PRODUKSI BAHAN BAKAR.....	65
GAMBAR 18.	TINGKAT EMISI GRK SEKTOR ENERGI BERDASARKAN SUBKATEGORI SUMBER EMISI TAHUN 2000 – 2021.....	66
GAMBAR 19.	KECENDERUNGAN EMISI GRK SEKTOR ENERGI TAHUN 2000 – 2021	67
GAMBAR 20.	TINGKAT EMISI GRK SEKTOR ENERGI TAHUN 2021 BERDASARKAN JENIS GAS	67
GAMBAR 21.	PERKEMBANGAN EMISI PEMBAKARAN BAHAN BAKAR DAN EMISI <i>FUGITIVE</i> PERIODE TAHUN 2000 – 2021.....	67
GAMBAR 22.	EMISI GRK DARI PENDEKATAN REFERENSI BERDASARKAN JENIS BAHAN BAKAR TAHUN 2000 – 2021	70
GAMBAR 23.	PERSENTASE KONSUMSI BAHAN BAKAR NASIONAL TAHUN 2021.....	70
GAMBAR 24.	PERBANDINGAN PERHITUNGAN EMISI DENGAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN REFERENSI DAN PENDEKATAN SEKTORAL TAHUN 2000 – 2021.....	71
GAMBAR 25.	EMISI GRK SUBSEKTOR PEMBANGKITAN LISTRIK TAHUN 2000 – 2021	72
GAMBAR 26.	EMISI GRK SUBSEKTOR INDUSTRI MINYAK DAN GAS TAHUN 2000 – 2021.....	73
GAMBAR 27.	EMISI GRK SUBSEKTOR PENGOLAHAN BATUBARA TAHUN 2000 – 2021	73
GAMBAR 28.	EMISI GRK SUBSEKTOR INDUSTRI MANUFAKTUR TAHUN 2000 – 2021	74
GAMBAR 29.	EMISI GRK SUBSEKTOR TRANSPORTASI TAHUN 2000 – 2021	75
GAMBAR 30.	EMISI GRK SUBSEKTOR KOMERSIAL TAHUN 2000 – 2021.....	75
GAMBAR 31.	EMISI GRK SUBSEKTOR RUMAH TANGGA TAHUN 2000 – 2021	76
GAMBAR 32.	EMISI GRK SUBSEKTOR <i>NON-SPECIFIED</i> TAHUN 2000 – 2021.....	76
GAMBAR 33.	EMISI <i>FUGITIVES</i> TAHUN 2000 – 2021.....	77
GAMBAR 34.	SUMBER EMISI DARI SEKTOR IPPU.....	78
GAMBAR 35.	CAKUPAN SUMBER EMISI SEKTOR IPPU DARI INDUSTRI MINERAL	79
GAMBAR 36.	CAKUPAN SUMBER EMISI SEKTOR IPPU DARI INDUSTRI KIMIA	79
GAMBAR 37.	CAKUPAN SUMBER EMISI SEKTOR IPPU DARI PRODUKSI PETROKIMIA DAN <i>CARBON BLACK</i>	80

GAMBAR 38. CAKUPAN SUMBER EMISI SEKTOR IPPU DARI INDUSTRI LOGAM	80
GAMBAR 39. CAKUPAN SUMBER EMISI SEKTOR IPPU DARI PRODUK NON-ENERGI DAN PELARUT	80
GAMBAR 40. CAKUPAN EMISI GRK DARI KATEGORI INDUSTRI LAIN.....	81
GAMBAR 41. TINGKAT EMISI GRK SEKTOR IPPU TAHUN 2000 – 2021	84
GAMBAR 42. KONTRIBUSI EMISI GRK BERDASARKAN KATEGORI SEKTOR IPPU TAHUN 2021	85
GAMBAR 43. KATEGORI SUMBER EMISI DALAM IPCC <i>GUIDELINES</i> SEKTOR PERTANIAN.....	87
GAMBAR 44. CAKUPAN SUMBER EMISI GRK DARI SEKTOR PETERNAKAN.....	87
GAMBAR 45. CAKUPAN SUMBER EMISI GRK DARI FERMENTASI ENTERIK DAN PENGELOLAAN KOTORAN TERNAK BERDASARKAN JENIS TERNAK (CATATAN: DICORET BERARTI TIDAK DIHITUNG).....	88
GAMBAR 46. CAKUPAN SUMBER EMISI GRK DARI PENGELOLAAN KOTORAN TERNAK.....	89
GAMBAR 47. TREN EMISI SEKTOR PERTANIAN MENURUT KATEGORI TAHUN 2000 – 2021	97
GAMBAR 48. KONTRIBUSI KATEGORI SUMBER EMISI PADA SUBSEKTOR PETERNAKAN.....	99
GAMBAR 49. TREN/KECENDERUNGAN EMISI SUBSEKTOR PETERNAKAN TAHUN 2000 – 2021	100
GAMBAR 50. PERSENTASE GAS METAHANE DAARI FERMENTASI ENTERIK JENIS TERNAK TAHUN 2021.....	100
GAMBAR 51. PERSENTASI GAS <i>METHANE</i> DARI PENGELOLAAN KOTORAN JENIS TERNAK TAHUN 2021.....	101
GAMBAR 52. EMISI N_2O LANGSUNG DAN TIDAK LANGSUNG DARI PENGELOLAAN KOTORAN TERNAK.....	101
GAMBAR 53. EMISI DARI PEMBAKARAN BIOMASSA TAHUN 2000 – 2021.....	102
GAMBAR 54. EMISI DARI APLIKASI KAPUR PERTANIAN TAHUN 2000 – 2021.....	103
GAMBAR 55. EMISI DARI APLIKASI PUPUK UREA TAHUN 2000 – 2021	104
GAMBAR 56. EMISI N_2O DARI TANAH YANG DIKELOLA TAHUN 2000 – 2021.....	104
GAMBAR 57. EMISI GAS <i>METHANE</i> DARI BUDIDAYA PADI TAHUN 2000 – 2021.....	105
GAMBAR 58. KOMPOSISI JENIS GAS SEKTOR PERTANIAN TAHUN 2021.....	106
GAMBAR 59. TREN EMISI GAS CO_2 SEKTOR PERTANIAN TAHUN 2000 – 2021.....	106
GAMBAR 60. TREN EMISI GAS CH_4 SEKTOR PERTANIAN TAHUN 2000 – 2021.....	107
GAMBAR 61. TREN EMISI GAS N_2O SEKTOR PERTANIAN TAHUN 2000 – 2021.....	107
GAMBAR 62. CAKUPAN SUMBER EMISI GRK DARI SEKTOR KEHUTANAN DAN PENGGUNAAN LAHAN LAINNYA	109
GAMBAR 63. EMISI DARI SEKTOR KEHUTANAN DAN PENGGUNAAN LAINNYA TAHUN 2000 – 2021 (DENGAN <i>PEAT FIRE</i>).....	111
GAMBAR 64. EMISI DARI SEKTOR KEHUTANAN DAN PENGGUNAAN LAINNYA TAHUN 2000 – 2021 (TANPA <i>PEAT FIRE</i>)	112
GAMBAR 65. EMISI DARI KEBAKARAN GAMBUT 2000 – 2021.....	113
GAMBAR 66. EMISI KARBON DI ATAS PERMUKAAN TANAH DARI KEHUTANAN DAN PENGGUNAAN LAHAN LAINNYA 2000 – 2021.....	114
GAMBAR 67. EMISI DEKOMPOSISI GAMBUT 2000 – 2021.....	114
GAMBAR 68. NERACA SAMPAH PADAT DOMESTIK 2000 – 2021.....	120
GAMBAR 69. EMISI GRK DARI KEGIATAN PENGELOLAAN LIMBAH 2000 – 2021.....	125
GAMBAR 70. DISTRIBUSI EMISI SEKTOR LIMBAH TAHUN 2021	126
GAMBAR 71. CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI SEKTOR ENERGI TAHUN 2010 – 2021.....	135
GAMBAR 72. CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI SEKTOR IPPU TAHUN 2010 – 2021	136
GAMBAR 73. CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI KEMENTERIAN PERTANIAN TAHUN 2010 – 2021.....	139

GAMBAR 74. PENGURANGAN EMISI TOTAL SEKTOR PERTANIAN TAHUN 2020	141
GAMBAR 75. PROPORSI PENGURANGAN EMISI PADA PENGOLAHAN LIMBAH PADAT DOMESTIK	145
GAMBAR 76. PERBANDINGAN REDUKSI EMISI (RE) PENGOMPOSAN DAN LFG TAHUN 2020 – 2022	145
GAMBAR 77. PROPORSI PENGURANGAN EMISI PADA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR DOMESTIK.....	146
GAMBAR 78. PERBANDINGAN REDUKSI EMISI (RE) BIODIGESTER TAHUN 2020 - 2022.....	146
GAMBAR 79. PROPORSI PENGURANGAN EMISI PADA PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI	147
GAMBAR 80. PERBANDINGAN REDUKSI EMISI (RE) LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHUN 2020 - 2022.....	147
GAMBAR 81. PROFIL CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK NASIONAL (2010 – 2021) TERHADAP BAU, CM1 DAN CM2.....	149
GAMBAR 82. PERBANDINGAN HASIL INVENTARISASI GRK TERHADAP <i>BASELINE</i> EMISI GRK (BAU) SEKTOR KEHUTANAN	151
GAMBAR 83. <i>TREND</i> PERUBAHAN CAPAIAN DARI TAHUN SEBELUMNYA	152
GAMBAR 84. <i>TRACKING PROGRESS</i> NDC.....	152
GAMBAR 85. PERBANDINGAN HASIL INVENTARISASI GRK TERHADAP <i>BASELINE</i> EMISI GRK (BAU) SEKTOR LIMBAH.....	153

DAFTAR TABEL

TABEL 1.	NILAI GWP PADA <i>SECOND ASSESSMENT REPORT</i> (SAR) YANG DIGUNAKAN PADA PERHITUNGAN INVENTARISASI GRK	20
TABEL 2.	PENGLASIFIKASIAN KATEGORI ANTARA IPCC <i>GUIDELINES</i> 2006 DAN TABEL KESETIMBANGAN ENERGI.....	21
TABEL 3.	PEMBAGIAN KELAS UMUR, FAKTOR EMISI SERTA BOBOT TERNAK LOKAL	22
TABEL 4.	REVISI FAKTOR SKALA JENIS TANAH YANG BERBEDA DARI INDONESIA.....	29
TABEL 5.	FAKTOR SKALA YANG DISESUAIKAN DENGAN EKOSISTEM PADI DAN TATA AIR INDONESIA.....	29
TABEL 6.	FAKTOR SKALA UNTUK VARIETAS PADI YANG BERBEDA DI INDONESIA	30
TABEL 7.	PENYESUAIAN KATEGORI TUTUPAN LAHAN KLHK DENGAN KELAS PENGGUNAAN LAHAN IPCC.....	33
TABEL 8.	RERATA PERTUMBUHAN TAHUNAN PADA BERBAGAI KATEGORI PENGGUNAAN LAHAN	34
TABEL 9.	KARBON STOK DARI BIOMASSA DI ATAS PERMUKAAN (AGB) UNTUK BERBAGAI TIPE PENUTUPAN LAHAN.....	35
TABEL 10.	FAKTOR EMISI UNTUK DEKOMPOSISI GAMBUT DARI BERBAGAI PENUTUPAN LAHAN	37
TABEL 11.	KELOMPOK AKSI MITIGASI SEKTOR ENERGI DAN SUMBER DATA.....	48
TABEL 12.	EMISI GRK NASIONAL TAHUN 2000 – 2021	60
TABEL 13.	EMISI GRK DARI KEGIATAN ENERGI TAHUN 2000 – 2021.....	68
TABEL 14.	PERHITUNGAN EMISI GRK SEKTOR ENERGI MENGGUNAKAN METODE <i>REFERENCE</i> DAN <i>SECTORAL APPROACH</i> , GG CO ₂ -EMISI GRK DARI KEGIATAN ENERGI TAHUN 2021.....	71
TABEL 15.	SUMBER EMISI KUNCI SEKTOR ENERGI TAHUN 2021	77
TABEL 16.	EMISI GRK DARI SEKTOR IPPU TAHUN 2000 – 2021	82
TABEL 17.	EMISI GRK PER SUBKATEGORI SEKTOR IPPU TAHUN 2021.....	83
TABEL 18.	SUMBER EMISI KUNCI SEKTOR IPPU TAHUN 2021.....	85
TABEL 19.	POPULASI TERNAK NASIONAL TAHUN 2000 – 2021.....	91
TABEL 20.	DATA DAN SUMBER DATA PERHITUNGAN EMISI AGREGAT DAN SUMBER EMISI NON-CO ₂ TAHUN 2021.....	92
TABEL 21.	DATA KONSUMSI PUPUK NASIONAL TAHUN 2000 – 2021	93
TABEL 22.	DATA LUAS SAWAH NASIONAL TAHUN 2000 – 2021.....	93
TABEL 23.	DATA LUAS TANAMAN PANGAN NASIONAL TAHUN 2000 – 2021.....	95
TABEL 24.	DATA LUAS AREAL PERKEBUNAN NASIONAL TAHUN 2000 – 2021.....	96
TABEL 25.	REKAPITULASI EMISI SEKTOR PERTANIAN TAHUN 2000 – 2010 (GG CO ₂ E).....	98
TABEL 26.	REKAPITULASI EMISI SEKTOR PERTANIAN TAHUN 2011 – 2021 (GG CO ₂ E)	98
TABEL 27.	ANALISIS KATEGORI KUNCI SEKTOR PERTANIAN TAHUN 2021.....	108
TABEL 28.	EMISI <i>BIOMASS BURNING</i> GAS NON-CO ₂	113
TABEL 29.	EMISI DARI SEKTOR KEHUTANAN DAN PENGGUNAAN LAINNYA TAHUN 2000 – 2010 (GG CO ₂ E)	116
TABEL 30.	EMISI DARI SEKTOR KEHUTANAN DAN PENGGUNAAN LAINNYA TAHUN 2000 – 2010 (GG CO ₂ E)	117
TABEL 31.	ANALISIS KATEGORI KUNCI SEKTOR KEHUTANAN DAN PENGGUNAAN LAHAN LAINNYA.....	118
TABEL 32.	KOMPOSISI SAMPAH DI TPA.....	120
TABEL 33.	<i>DRY MATTER CONTENT</i> SAMPAH DI TPA.....	121
TABEL 34.	PARAMETER DAN FAKTOR EMISI LIMBAH CAIR DOMESTIK	122

TABEL 35. PARAMETER FRAKSI POPULASI DAN DERAJAT PENGGUNAAN PADA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR DOMESTIK.....	123
TABEL 36. EMISI GRK DARI SEKTOR LIMBAH TAHUN 2000 – 2021.....	125
TABEL 37. <i>COMMON REPORTING FORMAT OF THE GHG EMISSIONS FROM WASTE CATEGORY IN 2021</i>	126
TABEL 38. ANALISIS KATEGORI KUNCI SEKTOR LIMBAH TAHUN 2020.....	127
TABEL 39. CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK NASIONAL DARI AKSI MITIGASI TAHUN 2020 – 2021.....	131
TABEL 40. CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK SEKTOR ENERGI TAHUN 2021.....	132
TABEL 41. CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK SEKTOR ENERGI TAHUN 2021.....	133
TABEL 42. CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK SUBSEKTOR ENERGI DI INDUSTRI TAHUN 2021.....	134
TABEL 43. CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK SUBSEKTOR ENERGI DI TRANSPORTASI TAHUN 2021.....	134
TABEL 44. CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI SEKTOR IPPU TAHUN 2021	136
TABEL 45. DATA AKTIVITAS SEKTOR PERTANIAN TAHUN 2010 – 2021.....	138
TABEL 46. CAPAIAN PENGURANGAN EMISI AKSI MITIGASI TERVERIFIKASI KEMENTERIAN PERTANIAN TAHUN 2010 – 2021.....	140
TABEL 47. CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK SEKTOR KEHUTANAN TAHUN 2021.....	142
TABEL 48. CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK DAN/ATAU PENINGKATAN SERAPAN GRK TERVERIFIKASI SEKTOR KEHUTANAN TAHUN 2021.....	143
TABEL 49. CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI SEKTOR LIMBAH TAHUN 2021.....	144
TABEL 50. PROFIL CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK NASIONAL TERHADAP TARGET PENGURANGAN EMISI GRK PADA CM1 DI TAHUN 2010 – 2021.....	148
TABEL 51. TARGET <i>NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTION</i> (NDC) TAHUN 2020.....	149
TABEL 52. CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK SEKTORAL TERHADAP TARGET CM1 DI TAHUN 2021.....	150
TABEL 53. KONTRIBUSI SEKTOR PERTANIAN TERHADAP NDC TAHUN 2010 – 2021.....	151





BAB I PENDAHULUAN

BAB I PENDAHULUAN

Konvensi Kerangka Kerja Perubahan Iklim Perserikatan Bangsa-Bangsa (UNFCCC) yang dirundingkan pada KTT Bumi di Rio de Janeiro tanggal 3 – 14 Juni 1992 mengamanatkan penyelenggaraan inventarisasi gas rumah kaca nasional yang berisikan emisi dan pengurangan gas rumah kaca (GRK) oleh setiap negara penandatangan konvensi. Pada awalnya Inventarisasi GRK tersebut akan digunakan untuk menentukan tingkat suhu yang diperlukan agar negara-negara *Annex I* Protokol Kyoto bisa bergabung dan berkomitmen mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK). Inventarisasi GRK harus selalu dimutakhirkan secara rutin oleh negara-negara *Annex I*. Untuk negara-negara *Non-Annex I* pelaporannya melalui *National Communication* (NatCom) dan *Biennial Update Report* (BUR). NatCom wajib dilaporkan 3 (tiga) tahun setelah ratifikasi UNFCCC Rio de Janeiro dan setelahnya setiap 4 (empat) tahun sekali, sedangkan BUR wajib dilaporkan 2 (dua) tahun sekali.

Indonesia hingga saat ini telah menyampaikan laporan NatCom yang ke-3 pada tahun 2018 dan 3rd BUR tahun 2021. Selanjutnya sebagai mandat dari Pasal 13 *Paris Agreement* dalam kerangka transparansi yang ditingkatkan, maka laporan BUR akan menjadi *Biennial Transparency Report* (BTR), yang mana tidak ada perbedaan format pelaporan antara negara-negara *Annex I* dan *Non-Annex I*.

Hal ini merupakan kelanjutan dari *Paris Agreement to the United Nation Framework Convention on Climate Change*, sebuah kesepakatan iklim global yang disepakati pada COP 21 UNFCCC di Paris tahun 2015. *Paris Agreement* merupakan komitmen bersama negara-negara di dunia untuk menahan laju peningkatan suhu rata-rata global dibawah 2°C dan melanjutkan upaya untuk menekan kenaikan suhu rata-rata global ke 1,5°C di atas tingkat pra-industrialisasi. Sebagai wujud komitmen Indonesia untuk berperan penting dalam upaya pengendalian perubahan iklim, Indonesia meratifikasi *Paris Agreement* melalui Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016.

COP 26 UNFCCC di Glasgow, menghasilkan kesepakatan yang diberi nama *The Glasgow Climate Pact* sebagai kesepakatan iklim pertama yang secara eksplisit berencana untuk mengurangi deforestasi, penggunaan batu bara serta target pengurangan emisi *methane*. Kesepakatan itu juga mendesak pengurangan emisi serta penggunaan emisi terbarukan dan menjanjikan lebih banyak bantuan finansial untuk negara-negara berkembang untuk membantu beradaptasi dengan dampak iklim. COP 27 Sharm-el-Sheikh mengusung tema “*Together for Implementation*”, dan dengan maksud untuk memperbarui dan memperluas kesepakatan yang dicapai *Paris Agreement* yang bersejarah.

Untuk mencapai target tersebut, Indonesia telah menetapkan kontribusi target pengurangan emisi Gas Rumah Kaca (GRK), yang disebut dengan *Nationally Determined Contribution* (NDC). NDC Indonesia mencakup aspek aksi mitigasi, aksi adaptasi dan dukungan sumber daya (pendanaan, peningkatan kemampuan dan alih teknologi perubahan iklim). Pada *Updated NDC* 2021, Indonesia tetap mengacu pada target untuk mengurangi emisi sebesar 29% dengan upaya sendiri sampai dengan 41% dengan dukungan kerja sama internasional dari kondisi tanpa ada aksi (*business as usual*) pada tahun 2030. Target pada *Updated NDC* tersebut kemudian ditingkatkan dengan *Enhanced NDC* yang disampaikan pada UNFCCC pada bulan September 2022. Pada *Enhanced NDC* terdapat peningkatan target untuk mengurangi emisi sebesar 32% dengan upaya sendiri sampai dengan 43% dengan dukungan kerja sama internasional dari kondisi tanpa ada aksi (*business as usual*) pada tahun 2030.

Untuk memantau perkembangan strategi dan kebijakan pengendalian perubahan iklim serta mengukur capaian target NDC tersebut, Pemerintah Indonesia telah menetapkan 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. Peraturan Presiden tersebut memberikan mandat kepada Menteri yang menangani bidang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, dalam hal ini Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (LHK) untuk menetapkan pedoman penyelenggaraan inventarisasi GRK, mengkoordinasikan penyelenggaraan inventarisasi GRK dan melaksanakan monitoring dan evaluasi terhadap proses dan hasil inventarisasi GRK. Hingga saat ini, aturan-aturan pelengkap Peraturan Presiden tersebut tengah dalam proses penyelesaian.

Sebagai bentuk asas keberlanjutan, Penyelenggaraan Inventarisasi GRK, saat ini 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. Dimana, Inventarisasi GRK adalah kegiatan untuk memperoleh data dan informasi mengenai tingkat, status, dan kecenderungan perubahan emisi GRK secara berkala dari berbagai sumber emisi (*source*) dan penyerapannya (*sink*) termasuk simpanan karbon (*carbon stock*) serta bertujuan untuk memberikan informasi secara berkala mengenai tingkat, status dan kecenderungan perubahan emisi dan serapan GRK di tingkat nasional, provinsi, dan kabupaten/kota, serta informasi pencapaian pengurangan emisi GRK dari kegiatan mitigasi perubahan iklim.

Dalam pelaksanaannya, sesuai dengan Peraturan Presiden Nomor 92 Tahun 2020 tentang Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, memberikan arahan bahwa salah satu tugas pokok dan fungsi Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim adalah pada 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.

Metodologi penyelenggaraan inventarisasi GRK dan MPV mengacu pada pedoman yang ditetapkan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Indonesia menggunakan *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – 2006* termasuk *supplements and refinements* panduan tersebut. Secara nasional, panduan tersebut juga telah diadopsi kedalam Peraturan Menteri LHK Nomor 73 Tahun 2017 tentang Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi GRK Nasional yang saat ini sedang dalam proses revisi sebagai mandat dari Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021, yang mengatur tentang tata cara penyelenggaraan IGRK, pengaturan kelembagaan, kategori sumber emisi, mekanisme perolehan dan pemutakhiran data, proses analisis, serta tata cara pelaporan.

Sesuai dengan model Pengaturan Kelembagaan dalam penyelenggaraan IGRK dan MPV, maka Inventarisasi GRK dilakukan pada lima sektor (energi, proses industri dan penggunaan produk, pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan, serta pengelolaan limbah). Hal ini telah dilakukan bersama secara berkala setiap tahun, sehingga menghasilkan laporan nasional IGRK dan MPV. Laporan tersebut memuat data dan informasi terkait inventori emisi GRK (termasuk tingkat, status, dan kecenderungan emisi) serta capaian pengurangan emisi dari aksi mitigasi. Penyusunan laporan tersebut menganut prinsip TACCC (transparan, akurat, konsisten, komplit dan komparabel) dengan melibatkan Kementerian/Lembaga terkait (Kementerian LHK, Kementerian ESDM, Kementerian Perhubungan, Kementerian Perindustrian, Kementerian PUPR, Kementerian Pertanian, Biro Pusat Statistik), tim pakar dari akademisi dan Lembaga Penelitian, serta Pemerintah Daerah. Disamping itu juga dilakukan proses pengendalian dan penjaminan mutu (*Quality Control and Quality Assurance*) antara lain 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 Inventarisasi GRK dan MPV karena laporan ini selanjutnya menjadi dasar dan bahan untuk penyusunan laporan ke

tingkat internasional (UNFCCC) baik berupa *National Communication* dan *Biennial Updated Report*, Indonesia melakukan submisi *3rd Biennial Updated Report* pada akhir tahun 2021. Disamping itu adanya perkembangan untuk mendorong peningkatan akurasi dan transparansi melalui skema *Enhanced Transparency Framework* yang merupakan salah satu keputusan dalam COP 26 UNFCCC, dalam persiapan dan antisipasi pelaksanaan *Global Stocktake* dan *Biennial Transparency Report (2024)*.

Untuk periode pelaporan tahun 2022, laporan inventarisasi dan pengurangan emisi GRK masih menggunakan sumber data satu tahun sebelumnya (T-1). Pengaturan kelembagaan dan kompleksitas penyediaan data perlu mendapatkan perhatian penuh, sehingga pada tahun-tahun mendatang pelaporan inventarisasi GRK dapat dilakukan pada tahun yang sama dengan tahun data. Hal ini menjadi amanah dari Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 dan menjadi kebutuhan bersama bahwa laporan hasil inventarisasi GRK diharapkan dapat digunakan untuk merancang aksi mitigasi dan adaptasi dengan lebih cepat, tepat, dan berkelanjutan.

Tingkat emisi aktual GRK di tahun 2022 (data tahun 2021) adalah sebesar **1.141 Juta ton CO₂e**, dan ini menunjukkan adanya pengurangan emisi dari *baseline*/BAU sebesar **890 Juta ton CO₂e atau 43,8%**. Emisi GRK di semua sektor menunjukkan adanya kenaikan dibanding tahun sebelumnya. Proses rekalkulasi pada pelaporan tahun ini tidak dilakukan. Proses rekalkulasi akan dilakukan pada tahun pelaporan BUR/BTR, hal ini untuk mejamin konsistensi dalam pelaporan. Disamping 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 dan verifikasi.

Laporan ini disusun dan di harapkan dapat dipergunakan sebagai media dan sumber informasi tentang hasil inventarisasi (tingkat level dan tren emisi), capaian pengurangan emisi GRK, serta monitoring dan evaluasi progres implementasi NDC (*tracking progress NDC*) menuju pencapaian komitmen target pengurangan emisi di tingkat nasional maupun global.



BAB II KERANGKA TRANSPARANSI



BAB II KERANGKA TRANSPARANSI

Paris Agreement telah menyepakati untuk mengembangkan 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.

2.1. *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)** merujuk pada pengumpulan data dan informasi pada emisi dan aksi mitigasi. Kegiatan ini berpotensi memerlukan pengukuran emisi GRK secara fisis, mengestimasi faktor emisi, mengukur perubahan yang terjadi akibat suatu pengembangan yang berkelanjutan (*sustainable development*), dan mengumpulkan informasi terkait bantuan yang ada untuk kegiatan mitigasi perubahan iklim.
Pengukuran/pemantauan dilakukan dalam periode waktu tertentu dalam batasan suatu aksi mitigasi, termasuk pengembangan dokumen Laporan Capaian Aksi Mitigasi.
- b. **Pelaporan (R)** dilakukan dengan menyampaikan data dan informasi yang telah terkumpul dalam bentuk suatu inventori maupun laporan terstandarisasi lainnya sehingga mudah diakses sejumlah pengguna dan memungkinkan transparansi informasi ke khalayak publik. Pelaporan dilakukan dengan menyampaikan kegiatan melalui penyusunan Dokumen Rancangan Aksi Mitigasi (DRAM) dan Laporan Capaian Aksi Mitigasi (LCAM) melalui *platform* Sistem Registri Nasional (SRN).

- c. **Verifikasi (V)** dilakukan dengan melakukan *assessment* secara independen terhadap data yang dilaporkan untuk mengkonfirmasi bahwa data tersebut akurat dan lengkap. Verifikasi juga dilakukan untuk memastikan tingkat akurasi dan kebenaran dari prosedur/sistem MRV yang dikembangkan dan memberikan *feedback* untuk pengembangan sistemnya.

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 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 sistem manajerial	- Validasi dan verifikasi terhadap pelaporan hasil pengukuran dan pemantauan pelaksanaan Aksi Mitigasi Perubahan Iklim, Aksi Adaptasi Perubahan Iklim, dan NEK <u>dilaporkan dan dicatatkan ke dalam SRN PPI</u> - 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.		
AKSI 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 1. Mekanisme MRV

2.2. 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).

SRN-PPI dikembangkan oleh pemerintah Indonesia untuk dapat berperan sebagai:

- Wadah pengolahan data dan informasi aksi dan sumber daya mitigasi dan adaptasi perubahan iklim di Indonesia;
- Alat penilai perkembangan (progress tracking) dari kegiatan mitigasi dan adaptasi perubahan iklim yang telah terlaksana dengan berbagai dukungan sumber daya.

Dalam perkembangannya semenjak keluarnya Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon Untuk Pencapaian Target NDC dan Pengendalian Emisi Karbon dalam Pembangunan Nasional, SRN-PPI sebagai wadah pendataan Aksi Mitigasi Perubahan Iklim, Aksi Adaptasi Perubahan Iklim, Nilai Ekonomi Karbon (NEK), dan sumberdaya perubahan iklim berfungsi sebagai:

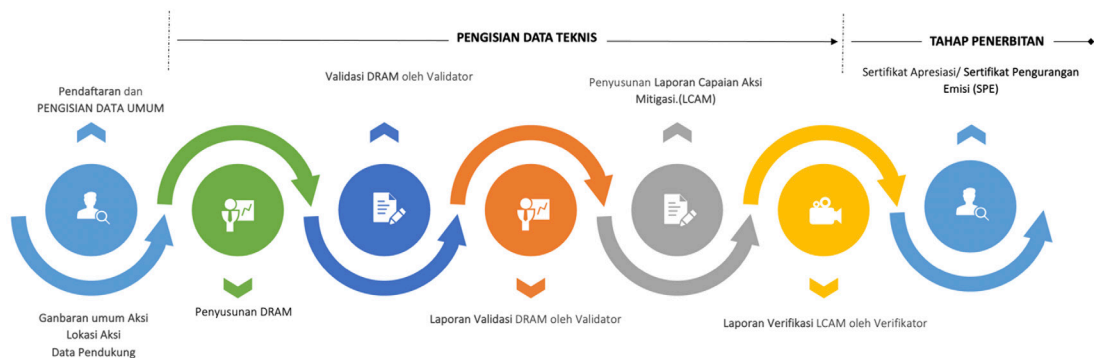
- Dasar pengakuan pemerintah atas kontribusi penerapan NEK dalam pencapaian target NDC;
- Data dan informasi aksi dan sumber daya mitigasi penerapan NEK;

- c. Upaya menghindari penghitungan ganda Aksi Mitigasi;
- d. Bahan penelusuran pengalihan;
- e. Bahan pertimbangan kebijakan operasional lebih lanjut sesuai kebutuhan.

SRN-PPI didesain untuk dapat menghimpun seluruh laporan dari pelaksanaan berbagai jenis aksi yang dilakukan dan sumber daya yang digunakan oleh para pemangku kepentingan terkait. Jenis aksi yang dapat dilaporkan atau didaftarkan dalam SRNPPI mencakup:

- a. Aksi mitigasi;
- b. Aksi adaptasi;
- c. NEK;
- d. Aksi *joint adaptation and mitigation* (JAM);
- e. Kegiatan terkait lainnya.

Adapun tahapan penyelenggaraan SRN-PPI dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan Penyelenggaraan SRN-PPI

2.3. Sertifikasi Pengurangan Emisi GRK (SPE)

Pengertian SPE menurut Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 Pasal 1 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 *registry*.

Penyelenggaraan penerbitan dan penggunaan Sertifikat Pengurangan Emisi Indonesia (selanjutnya disebut sebagai “Mekanisme SPE”) disusun dengan berdasarkan dan/atau menerapkan prinsip-prinsip yang terdapat dalam:

- a. Peraturan Presiden Nomor 98 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target NDC dan Pengendalian Emisi Karbon dalam Pembangunan Nasional.
- b. SNI ISO 14064:2009 tentang Gas Rumah Kaca - Bagian 2: *Spesifikasi dengan panduan pada level proyek untuk kuantifikasi, pengawasan dan pelaporan dari pengurangan emisi atau pertukaran gas rumah kaca.*

Proses penerbitan SPE dimulai dengan Penanggungjawab/Pelaksana Aksi membuat perencanaan dan menyusun Dokumen Rancangan Aksi Mitigasi (DRAM) disusun sesuai format yang telah ditetapkan. Rancangan aksi kemudian divalidasi oleh entitas yang berwenang dan menjadi dasar penetapan kelayakannya untuk didaftarkan sebagai aksi mitigasi dalam Mekanisme SPE. Aksi yang telah terdaftar kemudian melakukan pemantauan dan diverifikasi jumlah pengurangan emisi GRK-nya untuk kemudian diterbitkan sejumlah SPE atas nama aksi mitigasi tersebut.

Satu unit SPE mewakili pengurangan jumlah GRK yang dilepaskan atau peningkatan penyerapan GRK setara satu ton karbondioksida. Berikut pada Gambar 3 adalah skema proses penerbitan SPE dimulai dari perancangan aksi mitigasi.



Gambar 3. Skema Proses Penerbitan SPE

Persyaratan dasar dalam penerbitan SPE adalah sebagai berikut:

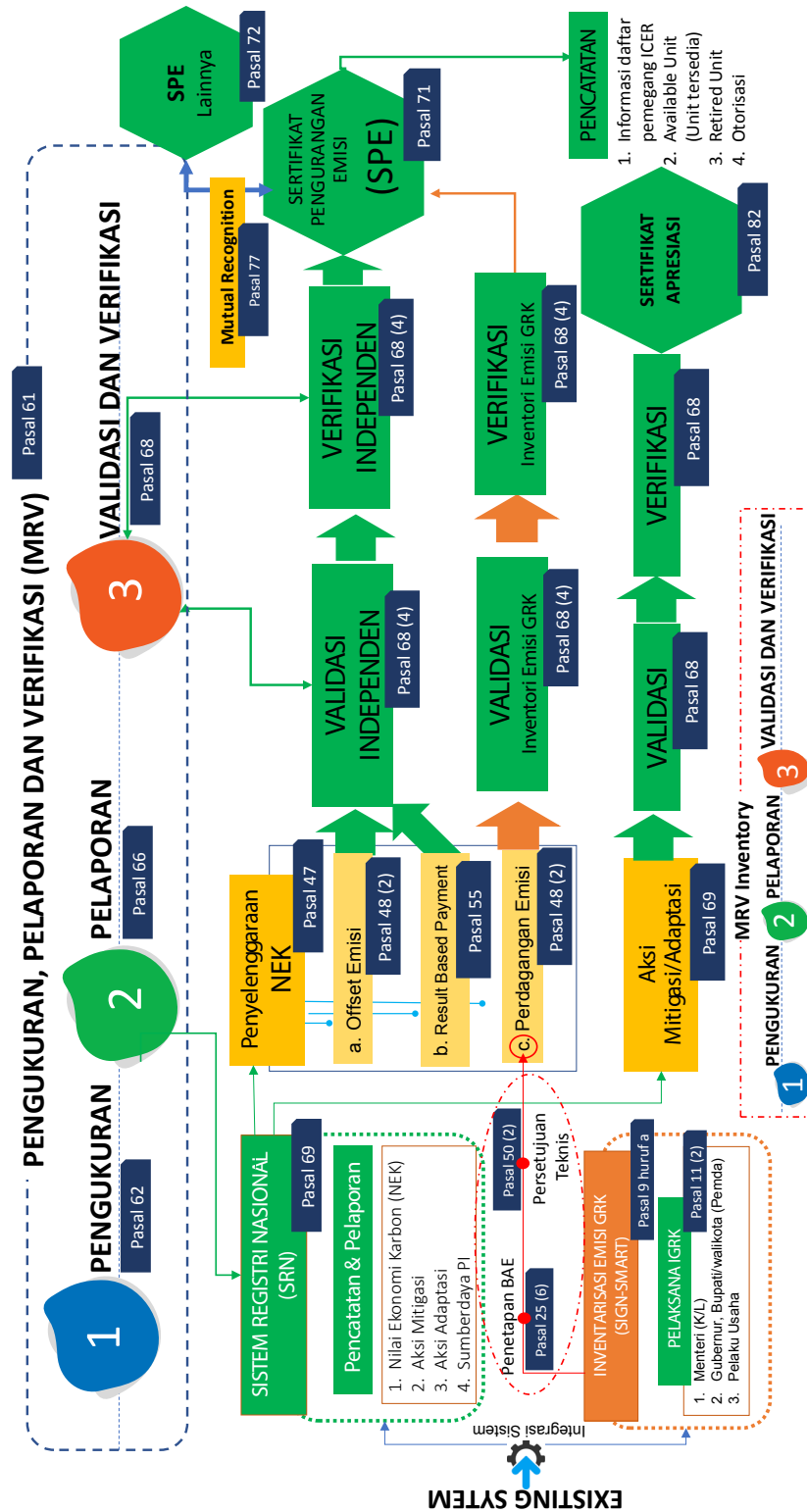
- Pengurangan emisi harus nyata, bersifat tetap (permanen), dapat diukur, dimonitor dan dilaporkan.
- Aksi mitigasi bukanlah praktek *business as usual*.
- Pengurangan emisi yang dihasilkan tidak dapat didaftarkan sebagai kredit karbon dalam skema yang lain. Penyelenggara penerbitan dan penggunaan SPE akan mengoperasikan sistem pencatatan (*registry*) untuk mencatat penerbitan dan kepemilikan SPE dan memastikan bahwa pengurangan emisi yang disertifikasi dalam skema ini tidak dihitung berganda (*double counted*) sebagai pengurangan emisi dalam skema lain.

Kegunaan SPE menurut pasal 73 Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 antara lain untuk:

- Mengikuti Perdagangan Karbon dan Pembayaran Berbasis Kinerja kewajiban terkait pencapaian target NDC Indonesia;
- Menjadi dasar dalam perhitungan Pungutan Atas Karbon;
- Menjadi dasar dalam pengajuan akses pembiayaan ramah lingkungan.

Selain SPE, juga dikembangkan pemberian penghargaan berupa Sertifikat Apresiasi yang berfungsi sebagai dasar pengakuan pemerintah atas kontribusi penerapan aksi mitigasi yang dilakukan oleh para proponent.

Keterkaitan antara MRV, SRN dan SPE sebagaimana terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kerangka Transparansi



BAB III METODOLOGI



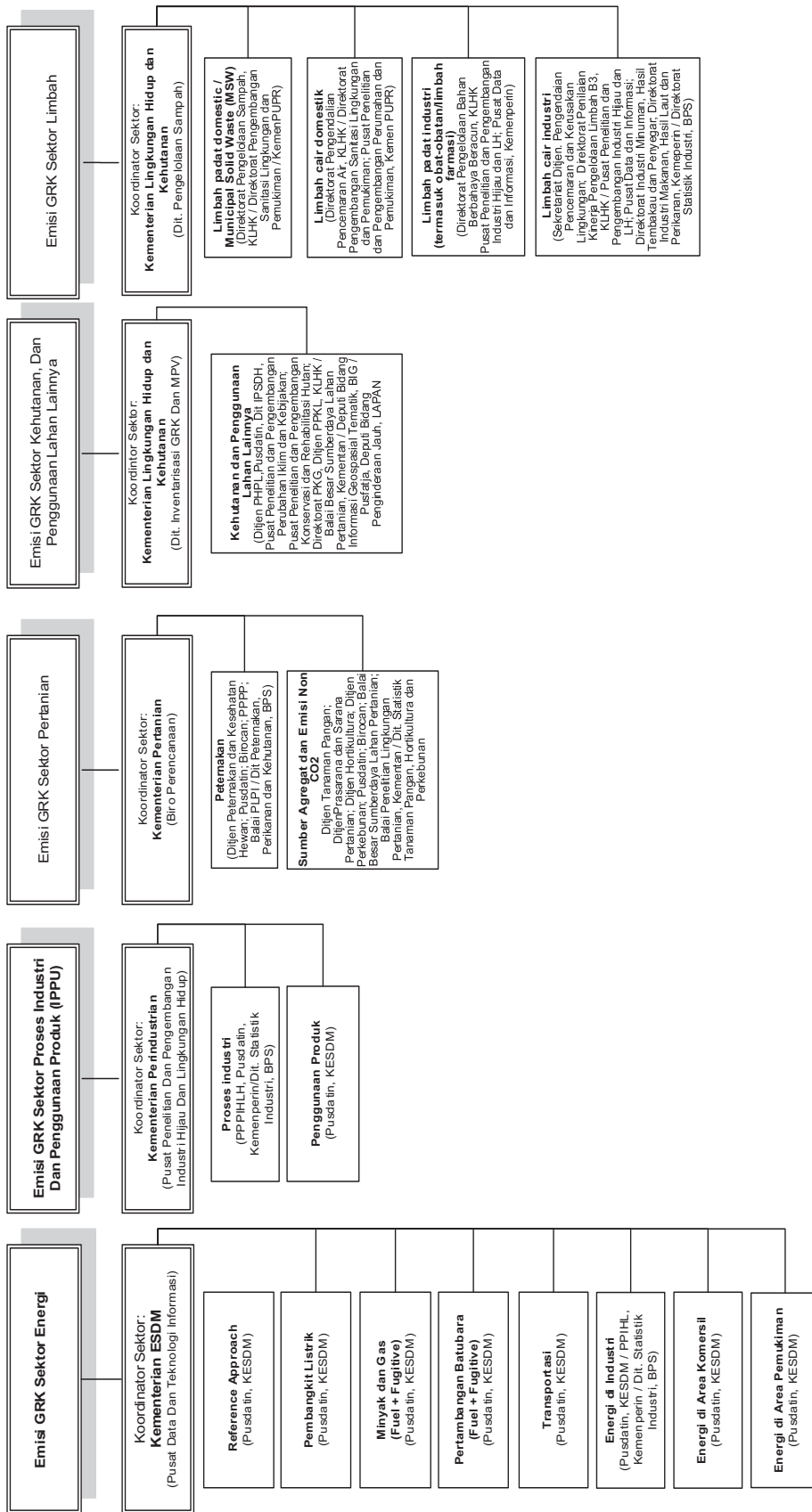
BAB III METODOLOGI

3.1. Metodologi Inventarisasi GRK

3.1.1. Kelembagaan Inventarisasi GRK

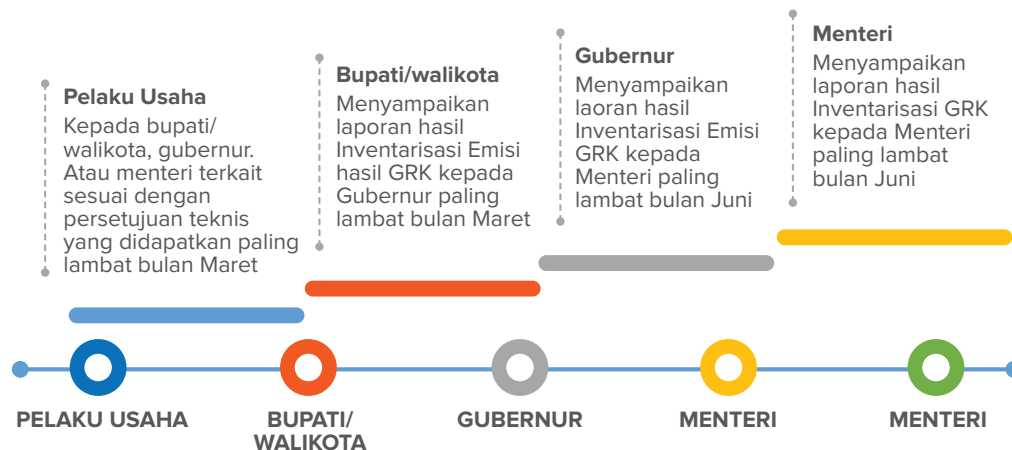
Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca mengacu pada Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional, yang secara garis besar mengatur 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.
- Guna melaksanakan tahapan inventarisasi GRK disusun pedoman umum dan pedoman teknis. Salah satu hal yang dibahas dalam pedoman umum adalah kelembagaan inventarisasi GRK.
- Kelembagaan ini berkaitan erat dengan proses penjaminan dan pengendalian mutu (*Quality Assurance* dan *Quality Control*) (QA/QC) penyelenggaraan inventarisasi GRK yang juga telah diatur dalam Peraturan Direktur Jenderal PPI Nomor P.10 Tahun 2018 tentang Pedoman Penjaminan dan Pengendalian Mutu (QA/QC) Inventarisasi Gas Rumah Kaca Indonesia.



Gambar 5. Kelembagaan Inventarisasi GRK Nasional

Dalam penyusunan pelaporan inventarisasi GRK, pengembangan inventarisasi GRK nasional dilakukan dengan melibatkan peran pemerintah daerah dan pelaku usaha. Hal ini diperkuat sebagaimana mandat yang ada di dalam Pasal 12 Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 terkait dengan pelaporan setiap tahun melalui aplikasi berbasis *web* dalam laman <http://signsmart.menlhk.go.id/>. Mekanisme pelaporan inventarisasi GRK sebagaimana pada Gambar 6.



Gambar 6. Mekanisme Pelaporan Inventarisasi GRK

3.1.2. Metodologi Perhitungan Inventarisasi GRK

A. 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:

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 dan 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 modeling dan sampling), dengan pendekatan modeling 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 – 2019 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 1.

Tabel 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

Adapun metodologi perhitungan emisi GRK pada masing-masing sektor diuraikan pada paragraf berikut.

B. Metodologi Sektor

1. Sektor Energi

Tingkat emisi GRK yang tercantum dalam inventarisasi sektor energi dihitung menggunakan *Tier-1* dan *Tier-2* 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 2.

Tabel 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.

2. Sektor IPPU

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

Pengembangan menuju Tier-2 sudah dilakukan untuk industri semen, ammonia dan 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*.

3. Sektor Pertanian

Perhitungan emisi GRK sektor pertanian yang disajikan dalam laporan ini dihasilkan dengan menggunakan aplikasi SIGN SMART (<http://signsmart.menlhk.go.id>). SIGN SMART adalah Sistem Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional yang dibangun dan dikembangkan oleh Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim. Adapun rincian metodologi untuk masing-masing kategori adalah sebagai berikut:

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. 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:

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

Di mana:

Emisi = Emisi metana dari fermentasi enterik, $Gg\ CH_4/yr-1$

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

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

T = Jenis/kategori ternak

Tabel 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	20,72	18,1839	0,7822	63
	Lepas Sapih (1-2 th)	Betina + Jantan	25,42	27,1782	1,6202	134,48
	Muda (2-4 th)	Betina + Jantan	15,55	41,7733	3,4661	286
	Dewasa (> 4 th)	Betina + Jantan	26,06	55,8969	3,6352	400
	Impor	Betina + Jantan	12,25	25,4879	7,9662	500

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 Perah	Anakan (0-1 th)	Betina Jantan +	20,31	16,5508	0,5167	46
	Lepas Sapih (1-2 th)	Betina Jantan +	17,83	35,0553	2,5152	198,64
	Muda (2-4 th)	Betina Jantan +	21,57	51,9609	5,5262	275
	Dewasa (>4 th)	Betina Jantan +	40,29	77,1446	12,181	402,5
Kerbau	Anakan (0-1 th)	Betina Jantan +	17,67	20,5531	0,7476	100
	Lepas Sapih (1-2 th)	Betina Jantan +	21,36	41,1063	3,9864	200
	Muda (2-4 th)	Betina Jantan +	13,73	61,6594	8,9695	300
	Dewasa (> 4 th)	Betina Jantan +	47,24	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 +	32,3	0,4331	0,0013	15
	Lepas Sapih	Betina Jantan +	32,74	1,0291	0,0075	60
	Dewasa	Betina Jantan +	34,96	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

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)
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*).

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

$$N_2O_{D(mm)} = \left[\sum_S \left[\sum_T (N_{(T)} * Nex_{(T)} * MS_{T,S} *) \right] * EF_{3(S)} \right] * \frac{44}{28}$$

Di mana:

- N₂O_{D(mm)} = Emisi langsung N₂O dari pengelolaan kotoran ternak, *kg N₂O yr-1*
 N(T) = Jumlah populasi jenis/kategori ternak tertentu, *jumlah ternak*
 Nex(T) = Rata-rata tahunan ekskresi N per ekor jenis/kategori ternak, *kg N ternak-1 yr-1*
 MS (T.S) = Fraksi dari total ekskresi nitrogen tahunan dari jenis ternak tertentu yang dikelola pada sistem pengelolaan kotoran ternak
 EF_{3(S)} = Faktor emisi langsung N₂O dari sistem pengelolaan kotoran tertentu S, *kgN₂O-N/kgN*
 S = Sistem pengelolaan kotoran ternak
 T = Jenis/kategori ternak
 44/28 = Konversi emisi (N₂O)-N (mm) kedalam bentuk N₂O (mm)

Emisi tidak langsung N_2O dari penguapan N dalam bentuk Ammonia (NH_3) dan NOx ($N_2O_{G(mm)}$) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$N_2O_{G(mm)} = (N_{volatilisation-MMS} * EF_4) * \frac{44}{28}$$

Di mana:

- $N_2O_{G(mm)}$ = Emisi tidak langsung N_2O akibat dari penguapan N dari pengelolaan kotoran ternak, $kg N_2O yr^{-1}$
- $N_{volatilization-MMS}$ = Jumlah kotoran ternak yang hilang akibat volatilisasi NH_3 dan NO_x , $kg N yr^{-1}$
- EF = Faktor emisi N_2O dari deposisi atmosfer nitrogen di tanah dan permukaan air, $kg N_2O-N$ ($kg NH_3-N + NOx-N$ tervolatilisasi)⁻¹; default value IPCC adalah $0.01 kg N_2O-N$ ($kg NH_3-N + NOx-N$ tervolatilisasi)⁻¹

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

Emisi GRK dari sumber agregat dan sumber emisi Non- CO_2 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 Non- CO_2 dari biomassa yang dibakar dibedakan dari pembakaran biomassa pada lahan pertanian (*cropland*) dan pembakaran biomassa dari padang rumput (*grass land*) serta perhitungannya dilakukan terpisah dengan menggunakan nilai faktor emisi default dari IPCC *Guidelines* 2006 (*Tier-1*). Persamaan untuk menghitung emisi Non- CO_2 dari biomassa, baik untuk lahan pertanian (*cropland*) maupun padang rumput (*grass land*) yang dibakar adalah:

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

Di mana:

- L_{fire} = Jumlah emisi GRK dari pembakaran, $ton CH_4, N_2O, CO$ dan NOx
- A = Luas area yang dibakar (Ha)
- M_B = Massa bahan yang tersedia untuk pembakaran, ton/Ha . (termasuk biomassa, serasah, dan kayu mati)
- C_f = Faktor pembakaran
- G_{ef} = Faktor emisi, g/kg bahan kering yang dibakar

Emisi dari aplikasi kapur pertanian dihitung dengan metodologi *Tier-1* dengan data aktivitas berupa konsumsi penggunaan kapur untuk pertanian. Kapur pertanian (dolomit) umumnya digunakan pada perkebunan kelapa sawit, lahan kering masam dan tanah gambut. Data konsumsi kapur diduga dari luas areal tanam dan dosis rekomendasi yang digunakan karena data konsumsi kapur tidak tersedia. Dosis dolomit yang umum digunakan pada tanah sulfat masam adalah 2 ton/Ha dan pada tanah gambut 0,5 ton/Ha, yang biasanya diberikan 2 (dua) kali setahun pada musim hujan dan musim kemarau. Petani lahan kering pada tanah masam umumnya tidak menggunakan kapur dalam budidaya tanaman karena kapur sangat sulit didapatkan, sehingga diasumsikan hanya digunakan pada perkebunan besar saja.

Emisi CO₂ dari penambahan kapur karbonat ke dalam tanah dapat diperkirakan dengan persamaan berikut:

$$\text{CO}_2\text{-Emission} = [(M_{\text{Limestones}} * \text{EF}_{\text{Limestones}}) + (M_{\text{Dolomites}} * \text{EF}_{\text{Dolomites}})]$$

Di mana:

- CO₂-Emission = Emisi C tahunan dari aplikasi pengapuran, *ton C per tahun*
 M = Jumlah atau berat dari kapur *Limestones* (CaCO₃) dan *Dolomites* (CaMg(CO₃)₂) yang diaplikasikan, *ton/tahun*
 EF = Faktor emisi, *ton C per (limestones atau dolomites)*.
Default IPCC (Tier-1) faktor emisi untuk limestone adalah 0,12 dan 0,13 untuk dolomite

Emisi CO₂ aplikasi pupuk urea dihitung dengan metodologi *Tier-1* dengan data aktivitas konsumsi pupuk urea pertanian. Jumlah pupuk urea yang digunakan dapat dihitung melalui 2 (dua) pendekatan, yaitu berdasarkan data konsumsi urea nasional untuk sektor pertanian yang dikeluarkan oleh Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia (APPI) atau berdasarkan luas tanam dan dosis rekomendasi. Pupuk urea umumnya digunakan dalam budidaya tanaman pangan, hortikultura dan perkebunan. Dalam menghitung jumlah pupuk tersebut digunakan beberapa asumsi agar jumlah pupuk urea yang dihitung sesuai dengan penerapan di lapangan. Emisi CO₂ dari penggunaan pupuk urea dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{CO}_2\text{-Emission} = (M_{\text{Urea}} * \text{EF}_{\text{Urea}})$$

Di mana:

- CO₂-Emission = Emisi C tahunan dari aplikasi pemupukan, *ton C per tahun*
 M = Jumlah atau berat dari urea yang diaplikasikan, *ton/tahun*
 EF = Faktor emisi, *ton C per Urea*

Emisi N₂O dari tanah yang dikelola dihitung dari emisi langsung (*direct N₂O*) dan tidak langsung (*indirect N₂O*) dengan metodologi *Tier-1* menggunakan faktor emisi *default* dari IPCC *Guidelines 2006*. Peningkatan N-tersedia dalam tanah meningkatkan proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang memproduksi N₂O. Peningkatan N-tersedia dapat terjadi melalui penambahan pupuk yang mengandung N atau perubahan penggunaan lahan dan atau praktik-praktik pengelolaan yang menyebabkan mineralisasi N organik tanah.

Persamaan untuk menduga emisi N₂O langsung dari tanah yang dikelola adalah sebagaimana berikut ini:

$$\text{N}_2\text{O-Direct} = \text{N}_2\text{O-N}_{\text{N input}} + \text{N}_2\text{O-N}_{\text{OS}} + \text{N}_2\text{O-N}_{\text{PRP}}$$

Di mana:

- N₂O-N_{N input} = $[(\text{FSN} + \text{FON} + \text{FCR} + \text{FSOM}) \times \text{EF1}] + [(\text{FSN} + \text{FON} + \text{FCR} + \text{FSOM}) \times \text{EF1FR}]$
 N₂O-N_{OS} = $\{(\text{FOS,CG,Temp} \times \text{EF2CG,Temp}) + (\text{FOS,CG,Trop} \times \text{EF2CG,Tro}) + (\text{FOS,F,Temp,NR} \times \text{EF2F,Temp,NR}) + (\text{FOS,CG,Temp,NP} \times \text{EF2F,Temp,NP}) + (\text{FOS,F,Trop} \times \text{EF2F,Trop})\}$
 N₂O-N_{PRP} = $[(\text{FPRP,CPP} \times \text{EF3PRP,CPP}) + (\text{FPRP,SO} \times \text{EF3PRP,SO})]$

N_2O_{Direct}	=	Emisi tahunan N_2O langsung dari tanah yang dikelola, <i>kg N_2O-N per tahun</i>
$N_2O-N_{\text{N input}}$	=	Emisi tahunan N_2O langsung dari input N ke tanah yang dikelola, <i>kg N_2O-N per tahun</i>
N_2O-N_{OS}	=	Emisi tahunan N_2O langsung dari pengelolaan tanah organik, <i>kg N_2O-N per tahun</i>
N_2O-N_{PRP}	=	Emisi tahunan N_2O langsung dari input urin atau kotoran ternak ke padang rumput atau penggembalaan, <i>kg N_2O-N per tahun</i>
FSN	=	Jumlah tahunan pupuk sintetis N yang diaplikasikan ke tanah, <i>kg N per tahun</i>
FON	=	Jumlah tahunan dari pupuk kandang, kompos, urin dan kotoran ternak, dan N organik lainnya yang diaplikasikan ke tanah, <i>kg N per tahun</i>
FCR	=	Jumlah tahunan dari sisa tanaman (di atas dan di bawah tanah), termasuk tanaman yang memfiksasi N dan dari pembaharuan hijauan atau padang rumput, <i>kg N per tahun</i>
FSOM	=	Jumlah tahunan dari N pada tanah yang dimineralisasi, yang berhubungan dengan hilangnya bahan organik tanah akibat perubahan penggunaan lahan atau pengelolaan tanah mineral, <i>kg N per tahun</i>
FPRP	=	Jumlah tahunan dari input urin dan kotoran N yang dideposit di padang rumput atau padang penggembalaan, <i>kg N per tahun</i> (CPP : Sapi, Unggas, dan Babi, dan SO:domba, dan ternak lain)
FOS	=	Luas dari tanah organik yang dikelola/didrainase, <i>ha</i> (CG, F, Temp, Trop, NR dan NO adalah kependekakan dari <i>Cropland</i> dan <i>Grassland</i> , <i>Forest Land</i> , <i>Temperate</i> , <i>Tropical</i> , kaya hara [<i>NutrientRich</i>], dan miskin hara [<i>Nutrient Poor</i>])
EF1	=	Faktor emisi untuk emisi N_2O dari input N untuk lahan kering, <i>kg N_2O-N per (kg N input)</i>
EF1FR	=	Faktor emisi untuk emisi N_2O dari input N untuk sawah irigasi, <i>kg N_2O-N per (kg N input)</i>
EF2CG,F,- Temp,Trop,R,P	=	Faktor emisi untuk emisi N_2O dari tanah organik yang dikelola/didrainase input N untuk sawah irigasi, <i>kg N_2O-N per (ha/tahun)</i> ; (CG, F, Temp, Trop, R dan P adalah kependekakan dari <i>Crop Land</i> dan <i>Grass Land</i> , <i>Forest Land</i> , <i>Temperate</i> , <i>Tropical</i> , Kaya Hara (<i>NutrientRich</i>), dan Miskin Hara (<i>Nutrient Poor</i>))
EF3PRP	=	Faktor emisi untuk emisi N_2O dari urin dan kotoran yang dideposit di padang rumput atau padang penggembalaan, <i>kg N_2O-N per (kg N input)</i>

Sedangkan persamaan untuk menduga emisi N_2O tidak langsung dari tanah yang dikelola adalah:

$$N_2O_{\text{Indirect}} = (N_2O_{\text{(ATD)}} - N + N_2O_{\text{(L)}} - N)$$

Di mana:

N_2O_{Indirect}	=	Emisi tahunan N_2O langsung dari tanah yang dikelola, <i>kg N_2O-N per tahun</i>
$N_2O_{\text{(ATD)}}-N$	=	$[(FSN \times \text{FracGASF}) + (FON + FPRP) \times \text{FracGASM}] \times EF4$.
$N_2O_{\text{(L)}}-N$	=	$(FSN + FON + FPRP + FCR + FSOM) \times \text{FracLEACH-(H)} \times EF5$.
$N_2O_{\text{(ATD)}}-N$	=	Jumlah tahunan N_2O-N yang dihasilkan volatilisasi N ke atmosfer dari tanah yang dikelola, <i>kg N_2O-N per tahun</i>
FSN	=	Jumlah tahunan pupuk N sintetis yang diberikan ke tanah, <i>kg N per tahun</i> .
FracGASF	=	Fraksi pupuk N sintetis yang bervolatilisasi sebagai NH_3 dan NO_x , <i>kg N tervolatilisasi per kg N yang digunakan</i> .
FON	=	Jumlah tahunan dari pupuk kandang, kompos, urin dan kotoran ternak, dan N organik lainnya yang diaplikasikan ke tanah, <i>kg N per tahun</i>

FPRP	=	Jumlah tahunan dari input urin dan kotoran N yang dideposit di padang rumput atau padang penggembalaan, <i>Kg N per tahun</i>
FracGASM	=	Fraksi pupuk organik N(FON) dan urin dan kotoran ternak yang dideposit ternak (FPRP) yang tervolatilisasi sebagai NH ₃ dan NO _x , <i>kg N tervolatilisasi per kg N</i> yang diaplikasikan/dideposit
EF4	=	Faktor emisi N ₂ O dari deposit N pada tanah dan permukaan air, [kg N–N ₂ O per (kgNH ₃ –N +NO _x –N volatilised)]
FCR	=	Jumlah tahunan dari sisa tanaman (di atas dan di bawah tanah), termasuk tanaman yang memfiksasi N dan dari pembaharuan hijauan atau padang rumput, <i>kg N per tahun</i>
FSOM	=	Jumlah tahunan dari N pada tanah yang dimineralisasi, yang berhubungan dengan hilangnya bahan organik tanah akibat perubahan penggunaan lahan atau pengelolaan tanah mineral, <i>kg N per tahun</i>
Frac LEACH-(H)	=	Fraksi dari semua N yang ditambahkan/dimineralisasi pada tanah yang dikelola di wilayah yang mengalami pencucian/aliran permukaan yang melalui pencucian dan aliran permukaan, <i>kg N per kg N</i> yang ditambahkan
EF5	=	Faktor emisi untuk emisi N ₂ O dari deposit N di atmosfer akibat pencucian dan aliran permukaan N, <i>kg N₂O–N</i>

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 dengan menggunakan 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:

CH ₄ Rice	=	Emisi metan dari budidaya padi sawah, <i>Gg CH₄ per tahun</i>
EF _{i,j,k}	=	Faktor emisi untuk kondisi i, j, dan k; <i>kg CH₄ per hari</i>
t _{i,j,k}	=	Lama budidaya padi sawah untuk kondisi i, j, dan k; <i>hari</i>
A _{i,j,k}	=	Luas panen padi sawah untuk kondisi i, j, dan k; <i>ha per tahun</i>
i, j, dan k	=	Mewakili ekosistem berbeda: i: rezim air, j: jenis dan jumlah pengembalian bahan organik tanah, dan k: kondisi lain dimana emisi CH ₄ dari padi sawah dapat bervariasi

Emisi metana dari budidaya padi dihitung dengan menggunakan faktor emisi yang dirangkum dari nilai-nilai lokal sawah di Indonesia. Faktor emisi dari sawah Indonesia berkisar antara 0,67 - 79,86 g 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 CH₄ (Tabel 4). Selain itu,

faktor skala untuk rezim air dan varietas padi yang digunakan adalah faktor skala lokal (*country specific*) seperti disajikan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 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 5. Faktor Skala yang Disesuaikan dengan Ekosistem Padi dan Tata Air Indonesia

Kategori	Subkategori		SF (IPCC Guidelines 1996)	Adjusted SF (based on current studies in Indonesia)
<i>Upland</i>	<i>None</i>		0	
<i>Lowland</i>	<i>Irrigated</i>	<i>Continuously Flooded</i>	1,0	1,00
		<i>Intermittently Flooded</i>	<i>Single Aeration</i>	0,5 (0,2-0,7)
			<i>Multiple Aeration</i>	0,2 (0,1-0,3)
	<i>Rainfed</i>	<i>Flood Prone</i>	0,8 (0,5-1,0)	0,49 (0,19-0,75)
		<i>Drought Prone</i>	0,4 (0-0,5)	
	<i>Deep Water</i>	<i>Water Depth 50-100 cm</i>	0,8 (0,6-1,0)	
		<i>Water Depth < 50 cm</i>	0,6 (0,5-0,8)	

Tabel 6. Faktor Skala untuk Varietas Padi yang Berbeda di Indonesia

No	Varietas	Rerata Emisi (kg/Ha/session)	Faktor Skala
1.	Gilirang	496,9	2,46
2.	Aromatic	273,6	1,35
3.	Tukad Unda	244,2	1,21
4.	IR 72	223,2	1,10
6.	Cisadane	204,6	1,01
5.	IR 64	202,3	1,00
7.	Margasari	187,2	0,93
8.	Cisantana	186,7	0,92
9.	Tukad Petanu	157,8	0,78
10.	Batang Anai	153,5	0,76
11.	IR 36	147,5	0,73
12.	Memberamo	146,2	0,72
13.	Dodokan	145,6	0,72
14.	Way Apoburu	145,5	0,72
15.	Muncul	127,0	0,63
16.	Tukad Balian	115,6	0,57
17.	Cisanggarung	115,2	0,57
18.	Ciherang	114,8	0,57
19.	Limboto	99,2	0,49
20.	Wayrareng	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

No	Varietas	Rerata Emisi (kg/Ha/session)	Faktor Skala
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

Berdasarkan berbagai data yang varietas yang digunakan oleh petani pada periode 2009 – 2011 (sekitar 70% dari total luas tanam padi), diketahui bahwa rata-rata terbobot skala faktor untuk varietas padi di sawah dengan irigasi terus menerus adalah 0,74. Nilai ini digunakan untuk memperkirakan emisi dari daerah irigasi dimana tidak ada informasi tentang varietas padi. Untuk sawah non-irigasi, SF untuk varietas padi akan sama dengan 1,00 karena pengaruh kondisi air pada pengurangan emisi metana akan jauh lebih dominan dibanding varietas. Dengan demikian pengaruh perubahan varietas dalam mengurangi emisi tidak akan signifikan di daerah non-irigasi, sehingga SF yang digunakan adalah 1,00 untuk daerah non-irigasi (Kementerian Lingkungan Hidup, 2010).

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. Penerapan metodologi ini telah ditetapkan dalam Peraturan Menteri LHK Nomor P.73/MenLHK/Setjen/Kum.1/12/2017 yang saat ini sedang dalam proses revisi sesuai amanat pada Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021.

Pada sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya, emisi/serapan GRK dikategorisasikan berdasarkan 6 (enam) kategori penggunaan lahan utama *IPCC Guidelines* 2006. Di mana 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. Untuk itu, emisi/serapan GRK dari setiap kategori penggunaan lahan diklasifikasikan menjadi 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* Gambar 62.

Metodologi yang digunakan untuk menghitung emisi GRK dari sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya adalah *IPCC Guidelines* 2006 (IPCC, 2006) dengan mengkombinasikan faktor emisi *country/site specific* dan faktor emisi *default* IPCC.

a. Pendugaan emisi/serapan dari perubahan stok karbon

Persamaan untuk menghitung perubahan stok karbon pada semua kategori penggunaan lahan adalah sebagai berikut:

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

Di mana:

ΔC	= perubahan stok karbon
AFOU	= <i>Agriculture, Forestry and Other Land Use</i>
FL	= <i>Forest Land</i>
CL	= <i>Crop Land</i>
GL	= <i>Grassland</i>
WL	= <i>Wetlands</i>
SL	= <i>Settlements</i>
OL	= <i>Other Land</i>

Estimasi perubahan stok karbon juga memperhatikan subdivisi dari area lahan (seperti zona iklim, *ecotype*, *management regime* dll.) yang dipilih untuk sebuah kategori penggunaan lahan:

$$\Delta C_{LU} = \sum_{Lui} \Delta C$$

Di mana:

ΔC_{LU}	= Perubahan stok karbon untuk sebuah kategori penggunaan lahan/ <i>land-use</i> (LU) seperti dijelaskan pada persamaan di atas
i	= Denotasi dari stratum spesifik atau subdivisi dalam kategori penggunaan lahan (dengan kombinasi spesies, zona iklim, <i>ecotype</i> , <i>management regime</i> dll.), $i = 1$ ke n

Perubahan stok karbon diestimasi 3 (tiga) dari 5 (lima) tampungan karbon pada setiap kategori penggunaan lahan dengan menjumlahkan perubahan pada semua tampungan karbon seperti persamaan di bawah:

$$\Delta C_{Lui} = \Delta C_{AB} + \Delta C_{BB} + \Delta C_{SO}$$

Di mana:

ΔC_{LU}	= Perubahan stok karbon untuk sebuah kategori penggunaan lahan/ <i>land-use</i> (LU) seperti dijelaskan pada persamaan di atas
AB	= <i>Aboveground biomass</i>
BB	= <i>Belowground biomass</i>
SO	= <i>Soil Organic Matter</i>

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 dan 2021.

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 mempartisi 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%.

Klasifikasi kategori penggunaan lahan dalam IPCC *Guidelines* 2006 terbagi menjadi 6 (enam) kategori penggunaan lahan utama, sehingga kategori tutupan lahan yang digunakan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dikelompokkan mengikuti kategori penggunaan lahan IPCC *Guidelines* 2006 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7. Untuk memastikan variasi antar daerah turut diperhitungkan dalam inventarisasi GRK dari sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya, dilakukan stratifikasi tutupan lahan berdasarkan 7 (tujuh) kelompok pulau utama yaitu Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Bali dan Nusa Tenggara, Maluku dan Papua serta dipisahkan berdasarkan 2 (dua) jenis tanah (mineral dan gambut).

Tabel 7. Penyesuaian Kategori Tutupan Lahan KLHK dengan Kelas Penggunaan Lahan IPCC

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

No	Kelas Tutupan Lahan KLHK	2006 IPCC GL	Singkatan	Keterangan
16.	<i>Fish pond/aquaculture</i>	<i>Wetland</i>	<i>WL</i>	Non-forest
17.	<i>Transmigration areas</i>	<i>Cropland</i>	<i>CL</i>	Non-forest
18.	<i>Settlement areas</i>	<i>Settlement</i>	<i>SL</i>	Non-forest
19.	<i>Port and harbor</i>	<i>Other land</i>	<i>OL</i>	Non-forest
20.	<i>Mining areas</i>	<i>Other land</i>	<i>OL</i>	Non-forest
21.	<i>Bare ground</i>	<i>Other land</i>	<i>OL</i>	Non-forest
22.	<i>Open water</i>	<i>Wetland</i>	<i>WL</i>	Non-forest
23.	<i>Clouds and no-data</i>	<i>No data</i>	-	Non-forest

Faktor emisi/serapan karbon yang digunakan dalam inventarisasi GRK diambil dari beberapa studi spesifik di Indonesia. Rerata pertumbuhan tahunan dari kategori penutupan lahan yang berbeda mengacu pada beberapa referensi, laporan dan literatur (Tabel 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 *Guidelines* 2006. Sebagai bentuk konsistensi dan kontinuitas pelaporan, pelaporan Inventarisasi GRK tahun 2019 adalah melanjutkan laporan tahun 2018 dan mempergunakan data aktivitas maupun faktor emisi hasil rekalkulasi tersebut.

Tabel 8. Rerata Pertumbuhan Tahunan pada Berbagai Kategori Penggunaan Lahan

Penggunaan/Penutupan Lahan	Kategori IPCC	MAI* (tC/ha/th)	Sumber Data
<i>Shrubs</i>	<i>GL</i>	0,2	Bappenas, 2010
<i>Swamp Shrubs</i>	<i>GL</i>	0,6	Bappenas, 2010
<i>Primary dryland forest</i>	<i>FL</i>	1,075	IPCC, 2006 (<i>Mean Value</i>)
<i>Secondary dryland forest</i>	<i>FL</i>	1,075	IPCC, 2006 (<i>Mean Value</i>)
<i>Primary Mangrove Forest</i>	<i>FL</i>	1,075	IPCC, 2006 (<i>Mean Value</i>)
<i>Secondary Mangrove Forest</i>	<i>FL</i>	2,8	MoF, 1998
<i>Primary Swamp Forest</i>	<i>FL</i>	1,075	IPCC, 2006 (<i>Mean Value</i>)
<i>Secondary Swamp Forest</i>	<i>FL</i>	1,075	IPCC, 2006 (<i>Mean Value</i>)
<i>Plantation Forest</i>	<i>FL</i>	4,8	IPCC, 2003
<i>Settlement</i>	<i>SL</i>	0,2	Bappenas, 2010
<i>Agriculture Plantation</i>	<i>CL</i>	2,52	Bappenas, 2010
<i>Mining</i>	<i>OL</i>	0	Bappenas, 2010
<i>Dry land agriculture</i>	<i>CL</i>	0,2	Bappenas, 2010
<i>Dry land agriculture mixed with shrubs</i>	<i>CL</i>	0,6	Bappenas, 2010
<i>Swamp</i>	<i>WL</i>	0,1	Bappenas, 2010
<i>Savannah/ grassland</i>	<i>GL</i>	0,2	Bappenas, 2010
<i>Rice paddy</i>	<i>CL</i>	0	Bappenas, 2010

Penggunaan/Penutupan Lahan	Kategori IPCC	MAI* (tC/ha/th)	Sumber Data
<i>Ponds</i>	OL	0	Bappenas, 2010
<i>Open land</i>	OL	0,1	Bappenas, 2010
<i>Transmigration</i>	CL	1,32	Bappenas, 2010

*Mean Annual Increment

Stok karbon untuk semua kategori penutupan lahan terutama dari lahan hutan, diperoleh dari pengukuran pada plot sampling permanen (PSP) dari *National Forest Inventory* (NFI). Untuk itu, data kemudian distratifikasikan ke dalam 7 (tujuh) pulau di Indonesia. Diameter setinggi dada (DBH) dan kerapatan kayu/*wood density* (WD) dari setiap individu pohon dalam *Plot Sample Permanent* dikonversi menjadi data biomassa di atas permukaan tanah (AGB) menggunakan model allometrik dari Chave *et.al* (2005) untuk hutan tropis. Model ini digunakan karena allometrik spesifik lokal untuk 6 (enam) tipe hutan tidak semuanya direpresentasikan di 7 (tujuh) pulau Indonesia. Model ini diketahui sesuai dan sama baiknya dengan model lokal yang dikembangkan di hutan tropis Indonesia (Rutishauser *et al.*, 2013; Manuri *et al.*, 2014). Data rerata karbon stok dari biomassa di atas permukaan (AGB) untuk berbagai tipe hutan pada 7 (tujuh) pulau tersedia pada Tabel 9.

Tabel 9. Karbon Stok dari Biomassa di Atas Permukaan (AGB) untuk Berbagai Tipe Penutupan Lahan

Tipe Hutan	Region	Rerata AGB (t Ha ⁻¹)	95% Selang Kepercayaan (t Ha ⁻¹)		Jumlah Plot Contoh
<i>Primary Dryland Forest</i>	Bali Nusa Tenggara	274,4	247,4	301,3	52
	Jawa	Nd	Nd	Nd	Nd
	Kalimantan	269,4	258,2	280,6	333
	Maluku	301,4	220,3	382,5	14
	Papua	239,1	227,5	250,6	162
	Sulawesi	275,2	262,4	288,1	221
	Sumatera	268,6	247,1	290,1	92
	Indonesia	266,0	259,5	272,5	874
<i>Secondary Dryland Forest</i>	Bali Nusa Tenggara	162,7	140,6	184,9	69
	Jawa	170,5	Na	Na	1
	Kalimantan	203,3	196,3	210,3	608
	Maluku	222,1	204,5	239,8	99
	Papua	180,4	158,5	202,4	60
	Sulawesi	206,5	194,3	218,7	197
	Sumatera	182,2	172,1	192,4	265
	Indonesia	197,7	192,9	202,5	1299

Tipe Hutan	Region	Rerata AGB (t Ha ⁻¹)	95% Selang Kepercayaan (t Ha ⁻¹)		Jumlah Plot Contoh
Primary Swamp Forest	Bali Nusa Tenggara	Na	Na	Na	Na
	Jawa	Na	Na	Na	Na
	Kalimantan	274,8	269,2	281,9	3
	Maluku	Na	Na	Na	Na
	Papua	178,8	160,0	197,5	67
	Sulawesi	214,4	-256,4	685,2	3
	Sumatera	220,8	174,7	266,9	22
	Indonesia	192,7	174,6	210,8	95
Secondary Swamp Forest	Bali Nusa Tenggara	Na	Na	Na	Na
	Jawa	Na	Na	Na	Na
	Kalimantan	170,5	158,6	182,5	166
	Maluku	Na	Na	Na	Na
	Papua	145,7	106,7	184,7	16
	Sulawesi	128,3	74,5	182,1	12
	Sumatera	151,4	140,2	162,6	160
	Indonesia	159,3	151,4	167,3	354
Primary Mangrove Forest ^{a,b,c}	Kalimantan	263,9	209,0	318,8	8
Secondary Mangrove Forest ^{b,c}	Kalimantan dan Sulawesi	201,7	134,5	244,0	12

Keterangan :^aMurdiyarso *et al.* (2009); ^bKrisnawati *et al.* (2014); ^cDonato *et al.* (2011);
nd = no data; na = not applicable.

b. Pendugaan Emisi dari Dekomposisi Gambut

Emisi dari dekomposisi lahan gambut dihitung untuk setiap kategori penggunaan lahan pada lahan gambut dengan mengalikan luas area gambut dengan faktor emisi.

$$L_{LU\ Organic} = \sum(A \cdot EF)$$

Di mana:

$\Delta C_{LU\ organic}$ = Emisi CO₂ dari dekomposisi gambut dari suatu kategori penggunaan lahan di lahan gambut

A = Luas area dari suatu kategori penggunaan lahan

EF = Faktor emisi dekomposisi gambut untuk suatu kategori penggunaan lahan

Faktor emisi untuk dekomposisi gambut berdasarkan *2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National GHG Inventory: Wetlands* (IPCC, 2013) dan hasil studi lainnya di Indonesia yang dikonversi ke ton CO₂e, seperti yang dipresentasikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Faktor Emisi untuk Dekomposisi Gambut dari Berbagai Penutupan Lahan

No.	Tutupan Lahan	Emisi (t CO ₂ ha ⁻¹ th ⁻¹)	95% Selang Kepercayaan		Sumber data
			Min	Max	
1.	Primary forest	0	0	0	MoEF, 2016
2.	Secondary forest	19	-3	35	IPCC, 2014
3.	Plantation forest	73	59	88	IPCC, 2014
4.	Estate crop	40	21	62	IPCC, 2014
5.	Pure dry agriculture	51	24	95	IPCC, 2014
6.	Mixed dry agriculture	51	24	95	IPCC, 2014
7.	Dry shrub	19	-3	35	IPCC, 2014
8.	Wet shrub	19	-3	35	IPCC, 2014
9.	Savannah and Grasses	35	-1	73	IPCC, 2014
10.	Paddy Field	34	-1	73	IPCC, 2014
11.	Open swamp	0	0	0	Waterlogged condition, assumed zero CO ₂ emission (MoEF, 2016)
12.	Fish pond/aquaculture	0	0	0	Waterlogged condition, assumed zero CO ₂ emission (MoEF, 2016)
13.	Transmigration areas	51	24	95	Assumed similar to mixed dry agriculture (MoEF, 2016)
14.	Settlement areas	35	-1	73	Assumed similar to grassland (MoEF, 2016)
15.	Port and harbor	0	0	0	Assumed zero as most surface is sealed with concrete (MoEF, 2016)
16.	Mining areas	51	24	95	Assumed similar to bare land (MoEF, 2016)
17.	Bare ground	51	24	95	IPCC, 2014
18.	Open water	0	0	0	Waterlogged condition, assumed zero CO ₂ emission (MoEF, 2016)
19.	Clouds and no-data	Nd	Nd	Nd	

Keterangan: nd = no data.

The number of Emission Factor taken from IPCC Wetland Supplement (2013) based on Table 2.1 "Tier-1 CO₂ Emission/Removal Factors for Drained Organic Soils in all Land-Use Categories". The Emission Factor value in the Table 2.1 was in CO₂-C, then converted to CO₂ (Multiplied with 3.67).

c. Pendugaan Emisi dari Kebakaran Hutan dan Lahan

Kebakaran hutan dan lahan dapat terjadi di permukaan dan di bawah permukaan tanah. Kebakaran di bawah permukaan terjadi pada lahan gambut (*peat fire*). Emisi dari kebakaran hutan dan lahan dihitung dengan menggunakan persamaan *IPCC Wetlands Supplement 2013* (IPCC, 2013):

$$L_{LU\ Organic} = \sum (A \cdot EF)$$

Di mana:

L_{fire} = emisi dari kebakaran

A = Luas area yang terbakar

MB = Massa bahan bakar yang tersedia untuk pembakaran

CF = Faktor pembakaran (nilai default = 1.0)

G_{ef} = Faktor emisi

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.

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, di mana luasan area terbakar diestimasi berdasarkan data hotspot (MODIS, NOAA, Landsat 8, SNPP) data spasial laporan kejadian kebakaran, Burnt Area (BA) Landsat dan Sentinel dari LAPAN, dan digitasi secara manual visual pada citra landsat 8. Metode ini menghasilkan informasi yang lebih detail, 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- CO_2 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 persentase luasan tahun 2016 – 2018.

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

Untuk kebakaran biomassa (*Biomass Burning*), MB , CF dan G_{ef} nya menggunakan default IPCC *Guidelines* 2006 (*table 2.4*, *table 2.5* dan *table 2.6*). Untuk kebakaran gambut, massa bahan bakar yang tersedia untuk pembakaran (MB) diperkirakan dari perkalian rata-rata kedalaman gambut terbakar (D) dan *Bulk Density* (BD). dengan mengasumsikan bahwa gambut yang terbakar rata-rata pada kedalaman 0,33 m (Ballhorn *et.al*, 2009) dan *bulk density* adalah 0.153 ton/ m^3 (Mulyani *et.al.*, 2012). Faktor emisi (G_{ef}) dihitung secara tidak langsung dari kandungan karbon organik (C_{org}), atau

setara $C_{org} \times 3,67$ sehingga total emisi dari kebakaran gambut dihitung dari perkalian luasan area terbakar sebesar 923.1 Ton CO_2e/Ha .

5. Sektor Limbah

Emisi GRK dari sektor limbah yang disajikan dalam laporan inventarisasi emisi GRK ini menggunakan *Tier-2* metode IPCC *Guidelines* 2006 pada kategori limbah padat domestik dan *Tier-1* IPCC *Guidelines* 2006 pada limbah padat domestik, limbah cair domestik dan limbah cair industri.

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.

Penghitungan emisi GRK pada kategori limbah cair industri menggunakan *Tier-1* metode IPCC *Guidelines* 2006. Meskipun menggunakan *Tier-1*, namun 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.

a. Metodologi Perhitungan Tingkat Emisi GRK Dari Tumpukan Sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) atau *Landfill*.

Berdasarkan IPCC *Guidelines* 2006, metodologi penghitungan emisi GRK dari tumpukan sampah di TPA dapat diklasifikasikan berdasarkan tingkatan ketelitian dalam penghitungan, yaitu:

1. **Tier-1:** penghitungan berdasarkan metoda *First Order Decay* (FOD) yang sebagian besar menggunakan angka *default* untuk data aktivitas dan faktor emisi (FE);
2. **Tier-2:** penghitungan berdasarkan metoda FOD yang telah menggunakan data aktivitas yang lebih akurat dalam hal ini *country specific* (berdasarkan data historis 10 tahun terakhir atau lebih) untuk memperbaiki kualitas inventarisasi meskipun masih menggunakan angka default terutama untuk FE;
3. **Tier-3:** penghitungan berdasarkan metoda FOD yang didasari data yang lebih akurat baik dalam hal data aktivitas yang telah menggunakan *country specific* dengan parameter-parameter kunci yang telah dikembangkan secara nasional dan FE lokal;
4. Parameter-parameter kunci harus termasuk waktu paruh (*the half life*), potensi pembentukan gas metana (Lo) maupun kandungan DOC pada limbah dan fraksi DOC yang terdekomposisi (DOCf).

Penghitungan emisi CH_4 dari timbunan limbah di TPA dengan *Tier-1* membutuhkan angka default (regional) untuk data aktivitas dan parameter emisi (IPCC) yang telah ada pada model *spreadsheet* atau *software* dari IPCC *Guidelines* 2006. Penghitungan emisi CH_4 dengan *Tier-2* dan *Tier-3* membutuhkan data aktivitas dan parameter emisi spesifik negara dan model *spreadsheet* maupun *software* yang dimodifikasi.

CH_4 terbentuk akibat terdegradasinya material organik yang terdapat pada sampah pada kondisi anaerobik. Sebagian gas CH_4 yang terbentuk ini akan teroksidasi di permukaan timbunan sampah, diambil (*recovery*) untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi, atau dibakar (*flaring*). Dengan demikian, gas CH_4 yang diemisikan sesungguhnya lebih kecil dibandingkan jumlah yang terbentuk. CH_4 yang diemisikan dari limbah padat domestik yang ditimbun di (*landfill*) TPA untuk satu tahun dapat diperkirakan, sebagai berikut:

$$\text{Emisi CH}_4 \text{ pada tahun T, Ggram} = [\sum_x \text{CH}_4 \text{ generated}_{x,T} - R_T] * (1 - OX_T)$$

Di mana:

T	=	Tahun inventarisasi
X	=	Tipe atau jenis limbah
RT	=	CH ₄ yang di <i>recovery</i> untuk dimanfaatkan atau di <i>flare</i> pada tahun T, Ggram
OX _T	=	Faktor oksidasi pada tahun T, fraksi
CH ₄ generated _{x,T}	=	CH ₄ yang terbentuk pada tahun T hasil dekomposisi komponen organik jenis tertentu (x) yang tersimpan di dalam sampah (DDOC)
Emisi CH ₄ , tahun T	=	CH ₄ yang diemisikan dari sampah padat di TPA untuk satu tahun

Basis penghitungannya adalah DDOC_m (*massa decomposable degradable organic compound*) yaitu massa komponen organik dalam sampah yang terdegradasi dan terdekomposisi, sebagai berikut:

$$\text{DDOC}_m(T) = W(T) * \text{DOC} * \text{DOC}_f * \text{MCF}$$

Di mana:

DDOC _m (T)	=	Massa DOC yang tersimpan pada sampah di TPA pada tahun T, Ggram
W(T)	=	JUMLAH LIMBAH PADAT DITIMBUN PADA TAHUN T, GGRAM
DOC	=	Fraksi degradable karbon organik pada tahun deposisi sampah, Ggram C / Ggram limbah
DOC _f	=	Fraksi DOC yang dapat terdekomposisi pada kondisi anerobik, fraksi
MCF	=	Faktor koreksi CH ₄ , yang menggambarkan fraksi limbah yang terdekomposisi pada kondisi erobik sebelum kondisi anerobik terjadi.

Dengan reaksi orde pertama, jumlah produk GRK sebanding dengan jumlah bahan reaktif. Artinya, tahun di mana bahan limbah ditimbun di TPA tidak relevan dengan jumlah CH₄ yang dihasilkan setiap tahun. Hanya massa total bahan yang terdekomposisi (di TPA) yang menjadi parameter penting. DDOC_m yang terakumulasi dan terdekomposisi di TPA pada akhir tahun T, dihitung dengan:

$$\text{DDOC}_{ma(T)} = \text{DDOC}_{md(T)} + (\text{DDOC}_{ma(T-1)} * e^{-k})$$

Di mana:

DDOC _{ma} (T)	=	Massa DDOC _m terakumulasi di SWDS pada akhir tahun T, Ggram
DDOC _{md} (T)	=	MASSA DDOC MASUK (DEPOSIT) KE (LANDFILL) TPA DI TAHUN T, GGRAM
DDOC _{ma} (T-1)	=	Massa DDOC _m terakumulasi di SWDS pada akhir tahun T-1, Ggram
K	=	Konstanta reaksi, $k = \ln(2)/t_{1/2}$, tahun ⁻¹

$$\text{DDOC}_{MDECOMP(T)} = \text{DDOC}_{MA(T-1)} * (1 - E^{-K})$$

Di mana:

DDOC _{mdecomp} (T)	=	Massa DDOC terdekomposisi tahun T
-----------------------------	---	-----------------------------------

Potensi pembentukan CH_4 dari limbah yang dapat terurai, dihitung dengan mengalikan fraksi CH_4 dalam landfill gas yang dihasilkan dan rasio berat molekul CH_4/C , sebagai berikut:

$$\text{CH}_4_{\text{generated(T)}} = \text{DDOC}_{\text{mdecomp(T)}} * F * 16/12$$

Di mana:

- $\text{CH}_4_{\text{generated(T)}}$ = CH_4 yang terbentuk pada tahun T hasil dekomposisi komponen organik yang tersimpah di dalam sampah (DDOC)
- $\text{DDOC}_{\text{mdecompa(T)}}$ = MASSA DDOC YANG TERDEKOMPOSI PADA TAHUN T, GG
- F = Fraksi CH_4 dalam landfill gas (default = 0,5).
- 16/12 = Rasio berat molekul CH_4/C (ratio)

b. Metodologi Perhitungan Emisi GRK untuk Kegiatan Pengolahan Limbah Padat secara Biologis

Penghitungan emisi CH_4 dan N_2O dari pengolahan limbah padat secara biologis, adalah:

$$\text{Emisi CH}_4 = (M_i * EF_i) * 10^{-3} - R$$

$$\text{Emisi N}_2\text{O} = (M_i * EF_i) * 10^{-3}$$

Di mana:

- Emisi CH_4 = CH_4 total pada tahun inventori, Ggram CH_4
- Emisi N_2O = N_2O total pada tahun inventori, Ggram N_2O
- M_i = Massa limbah organik yang diolah dengan pengolah biologi tipe i , Ggram
- EF = Faktor emisi untuk pengolahan tipe i , g CH_4 atau N_2O /kg limbah yang diolah
- i = Tipe pengolahan biologi (pengomposan atau digester anaerobik)
- R = Jumlah CH_4 yang dapat direcovery dalam tahun inventori, Ggram CH_4

Metodologi penentuan faktor emisi (FE) GRK pada penghitungan CH_4 dan N_2O :

1. Tier-1: EF default IPCC *Guidelines* 2006;
2. Tier-2: EF *country specific* dari hasil pengukuran yang representatif yang mencakup pilihan pengolahan biologi yang diaplikasikan di suatu negara; dan
3. Tier-3: EF hasil pengukuran *site specific (online-periodic)*.

c. Metodologi penghitungan tingkat emisi gas rumah kaca dari insinerasi limbah dan *open burning* (pembakaran terbuka)

1. Tingkat Emisi GRK dari Proses Insinerasi/Pembakaran Limbah

Berdasarkan IPCC *Guidelines* 2006, jenis GRK (dominan) yang diemisikan dalam pembakaran limbah padat domestik (*Municipal Solid Waste/MSW*), dengan insinerator dan/atau pembakaran terbuka, adalah CO_2 , dengan tingkat emisi sbb:

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

Di mana:

- Emisi CO_2 = Emisi CO_2 dalam tahun inventori, Ggram/tahun
- MSW = Jumlah total dari limbah padat domestik/MSW (dalam berat-basah), yang di-insinerasi atau dibakar secara terbuka, Ggram/tahun.

WF _j	=	Fraksi tipe limbah dari komponen j dalam MSW (dalam berat basah yang di-insinerasi atau dibakar secara terbuka)
Dm _j	=	Kandungan bahan kering dalam komponen j pada MSW basah yang di-insinerasi atau dibakar secara terbuka, (fraksi)
CF _j	=	Fraksi karbon dalam bahan kering (kandungan karbon) pada komponen j
FCF _j	=	Fraksi fosil karbon dalam total karbon pada komponen j
Of _j	=	Faktor oksidasi, (fraksi)
44/12	=	Faktor konversi dari C ke CO ₂

Dengan

1	=	$\sum_j WF_j$
J	=	Komponen dari MSW yang di-insinerasi atau dibakar secara terbuka (kertas/kardus, tekstil, sisa makanan, kayu, limbah kebun dan taman, diapers sekali pakai, karet, plastik, logam, kaca, limbah tak terbakar lain).

Sedangkan perhitungan emisi CH₄ didasarkan pada jumlah sampah yang di-insinerasi/ dibakar terbuka dan faktor emisi terkait, sebagai berikut:

$$Emisi CH_4 = \sum_i (IW_i * EF_i) * 10^{-6}$$

Di mana:

Emisi CH ₄	=	Emisi CH ₄ pada tahun inventarisasi, Gg/tahun
IW _i	=	Jumlah limbah padat tipe i yang di-insinerasi atau dibakar secara terbuka, Gg/tahun
EF _i	=	Faktor emisi agregat CH ₄ , kg CH ₄ /Gg limbah.
I	=	Kategori atau jenis sampah yang di-insinerasi/dibakar terbuka

Perhitungan emisi N₂O juga didasarkan pada input limbah ke insinerator, atau jumlah limbah yang dibakar secara terbuka, dan faktor emisi *default*, sebagai berikut:

$$Emisi N_2O = \sum_i (IW_i * EF_i) * 10^{-6}$$

Di mana:

Emisi N ₂ O	=	Emisi N ₂ O pada tahun inventarisasi, Gg/tahun
IW _i	=	Jumlah limbah padat tipe i yang di-insinerasi atau dibakar secara terbuka, Gg/tahun
EF _i	=	Faktor emisi N ₂ O, kg N ₂ O/Gg limbah.
I	=	Kategori atau jenis sampah yang di-insinerasi/dibakar terbuka

2. Tingkat Emisi GRK dari Penggunaan Energi Proses Insinerasi/ Pembakaran Limbah

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

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

Di mana:

SW _i	=	Total berat (basah) limbah padat yang dibakar, Ggram/tahun
dmi	=	Fraksi <i>dry matter</i> di dalam limbah (basis berat basah)
CFi	=	Fraksi karbon di dalam <i>dry matter</i> (kandungan karbon total)
FCFi	=	Fraksi karbon fosil di dalam karbon total
OFi	=	Faktor oksidasi (fraksi)
4/12	=	Faktor konversi dari C menjadi CO ₂
i	=	Jenis limbah, yaitu ISW (<i>Industrial Solid Waste</i>) yang meliputi limbah B3, <i>clinical waste</i> , dan lain-lain (limbah padat domestik tidak diinsinerasi tetapi di <i>landfill</i>)

d. Metodologi Penghitungan Emisi Metana (CH₄) dari Kegiatan Pengolahan/ Pembuangan Limbah Cair

Emisi CH₄ dari Pengolahan dan Pembuangan Limbah Cair Domestik, dihitung dengan menggunakan formula berikut.

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

dengan faktor emisi:

$$EF_j = B_o * MCF_j$$

Di mana:

Emisi-emisi CH ₄	=	Emisi-emisi CH ₄ dalam tahun inventori, kg CH ₄ /th
TOW	=	Total organik dalam limbah cair dalam tahun inventori, kg BOD/th
S	=	Komponen organik diambil sebagai lumpur dalam tahun inventori, kg BOD/th
U _i	=	Fraksi populasi dalam grup <i>income</i> i dalam tahun inventori
T _{i,j}	=	Derajat pemanfaatan dari saluran atau sistem pengolahan/pembuan, j, untuk tiap fraksi grup pendapatan i dalam tahun inventori.
i	=	Grup pendapatan, yang terdiri dari: (a) pedesaan, (b) perkotaan dengan pendapatan tinggi, dan (c) perkotaan pendapatan rendah
j	=	Tiap saluran atau sistem pengolahan/ pembuangan
EF _j	=	Faktor emisi, kg CH ₄ / kg BOD
R	=	Jumlah dari pemulihan CH ₄ dalam tahun inventori, kg CH ₄ /th
B _o	=	Kapasitas maksimum produksi CH ₄ (kg CH ₄ /kg BOD), dengan default maksimum kapasitas produksi CH ₄ untuk limbah cair perkotaan = 0.6 kg CH ₄ /kg BOD (atau = 0.25 kg CH ₄ /kg COD)
MCF _j	=	Faktor koreksi metan (fraksi)

Data aktivitas untuk sumber ini adalah jumlah total bahan organik terdegradasi dalam limbah cair (TOW). Parameter ini merupakan fungsi dari populasi manusia dan generasi BOD per orang, dan dinyatakan dalam *Biochemical Oxygen Demand* (kg BOD/tahun). Persamaan untuk TOW, adalah:

$$TOW = P * BOD * 0.001 * I * 365$$

Di mana:

- P = Populasi dalam tahun inventori
- BOD = *Biological Oxygen Demand (country specific)*, default (Indonesia) = 35–40 g/kapita/hari
- I = Faktor koreksi untuk BOD industri tambahan yang dibuang ke selokan (sewer), dimana default untuk collected 1.25 sedangkan i 1.00
- MCFj = Faktor koreksi metana, fraksi
- Bo = Kapasitas produksi maksimum CH₄ (kg CH₄/kg BOD), default kapasitas produksi CH₄ maksimum limbah cair perkotaan 0.6 kg CH₄/kg BOD atau 0.25 kg CH₄/kg CO

e. Metodologi Penghitungan Emisi Metana (CH₄) dari Kegiatan Pengolahan Limbah Cair Industri

Limbah cair industri dapat diolah on-site atau dibuang ke sistem saluran pembuangan domestik. Jika dilepaskan ke sistem saluran pembuangan domestik, emisi tersebut akan dimasukkan ke dalam emisi air limbah domestik. Metodologi ini membahas estimasi emisi CH₄ di IPAL industri *on site*. Hanya limbah cair industri dengan beban karbon signifikan, yang diolah dalam kondisi anaerobik (yang direncanakan atau tidak direncanakan), yang akan menghasilkan CH₄. Organik dalam limbah cair industri sering dinyatakan dalam COD.

Persamaan umum untuk memperkirakan emisi CH₄ dari limbah cair industri, adalah:

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

Di mana:

- Emisi CH₄ = CH₄ yang diemisikan dalam tahun inventori, kg CH₄/tahun
- TOW = Senyawa organik total yang *degradable* dalam limbah cair industri i, kg COD/tahun
- S = Lumpur komponen organik yang disisihkan pada tahun inventori, kg COD/tahun
- R = Jumlah CH₄ yang dipulihkan (*recovered CH₄*) pada tahun inventori, kg CH₄/tahun
- EFj = Faktor emisi per jenis system/saluran pembuangan/ pengolahan, kg CH₄/kg BOD
- i = Sektor industri
- j = Tiap jenis sistem atau saluran pengolahan/pembuangan

Terdapat perbedaan potensi emisi CH₄ dari berbagai jenis limbah cair industri. MCF menunjukkan sejauh mana potensi produksi CH₄ (Bo) direalisasikan pada setiap jenis metode pengolahan. Dengan demikian, hal ini merupakan indikasi sejauh mana sistem dalam kondisi anaerobik.

$$EF_j = B_o * MCF_j$$

Di mana:

- EF_j = Faktor emisi per jenis sistem/saluran pembuangan/pengolahan, kg CH_4 /kg BOD
 MCF_j = Faktor koreksi metana, fraksi
 B_o = Kapasitas produksi maksimum CH_4 , default = 0.25 kg CH_4 /kg COD

Untuk setiap sektor industri yang dipilih, perkiraan total karbon yang dapat terdegradasi secara organik (*organic degradable carbon/TOW*), sbb:

$$TOW_i = P_i * W_i * COD_i$$

Di mana:

- P_i = Produk industri total untuk sektor industri i , ton/tahun
 W_i = Jumlah limbah cair yang dihasilkan, m³/ton produk
 COD_i = *Chemical Oxygen Demand (plant specific)*, kg COD/m³
 i = Sektor industri

f. Metodologi Penghitungan Emisi Nitrous Oxide (N_2O) dari Pengolahan dan Pembuangan Limbah Cair

Emisi *nitrous oxide* (N_2O) dapat terjadi sebagai emisi langsung dari instalasi pengolahan, atau dari emisi tidak langsung dari limbah cair setelah pembuangan ke saluran air, danau atau laut. Tidak ada *tier* lebih tinggi yang diberikan. Oleh karena itu, metodologi ini membahas emisi N_2O tidak langsung dari effluen pengolahan limbah cair yang dibuang ke lingkungan perairan. Persamaan umum adalah, sebagai berikut:

$$\text{Emisi } N_2O = N_{\text{effluent}} * EF_{\text{effluent}} * 44/28$$

Di mana:

- Emisi N_2O = Emisi N_2O dalam tahun inventori, kg N_2O /th
 N_{effluent} = Nitrogen dalam pengaliran air limbah dilepaskan ke lingkungan air, kg N/th
 EF_{effluent} = EF untuk emisi N_2O dari effluen (nitrogen) limbah cair, kg N_2O -N/kg N
 Faktor 44/28 = Adalah konversi dari kg N_2O -N ke kg N_2O .

Data aktivitas untuk memperkirakan emisi N_2O , adalah: kandungan nitrogen dalam limbah cair, populasi negara dan rata-rata timbulan protein per kapita tahunan (kg/orang/tahun). Timbulan protein per kapita terdiri dari konsumsi yang tersedia dari Biro Pusat Statistik, dikalikan dengan faktor-faktor untuk memperhitungkan “protein yang tidak dikonsumsi” dan “protein industri” yang dibuang ke saluran pembuangan. Makanan (limbah) yang tidak dikonsumsi dapat dibuang ke saluran pembuangan. Air mandi dan cucian juga berkontribusi pada pembebanan nitrogen. Untuk negara berkembang, *default* untuk “protein yang tidak dikonsumsi” yang dibuang ke sistem pembuangan limbah cair = 1,1. Limbah cair dari sumber industri atau komersial, misalnya dari toko kelontong dan tukang daging, yang dibuang ke saluran pembuangan mungkin mengandung protein. *Default* untuk fraksi ini = 1,25. Total nitrogen dalam limbah diperkirakan, sebagai berikut:

$$N_{\text{EFFLUENT}} = (P * \text{Protein} * F_{\text{NPR}} * F_{\text{NON-CON}} * F_{\text{IND-COM}}) - N_{\text{SLUDGE}}$$

Di mana:

P	=	Populasi pada tahun inventori
Protein	=	Konsumsi protein per kapita pada tahun inventori, kg/orang/tahun
F_{NPR}	=	Fraksi nitrogen dalam protein, default = 0,16 kg N/kg protein
$F_{\text{NON-CON}}$	=	Faktor nitrogen dalam protein non-konsumsi yang dibuang ke sistem saluran pembuangan, kg N/kg N, default = 1,1.
$F_{\text{IND-COM}}$	=	Faktor untuk protein yang dibuang bersama industri dan komersial (<i>co-discharged</i>) ke dalam sistem saluran pembuangan, kg N/kg N, default = 1,25.
N_{SLUDGE}	=	Nitrogen yang disihkan dengan lumpur (default = nol), kg N/tahun

Emisi langsung dari nitrifikasi dan denitrifikasi di instalasi pengolahan air limbah dapat dianggap sebagai sumber kecil. Biasanya, emisi ini jauh lebih kecil daripada emisi dari effluen, dan mungkin hanya menarik bagi daerah yang sebagian besar tercakupi layanan IPAL terpusat dengan tahapan nitrifikasi dan denitrifikasi, dan dapat diestimasi dengan:

$$N_2O_{\text{PLANTS}} = P * T_{\text{PLANT}} * F_{\text{IND-COM}} * EF_{\text{PLANT}}$$

Di mana:

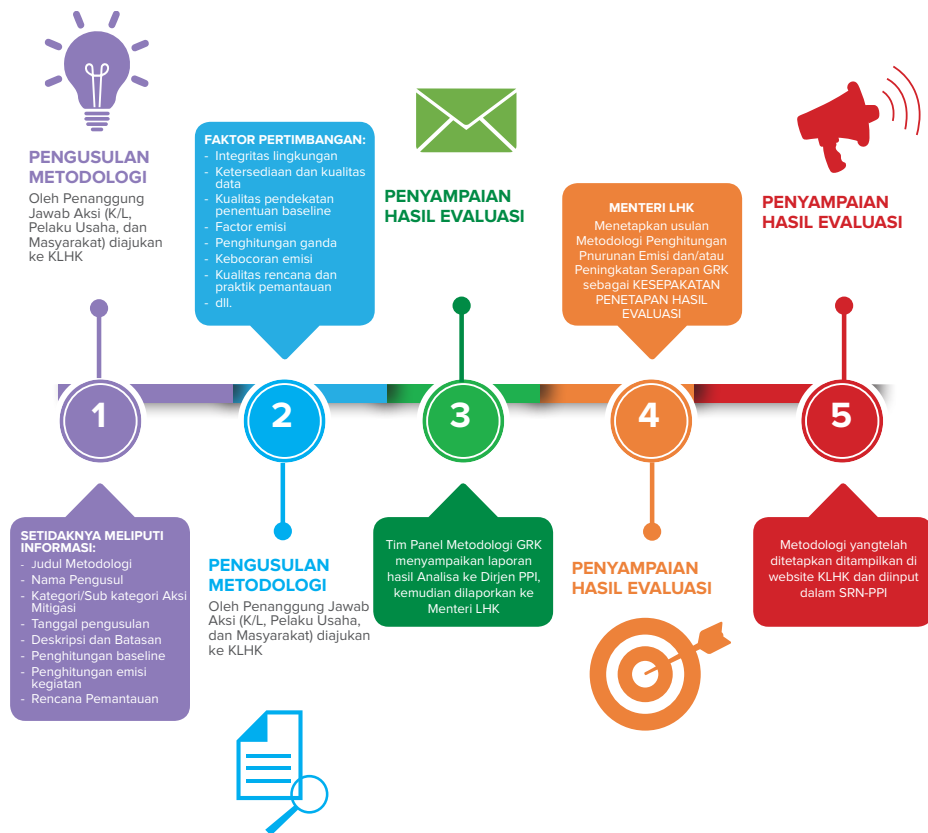
N_2O_{PLANTS}	=	Total emisi N_2O di IPAL pada tahun inventarisasi, kg N_2O /t
P	=	Konsumsi protein per kapita pada tahun inventori, kg/orang/tahun
T_{PLANT}	=	Tingkat pemanfaatan IPAL terpusat (dan modern), %
$F_{\text{IND-COM}}$	=	Faktor untuk protein yang dibuang bersama industri dan komersial (<i>co-discharged</i>) ke dalam sistem saluran pembuangan, kg N/kg N, default = 1,25.
EF_{PLANT}	=	Faktor emisi, = 3.2 g N_2O /orang/tahun.

3.2. Metodologi Penghitungan Capaian Aksi Mitigasi

3.2.1. Kelembagaan

Kelembagaan metodologi penghitungan capaian aksi mitigasi dimaksudkan untuk memberikan gambaran terkait prosedur pengusulan metodologi yang dibuat oleh penanggung jawab aksi baik oleh Pemerintah, Pelaku Usaha, maupun Masyarakat. Penanggung Jawab Aksi dapat mengajukan usulan metodologi penghitungan pengurangan emisi GRK sesuai aksi mitigasi yang dilakukan, dengan mengikuti tahapan sebagai berikut:

1. Penanggung Jawab Aksi menyampaikan usulan metodologi penghitungan pengurangan emisi dan/atau peningkatan serapan GRK kepada Direktur Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim c.q. Direktur Inventarisasi GRK dan MPV, KLHK.
2. Direktur Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim (Dirjen PPI) menugaskan Tim Panel Metodologi GRK KLHK untuk melakukan evaluasi atas usulan metodologi tersebut yang selanjutnya memberikan rekomendasi metodologi kepada Direktur Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim.
3. Dirjen PPI akan menetapkan metodologi hasil rekomendasi dari Tim Panel Metodologi GRK melalui Surat Keputusan Direktur Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim.



Gambar 7. Prosedur Penyelenggaraan Penetapan Metodologi

3.2.2. Hasil Penetapan Metodologi

A. Metodologi Umum

Prosedur penyelenggaraan penetapan metodologi telah tertuang dalam buku Pedoman Penyusunan Metodologi Penghitungan Reduksi Emisi dan/ atau Peningkatan Serapan GRK dalam Kerangka Verifikasi Aksi Mitigasi. Buku tersebut dapat diakses pada laman <https://ditjenppi.menlhk.go.id>.

Berdasarkan Peraturan Menteri LHK Nomor 21 Tahun 2022 tentang Tata Laksana Penerapan Nilai Ekonomi Karbon, persyaratan metodologi yaitu:

1. merupakan hasil penetapan oleh Dirjen PPI
2. merupakan hasil penetapan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN), dan/atau:
3. merupakan hasil yang disepakati oleh negara pihak UNFCCC.

Sampai dengan tahun 2022 persyarakatan metodologi yang telah ditetapkan oleh Dirjen PPI berjumlah 48 (empat puluh delapan) metodologi untuk aksi mitigasi dari:

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

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

B. Metodologi Sektor

1. Sektor Energi

Sektor Energi yang dilaporkan oleh KESDM telah melaksanakan aksi mitigasi sesuai kelompok aksi dengan sumber data sesuai dengan Tabel 11.

Tabel 11. Kelompok Aksi Mitigasi Sektor Energi dan Sumber Data

No	Kategori Aksi / Aksi Mitigasi	Sumber Data
I	<i>Energy Efficiency (Efisiensi Energi)</i>	
1	Penerapan mandatori manajemen energi untuk pengguna padat energi	Data Konservasi
2	Peningkatan efisiensi peralatan rumah tangga	
	- Compact Fluorescent Lamp (CFL)	Data Konservasi
	- Piranti pengkonidisi udara (Air Conditioning)	Data Konservasi
3	Pembangunan PJU Retrofitting Lampu LED	Data Infrastruktur
4	Implementasi Joint Mechanism di Indonesia	Data Sekretariat JCM
5	Program Penghargaan Subroto Bidang Efisiensi Energi	Data Konservasi
6	Program Konversi Motor Listrik	Data Konservasi
II	<i>RE as Power & RE as Fuel (Energi Baru Terbarukan)</i>	
7	Pembangkit Energi Baru Terbarukan	
	- PLTP	Data Panas Bumi
	- PLTMH	
	PLTMH off Grid	Data Aneka EBT
	PLTMH on Grid	Data DJK
	- PLTM	
	PLTM off Grid	Data Aneka EBT
	PLTM on Grid	Data DJK
	- PLTS	
	PLTS off Grid	Data Aneka EBT
	PLTS on Grid	Data DJK
	- PLTS Rooftop	
	PLTS Rooftop (APBN)	Data Aneka EBT
	PLTS Rooftop (IPP/Swasta)	Data Aneka EBT
	- PLT Hybrid	Data Aneka EBT
	- PLT Bayu	
	PLT Bayu off grid	Data Aneka EBT
	PLT Bayu on grid	Data Aneka EBT
	- PLT Biomassa	Data Bioenergi
	- Pembangunan PLTA	Data DJK
8	Lampu Tenaga Surya Hemat Energi (LTSHE)	

No	Kategori Aksi / Aksi Mitigasi	Sumber Data
	- FotoVoltaik (PV)	Data Aneka EBT
	- Lampu LED	Data Aneka EBT
9	PJU Tenaga Surya	Data Infrastruktur
10	Pemanfaatan Biogas	Data Bioenergi
11	Pemanfaatan Biodiesel	Data Bioenergi
III	Fuel Switching (Bahan Bakar Rendah Karbon)	
12	Fuel switching BBM Transportasi (RON 88 ke RON 90, 92, 98+)	Data BPH Migas/Pusdatin
13	Program Konversi Minyak Tanah ke LPG	Data BPH Migas/Pusdatin
14	Penggunaan gas alam sebagai bahan bakar angkutan umum perkotaan	Data BPH Migas/Pusdatin
15	Peningkatan sambungan rumah yang teraliri gas bumi melalui pipa	Data BPH Migas/Pusdatin
IV	Clean Coal Combution (Penggunaan Teknologi Pembangkit Bersih)	
16	Aksi Mitigasi Sektor Ketenagalistrikan	
	- Penggunaan Clean Coal Technology pada PLTU Batubara (Supercritical)	Data DJK
	- Pengoperasian Pembangkit Listrik Gas Baru	Data DJK
V	Post Mining Reclamation (Reklamasi Pasca Tambang - Kegiatan Lain)	
17	Reklamasi lahan pasca tambang	Data Minerba

Beberapa aksi mitigasi yang belum mendapatkan penetapan dari Dirjen PPI menggunakan referensi penghitungan sebagai berikut:

1. Penerapan Mandatori Manajemen Energi

Sistem Pelaporan Online Manajemen Energi (POME) dibangun pada tahun 2014 untuk memfasilitasi pelaporan dari industri dengan penggunaan konsumsi energi diatas 6000 TOE. Sampai dengan tahun 2022 jumlah perusahaan padat energi (konsumsi energi diatas 6000 TOE) yang telah melapor sebanyak 166 perusahaan. Penginputan data ke POME dilakukan oleh manajer energi yang tersertifikasi. Jumlah ini menunjukkan peningkatan yang signifikan dari tahun sebelumnya yaitu sebanyak 52 perusahaan.

Metodologi penghitungan pengurangan emisi GRK untuk aksi mitigasi penerapan POME ini bersumber dari aplikasi POME yang telah dibangun oleh KESDM dengan melihat dari penghematan penggunaan energi yang merupakan emiter GRK per tahun (kWh) x faktor emisi grid (kg CO₂/kWh).

2. Pemanfaatan Biogas

Penghitungan pengurangan emisi GRK pada aksi Pemanfaatan Biogas didapatkan dari pengurangan emisi GRK yang dihasilkan dari kegiatan konversi minyak tanah (*baseline*) ke biogas.

Metodologi penghitungan:

Volume digester biogas x rasio substitusi minyak tanah oleh biogas x efisiensi digester

3. Penggunaan Gas Alam sebagai Bahan Bakar Kendaraan Umum Perkotaan.

Sumber data dari Pusat Data dan Informasi KESDM.

Metodologi perhitungan:

Emisi gasoline (konsumsi setara gasoline) x faktor emisi – emisi gas alam

4. Pemanfaatan Biodiesel

Dilaksanakan melalui implementasi mandatori pemanfaatan biodiesel oleh Pertamina. Pengurangan emisi GRK dari pemanfaatan Biodiesel, dalam pelaporan tidak bisa diakumulasikan antara tahun pelaporan dan tahun sebelumnya. Hal ini karena biodiesel habis digunakan pada tahun pelaporan, berbeda dengan Biogas yang masih menghasilkan Biogas setiap tahun.

Metodologi penghitungan:

Data pemanfaatan bahan bakar nabati (BBN, kL) x faktor emisi *baseline* (diesel dan solar)

5. Reklamasi Lahan Pasca Tambang

Metodologi penghitungan pengurangan emisi GRK didasarkan atas referensi “Kajian Investigasi dan Mitigasi GRK pada Kegiatan Pertambangan” tahun 2010 oleh PT Nakarya Sembada, bahwa faktor serapan emisi dari daerah reklamasi adalah 37,6 Ton CO₂/Ha, dari area reklamasi yang berumur 1 tahun dengan jenis tanaman pioner (sengon, trembesi, gamal, jabon, dll).

Estimasi penyerapan ini dilakukan secara linier di mana faktor emisi dianggap sama di tahun-tahun pengamatan dengan data yang tersedia, meskipun serapan karbon senantiasa berubah di tahun berikutnya karena dipengaruhi faktor-faktor eksternal maupun internal.

Dari hasil pencermatan diketahui bahwa aksi mitigasi Reklamasi Lahan Pasca Tambang akan dihitung di sektor lahan/kehutanan karena kegiatan ini dapat meningkatkan serapan karbon, sehingga metodologi penghitungan akan mengikuti metodologi yang dibangun di sektor lahan/kehutanan dengan memperhatikan luas tutupan lahan.

6. Program Konversi Minyak Tanah ke LPG

Program dilaksanakan melalui realisasi penggunaan tabung gas LPG 3 kg di seluruh Indonesia oleh KESDM.

Metodologi penghitungan:

Emisi minyak tanah (konsumsi setara minyak tanah x faktor emisi) – emisi LPG (konsumsi LPG x faktor emisi)

a. Subsektor Energi di Transportasi

1. Transportasi Darat

- a) Mendorong Pembinaan dan Pengembangan Sistem Transit – Bus Transit (BRT)

Metodologi penghitungan didapat dari: Jumlah Pengurangan emisi GRK dari BRT yaitu jumlah bus untuk BRT x faktor konversi x jumlah tahun program/jumlah angkutan umum x faktor emisi CO₂

- b) Pemanfaatan Teknologi Lalu Lintas untuk Kelancaran Lalu Lintas di Jalan Nasional (*Area Traffic Control System / ATCS*)

Metodologi Perhitungan Pengurangan emisi GRK dengan cara: rata2 konsumsi bahan bakar sebelum penerapan ATCS – rata2 konsumsi bahan bakar sesudah penerapan ATCS) x (faktor emisi x total trip per tahun) / 1000

- c) Penggunaan Solar Cell pada PJU

Pengurangan emisi dihitung dari: jumlah PJU per wilayah x nilai energi 1 lampu x jam operasi per tahun x faktor emisi

2. Transportasi Laut

- a) Efisiensi Manajemen Operasional Pelabuhan (Pembangunan Teknologi Solar Cell pada Sarana Bantu Navigasi Pelayaran (SBNP))

Metode perhitungan pengurangan emisi GRK yaitu penggunaan BBM SBNP x faktor emisi

- b) Modernisasi Kapal (Peremajaan Kapal & Teknologi Kapal) (Kapal Perintis)

Metode perhitungan pengurangan emisi GRK yaitu rata-rata daya Genset x Load Factor x FE CO₂ x jam operasi setahun

3. Transportasi Udara

Metodologi penghitungan pada transportasi udara untuk aksi mitigasi PLTS, Pemanfaatan Solar Cell, Penggunaan Lampu LED mengacu pada metodologi yang disusun oleh KESDM sedangkan untuk aksi mitigasi Penghijauan di Lingkungan Bandar Udara itu berdasarkan kajian ilmiah dari Dosen Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor (Endes N Dahlan) yang menyatakan bahwa trembesi dewasa bisa menyerap gas CO₂ sebanyak 28,5 ton/tahunnya.

Berdasarkan hasil rekomendasi Tim Panel Metodologi GRK mengatakan bahwa aksi mitigasi penghijauan di lingkungan bandar udara akan meningkatkan serapan karbon sehingga dalam perhitungannya akan mengacu pada metodologi di sektor kehutanan.

4. Transportasi Kereta Api

Metodologi di transportasi KA telah mendapatkan rekomendasi dari Tim Panel Metodologi dan telah ditetapkan untuk KA Jalur Ganda Antar Kota.

Metodologi digunakan yaitu:

$$RE_y = BE_y - PE_y - (-ETHMS_y) - LE_y$$

Di mana:

- RE_y = Reduksi emisi pada tahun y (ton CO₂)
 BE_y = *Baseline* emisi pada tahun y (ton CO₂)
 PE_y = Emisi aksi mitigasi pada tahun y (ton CO₂)
 ETHMS_y = Pengurangan emisi akibat hemat waktu perjalanan OD pada tahun y (ton CO₂)
 LE_y = *Leakage* emisi pada tahun y (ton CO₂)

b. Subsektor Energi di Industri

Aksi mitigasi: Efisiensi Energi melalui Pemanfaatan Bahan Bakar Alternatif

Perhitungan *baseline* per aksi per tahun dilakukan dengan cara memperhatikan nilai *Emission Intensity Fuel Component* (ton CO₂/TJ). Persamaan sebagai berikut:

$$Eb = (Ij \times Pk)$$

Di mana:

Eb = Emisi baseline (dalam ton CO₂/th)
Ij = Intensitas Emisi di tahun referensi
Pk = Produksi di tahun perhitungan

Perhitungan *Inventory* per aksi per tahun dilakukan dengan memperhatikan nilai *Emission Intensity Fuel Component* (ton CO₂/TJ) yang ditentukan oleh industri dan berubah setiap tahun. Dengan persamaan sebagai berikut:

$$Ea = Ik \times Pk$$

Di mana:

Ea = Emisi aktual tahunan (dalam ton CO₂)
Ik = Intensitas Emisi di tahun perhitungan
Pk = Produksi di tahun perhitungan

Perhitungan Pengurangan emisi GRK dilakukan sebagai berikut:

$$PE = Eb - Ea$$

Di mana:

PE = Pengurangan Emisi
Eb = Emisi baseline
Ea = Emisi aktual

2. Sektor IPPU

Metodologi penghitungan pengurangan emisi GRK untuk sektor IPPU dengan memperhatikan:

1. Data Aktivitas didapat dari Produksi Cemenitis dalam Ton
2. Faktor Emisi yang digunakan yaitu *Emission Intensity Calcination*
3. Perhitungan *baseline* per aksi per tahun dilakukan dengan cara memperhatikan nilai *Emission Intensity Calcination* (ton CO₂/TJ), dengan persamaan sebagai berikut:

$$Eb = (Ij \times Pk)$$

Di mana:

Eb = Emisi *baseline* (dalam ton CO₂/th)
Ij = Intensitas Emisi kalsinasi di tahun referensi
Pk = Produksi clinker di tahun perhitungan

4. Perhitungan *Inventory* per aksi per tahun dilakukan dengan memperhatikan nilai *Emission Intensity Calcination* (ton CO₂/TJ) yang ditentukan oleh industri dan berubah setiap tahun, dengan persamaan sebagai berikut:

$$Ea = (Ik \times Pk)$$

Di mana:

Ea = Emisi aktual tahunan (dalam ton CO₂)
Ik = Intensitas Emisi kalsinasi di tahun perhitungan
Pk = Produksi clinker di tahun perhitungan

5. Perhitungan Pengurangan emisi GRK dilakukan dengan:

$$PE = Eb - Ea$$

Di mana:

PE = Pengurangan Emisi (ton CO₂)
 Eb = Emisi baseline
 Ea = Emisi aktual

3. Sektor Pertanian

Verifikasi sektor pertanian dilakukan terhadap aksi/kegiatan mitigasi pengurangan emisi GRK yang dilakukan oleh penanggung jawab aksi (Kementerian Pertanian). Aksi/kegiatan mitigasi yang diverifikasi meliputi kegiatan: (1) Mitigasi emisi CH₄ 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) Penerapan Teknologi Budidaya Tanaman melalui Penanaman Padi Varietas Rendah Emisi; (5) Perbaikan Kualitas Pakan Sapi Perah; (6) Pemupukan Berimbang; dan (7) Pengelolaan muka air tanah (MAT) lahan gambut.

Perhitungan capaian pengurangan emisi GRK sektor pertanian mengacu pada metode IPCC *Guidelines* 2006 melalui pendekatan penghitungan emisi baseline (emisi sebelum dilakukan aksi/kegiatan mitigasi) dikurangi dengan emisi aktualnya (emisi setelah dilakukan aksi/kegiatan mitigasi).

4. Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

Metodologi perhitungan emisi GRK untuk 5 (lima) aksi/kegiatan mitigasi pengurangan emisi GRK dan/atau peningkatan serapan GRK sektor kehutanan adalah sebagai berikut:

1. Penurunan Deforestasi
 Verifikasi capaian pengurangan emisi dari kegiatan pengurangan deforestasi dilakukan melalui pendekatan penghitungan dengan cara pengurangan tingkat rujukan emisi hutan (TREH/FREL) dari deforestasi dengan emisi aktual dari deforestasi yang terjadi pada tahun berjalan.
2. Penurunan Degradasi Hutan
 Verifikasi capaian pengurangan emisi dari kegiatan pengurangan degradasi hutan dilakukan melalui pendekatan penghitungan dengan cara pengurangan tingkat rujukan emisi hutan (TREH/FREL) dari degradasi hutan dengan emisi aktual dari degradasi hutan yang terjadi pada tahun berjalan.
3. Rehabilitasi Hutan dan Lahan (RHL)
 Verifikasi capaian peningkatan serapan GRK dari kegiatan rehabilitasi hutan dan lahan (RHL) dilakukan melalui pendekatan penghitungan dengan cara pengurangan serapan GRK dari tutupan lahan nonhutan yang menjadi hutan dengan serapan GRK aktual dari tutupan lahan berupa hutan yang berasal dari nonhutan pada tahun berjalan.
4. Pengurangan Emisi Dekomposisi Gambut (*peat decomposition*)
 Verifikasi capaian pengurangan emisi dari dekomposisi gambut (*peat decomposition*) dilakukan melalui pendekatan penghitungan dengan cara pengurangan dekomposisi gambut (*peat decomposition*) dengan emisi aktual dari dekomposisi gambut (*peat decomposition*) pada tahun berjalan.
5. Pengendalian Kebakaran Gambut (*peat fire*)
 Verifikasi capaian pengurangan emisi dari kegiatan pengendalian kebakaran gambut (*peat fire*) dilakukan melalui pendekatan penghitungan emisi *baseline* dari kebakaran gambut (*peat fire*) dengan emisi aktual dari kebakaran gambut (*peat fire*) pada tahun berjalan.

5. Sektor Limbah

Prinsip dasar perhitungan pengurangan emisi dan/atau peningkatan serapan GRK adalah sebagai berikut:

- 1. Pengurangan emisi GRK dihitung sebagai selisih antara jumlah emisi GRK sebelum adanya aksi mitigasi (emisi *baseline*) dan jumlah emisi sesudah adanya aksi mitigasi (emisi aksi).
- 2. Untuk aksi mitigasi yang meningkatkan serapan GRK, hasil aksi mitigasi adalah peningkatan serapan (PS) atau selisih antara jumlah serapan GRK setelah adanya aksi mitigasi (serapan aksi) dan jumlah serapan sebelum adanya aksi mitigasi (serapan *baseline*).

Secara lebih detail, berikut diuraikan metodologi penghitungan pengurangan emisi GRK untuk proses verifikasi pada aksi mitigasi tiap subsektor limbah:

a. Subsektor Limbah Padat Domestik

Baseline pada aksi mitigasi pada subsektor limbah padat domestik ini adalah emisi GRK dari pengelolaan limbah padat domestik di TPA dalam satuan ton CO₂e di tahun berjalan sampai dengan 2030.

- 1) Data aktivitas *baseline*:
Berat sampah masuk ke TPA (ton/thn), komposisi sampah dan *dry matter content* di TPA menggunakan data nasional, jumlah sampah yang dibakar (*open burning*), jumlah sampah yang tidak terkelola.
- 2) Data Aktivitas Mitigasi:
 - a) Kelompok Aksi Pengurangan Emisi GRK
Berat sampah masuk ke TPA (ton/thn), komposisi sampah di TPA menggunakan data nasional, volume LFG yang dimanfaatkan (dibakar/*flaring*, pembangkit listrik, sambungan rumah tangga/SRT).
 - b) Kelompok Aksi *Methane Avoidance* (Pencegahan Pembentukan Gas Metan)
Jumlah sampah masuk TPA (ton/tahun), jumlah sampah yang dikomposkan (ton/tahun) atau (kg/tahun), jumlah sampah kertas yang didaur ulang, volume LFG yang masuk pembangkit listrik, berat sampah yang dijadikan RDF (ton/thn).

Emisi <i>Baseline</i> – Emisi Setelah Mitigasi
Emisi <i>Baseline</i>: Berat sampah masuk TPA x komposisi sampah di TPA x <i>dry matter content</i> x parameter <i>default</i> IPCC

Emisi Setelah Mitigasi:

1. Kelompok aksi pengurangan emisi GRK :

$$[\text{Berat sampah masuk TPA} \times \text{komposisi sampah di TPA} \times \text{dry matter content} \times \text{parameter default IPCC}] - \text{volume LFG yang dimanfaatkan}$$
2. Kelompok aksi *methane avoidance*:
 - 3R (kertas);
 Berat sampah kertas yang didaur ulang $\times$ komposisi sampah kertas di TPA $\times$ *dry matter content* kertas $\times$ parameter default IPCC
 - Komposting;
 Emisi GRK dari proses komposting + $[\text{Berat sampah organik yang dikomposkan} \times \text{komposisi sampah organik di TPA} \times \text{dry matter content sampah organik} \times \text{parameter default IPCC 2006}]$
 Catatan: sampah organik terdiri dari sisa makanan dan sampah taman
 - PLTSA
 Pengurangan gas metan per Kwh listrik (14 MW per 1000 ton sampah) yang dihasilkan (dengan asumsi komposisi gas metan di LFG 50% dan *heating value* LFG 1.500 kkal/kg (*low heating value*)). Emisi mitigasi = (ukur langsung volume LFG di meter gas ke *power plant* $\times$ % CH_4) + (LFG di meter ukur *flaring* $\times$ % CH_4) + (produksi listrik netto $\times$ EF listrik grid)
 Catatan: sampah organik terdiri dari sisa makanan dan sampah taman
 - RDF

$$\text{Project emission} = \text{insinerasi sampah} + \text{pemakaian listrik sendiri} + \text{PS impor (grid)} + \text{fuel untuk genset.}$$

$$\text{Emisi mitigasi} = \text{BAU (unmanaged deep} + \text{konsumsi listrik impor)} - [(\text{produksi listrik netto} \times \text{EF listrik grid}) - \text{project emission}]$$

b. Subsektor Limbah Padat Industri

Data aktivitas mitigasi: Volume lumpur yang ditangani (dikeluarkan dari unit IPAL), Berat limbah padat yang dipakai untuk bahan bakar (ton/tahun), Berat lumpur yang dikomposkan.

Emisi Baseline: Emisi dari *sludge anaerobik* (MCF 0,8)

Emisi Setelah Mitigasi: Emisi dari *sludge* yang aerobik

1. Penanganan lumpur dari IPAL industri
 Catatan: Apabila lumpur digunakan sebagai bahan bakar maka terdapat emisi dari pembakaran biomassa dan bahan bakar yang digunakan untuk pengeringan
2. Pemanfaatan limbah padat industri (*biomass solid waste*) sebagai bahan bakar alternative
3. Pemanfaatan lumpur sebagai kompos

c. Subsektor Limbah Cair Domestik

1. Baseline sektor: Emisi GRK dari pengelolaan limbah cair domestik dalam satuan ton CO_2e di tahun berjalan sampai dengan 2030.
2. Data aktivitas *baseline*: Jumlah penduduk, laju BOD per kapita (kg BOD/orang/tahun), konsumsi protein (kg protein/orang/tahun), % penggunaan tangki septik dan non tangki septik di tingkat desa dan perkotaan.

3. Data aktivitas mitigasi: Jumlah penduduk, laju BOD per kapita (kg BOD/orang/tahun), konsumsi protein (kg protein/orang/tahun), % penggunaan tangki septik dan non tangki septik di tingkat desa dan perkotaan, volume gas CH_4 yang dimanfaatkan (dibakar/ flaring, pembangkit listrik, sambungan rumah tangga/SRT).

Emisi Baseline: [Jumlah penduduk x laju BOD per kapita x fraksi jenis pengolah limbah x faktor emisi] + [Jumlah penduduk x konsumsi protein per kapita x parameter default IPCC 2006 x faktor emisi]

Emisi Setelah Mitigasi: [Jumlah penduduk x laju BOD per kapita x fraksi jenis pengolah limbah x faktor emisi] – volume gas CH_4 yang dimanfaatkan + [Jumlah penduduk x konsumsi protein per kapita x parameter default IPCC 2006 x faktor emisi]

Dengan asumsi:

Untuk penduduk pedesaan penggunaan tangki septik 52% dan non tangki septik 48%;

Untuk penduduk perkotaan penggunaan tangki septik 79% dan non tangki septik 21%.

d. Subsektor Limbah Cair Industri

1. *Baseline* kegiatan: Emisi GRK dari pengelolaan limbah cair industri dalam satuan ton CO_2e di tahun berjalan sampai dengan 2030.
2. Data aktivitas *baseline*: Total Produksi (ton/tahun), Nilai COD INLET & Outlet (mg/l), Debit air limbah (liter/hari)
3. Data aktivitas mitigasi: Biodigester POME untuk pembangkit listrik maupun suplai panas industri dengan keadaan ekivalen MWe (*Megawatt electrical*)
Sludge yang dimanfaatkan (ton/tahun) untuk: i) kompos, ii) bahan bakar di boiler, iii) bahan baku

Emisi Baseline – Emisi Setelah Mitigasi

Di mana Emisi *baseline*:

- Limbah cair POME: Emisi tanpa pemanfaatan biogas POME
- Limbah cair pulp paper: Emisi dari sludge yang tidak dimanfaatkan (asumsi baseline: i) sludge di-landfillkan, ii) sludge diolah di IPAL sludge)

Sedangkan Emisi setelah mitigasi:

- Biogas POME: Emisi setelah pemanfaatan biogas POME untuk bahan bakar alternative.
- Limbah cair pulp paper: Pemanfaatan IPAL sludge (contoh: kompos, bahan bakar, bahan baku)



BAB IV HASIL INVENTARISASI GRK NASIONAL



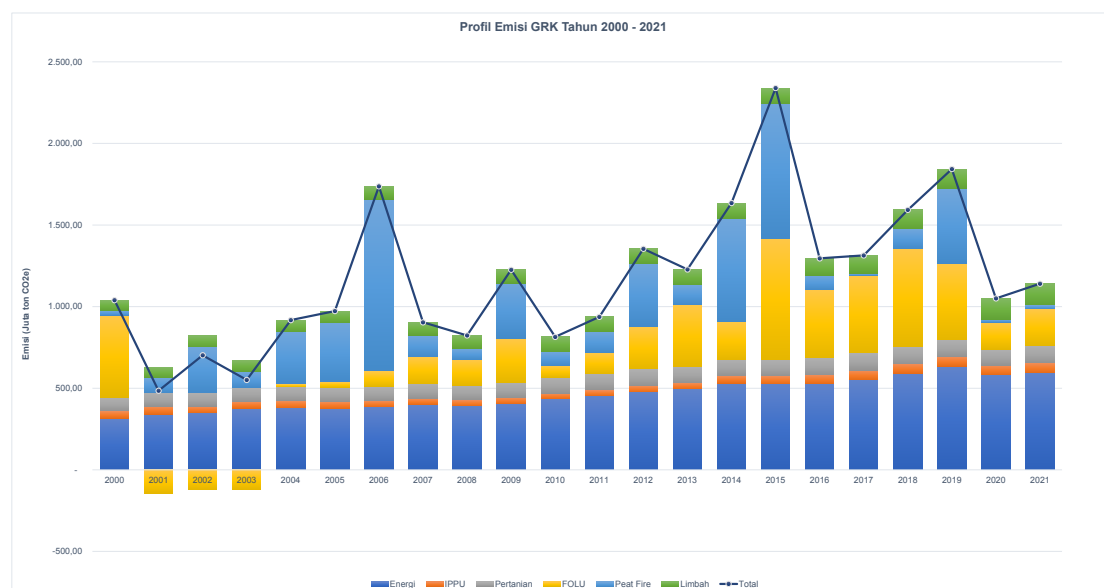
BAB IV HASIL INVENTARISASI GRK NASIONAL

4.1. Profil Emisi GRK Nasional

Hasil perhitungan inventarisasi GRK nasional menunjukkan tingkat emisi GRK di tahun kegiatan 2021 yaitu **1.140.667 Gg CO₂e (1.140,67 Juta ton CO₂e)** meningkat sebesar 101,05 Juta ton CO₂e dibanding tingkat emisi tahun 2000 sebagai awal inventarisasi GRK dilakukan dan meningkat sebesar 326,02 Juta ton CO₂e dibanding tingkat emisi tahun 2010 sebagai tahun dasar perhitungan emisi GRK pada NDC. Untuk emisi GRK pada tahun 2021 masing-masing kategori/sektor, adalah sebagai berikut:

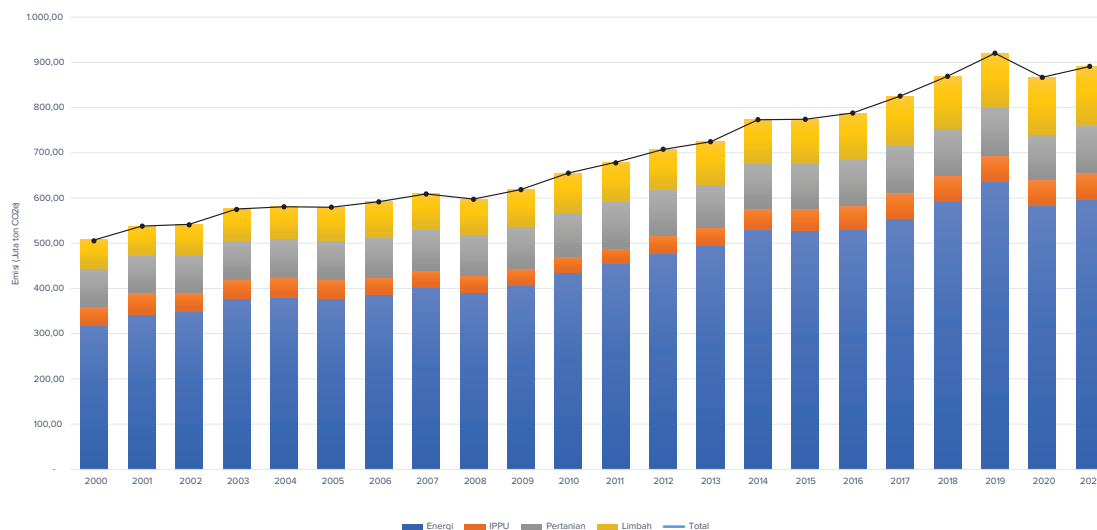
1. Energi, sebesar **595.862 Gg CO₂e**.
2. Proses Industri dan Penggunaan Produk, sebesar **59.377 Gg CO₂e**.
3. Pertanian, sebesar **105.877 Gg CO₂e**.
4. Kehutanan dan Kebakaran Gambut, sebesar **249.713 Gg CO₂e**.
5. Limbah, sebesar **129.838 Gg CO₂e**.

Profil emisi GRK selama periode 2000 – 2021 secara lebih lengkap digambarkan pada grafik pada Gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8. Profil Emisi GRK Nasional Tahun 2000 – 2021

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa selama kurun waktu 2000 – 2021, terjadi lonjakan emisi GRK Nasional pada tahun 2015 yang sebagian besar disebabkan emisi pada kebakaran gambut (*peat fire*). Kategori FOLU dan kebakaran gambut menyumbang emisi sebesar 1.565.500 Gg CO₂e dari total emisi pada tahun tersebut sebesar 2.339.650 Gg CO₂e. Sedangkan pada tahun 2021, emisi dari FOLU dan kebakaran gambut dapat ditekan menjadi 249.713 Gg CO₂e. Sedangkan emisi pada sektor lainnya pada tahun 2020 dan 2021 mengalami perubahan (peningkatan/pengurangan) yang delta-nya tidak terlalu besar terhadap total emisi pada tahun dimaksud, sebagaimana tergambar pada Gambar 9.



Gambar 9. Profil Emisi GRK Nasional Tahun 2000 – 2021 (Tanpa Kehutanan dan Kebakaran Gambut)

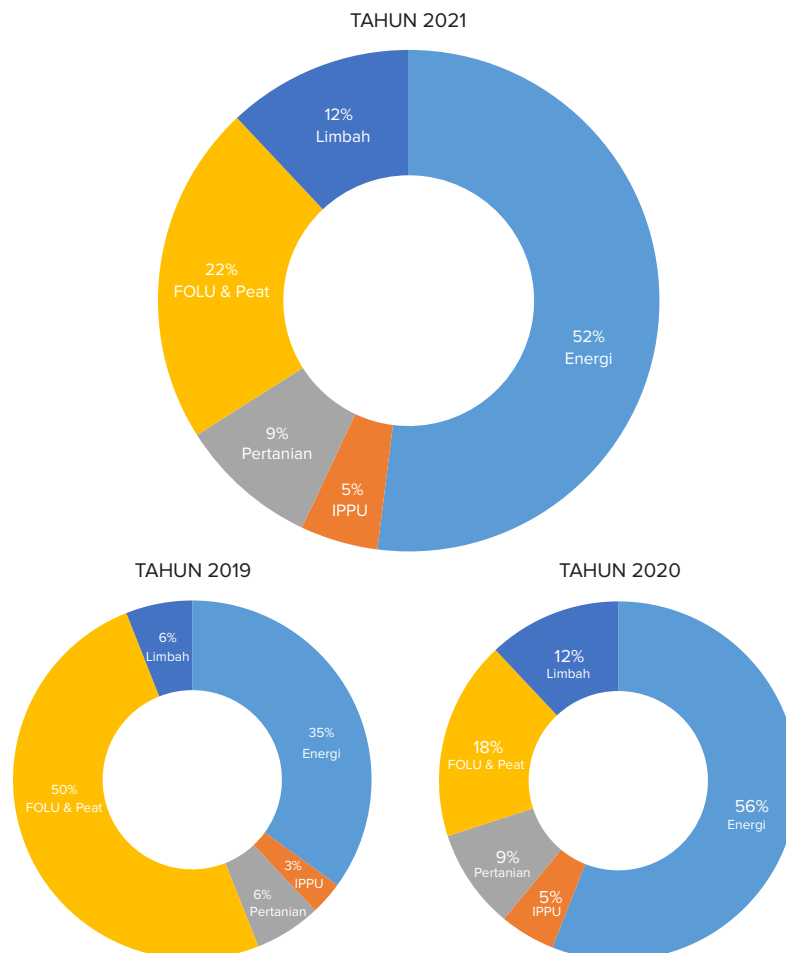
Emisi GRK Nasional secara detail pada masing-masing kategori/sektor dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Emisi GRK Nasional Tahun 2000 – 2021 (Juta ton CO₂e)

Tahun	Energi	IPPU	Pertanian	FOLU	Peat Fire	Limbah	Total
2000	317,61	42,92	84,54	502,56	29,80	62,19	1039,62
2001	341,92	48,31	82,79	(144,33)	91,10	64,86	484,65
2002	349,49	41,71	83,27	(119,03)	278,98	67,42	701,83
2003	378,05	41,45	86,17	(120,43)	95,69	70,16	551,08
2004	380,43	43,20	85,95	17,06	319,95	71,07	917,67
2005	376,99	42,35	87,41	33,12	360,12	72,87	972,86
2006	386,10	38,68	88,69	92,19	1053,08	78,37	1737,12
2007	402,99	35,95	91,76	161,80	133,20	78,33	904,02
2008	391,78	36,53	90,62	157,34	68,26	78,83	823,36
2009	405,65	37,57	93,96	268,55	338,66	81,58	1225,96
2010	434,72	35,73	96,96	73,34	86,13	87,77	814,64
2011	454,48	34,60	102,98	126,39	131,71	86,94	937,10
2012	477,85	38,84	101,69	259,94	386,79	89,21	1354,32
2013	496,03	37,87	97,05	381,48	121,85	93,57	1227,85
2014	531,14	46,00	100,09	231,84	630,23	95,88	1635,19
2015	527,10	48,75	100,69	742,84	822,74	97,54	2339,65
2016	529,58	53,77	102,64	417,39	90,27	102,11	1295,74
2017	553,97	57,09	105,36	476,01	12,51	108,94	1313,88
2018	593,03	57,48	104,05	602,19	121,32	114,64	1592,71
2019	636,45	58,17	105,30	466,40	456,43	120,33	1843,08
2020	584,28	57,19	101,98	164,97	18,46	126,80	1053,69
2021	595,86	59,38	105,88	225,80	23,92	129,90	1140,67

Pada tahun 2021, sektor yang memberikan kontribusi terbesar terhadap emisi GRK nasional adalah sektor energi (52,23%), diikuti oleh sektor kehutanan dan kebakaran gambut (21,89%), limbah (11,39%), pertanian (9,28%), dan IPPU (5,21%) sebagaimana Gambar 10 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 akibat penurunan kebakaran gambut. Gambar 10 juga menunjukkan bahwa kecenderungan setiap tahun sektor kehutanan dan kebakaran gambut serta sektor energi merupakan sektor penyumbang emisi yang dominan terhadap emisi GRK Nasional yang cenderung melebihi 50% dari total emisi nasional.

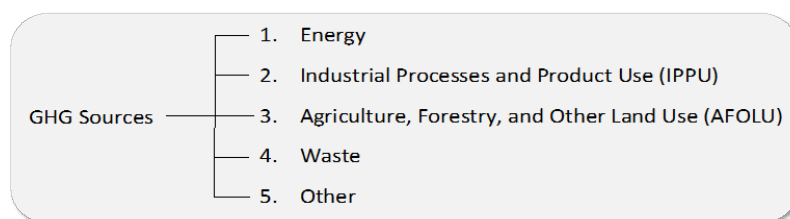
Pada tahun 2019 dan 2020 berturut-turut sektor kehutanan dan kebakaran gambut menyumbang emisi sebesar 50,07% dan 17,46% serta sektor energi menyumbang emisi sebesar 34,53% dan 55,62%. Dengan demikian, pada tahun 2020 terjadi peningkatan kontribusi emisi sektor energi dan pengurangan emisi pada sektor kehutanan dan kebakaran gambut yang signifikan.



Gambar 10. Kontribusi Emisi GRK Sektoral Terhadap Emisi GRK Nasional

4.2. Profil Emisi Sektoral

Bab ini membahas rangkuman Inventarisasi GRK Nasional Indonesia tahun 2021. Inventarisasi GRK Nasional mencakup rincian emisi antropogenik berdasarkan sumber dan resapan, yang dihitung menggunakan IPCC *Guidelines* 2006 (Gambar 11). Inventarisasi GRK nasional mencakup sektor-sektor sebagai berikut: (a) energi, (b) proses industri dan penggunaan produk, (c) pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan lainnya; dan (d) limbah.



Gambar 11. Kategori Utama Sumber Emisi GRK

4.2.1. Sektor Energi

A. Kategori Sumber Emisi GRK dari Sektor Energi

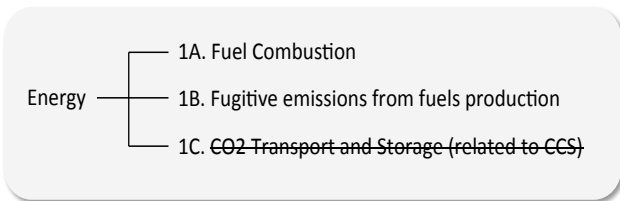
Kegiatan Pengadaan dan Penggunaan Energi merupakan salah satu sektor penting dalam inventarisasi emisi gas rumah kaca (GRK). Cakupan inventarisasi sektor energi meliputi kegiatan pengadaan/penyediaan energi dan penggunaan energi. Pengadaan/penyediaan energi meliputi kegiatan-kegiatan sebagai berikut:

1. Eksplorasi dan eksploitasi sumber-sumber energi primer (misal 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 (terkait *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 12.



Gambar 12. Sumber Emisi GRK dari Sektor Energi

1. Pembakaran Bahan Bakar (Fuel Combustion)

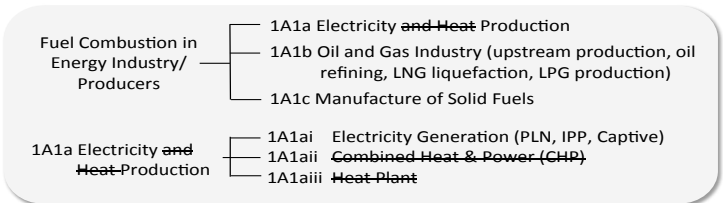
Emisi GRK yang berasal dari pembakaran bahan bakar termasuk emisi yang dihasilkan oleh industri energi, manufaktur, industri (tidak termasuk konstruksi), transportasi, dan sumber-sumber lainnya seperti rumah tangga, komersial, dan ACM (*Agriculture, Construction, and Mining*), sebagaimana Gambar 13. 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 13. 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.

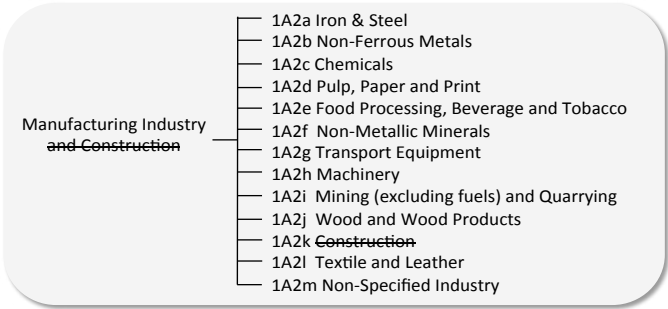


Gambar 14. Cakupan Sumber Emisi GRK dari Pembakaran Bahan Bakar di Industri Energi

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.

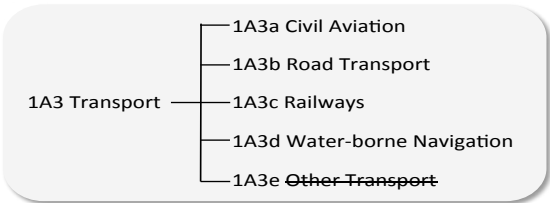


Gambar 15. Sumber Emisi GRK dari Pembakaran Bahan Bakar pada Industri Manufaktur

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 16. Cakupan Sumber Emisi GRK dari Pembakaran Bahan Bakar Transportasi

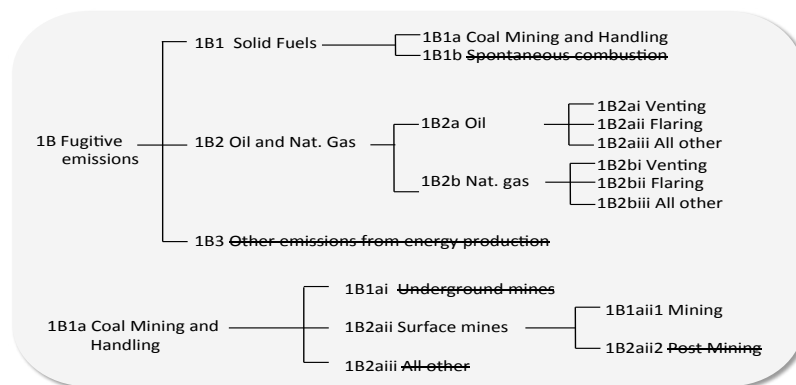
d. Pembakaran Bahan Bakar Sektor Lainnya

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 CO₂ dan gas 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 17. 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 2021.

D. Sumber Data

Semua data dan informasi terkait inventarisasi emisi GRK sektor energi kecuali pada subkategori 1A1b Pembakaran Bahan Bakar di Refinery Minyak dan Gas Bumi dikumpulkan dari satu sumber, yaitu Tabel Kesenjangan Energi dalam *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia* tahun 2021 yang diterbitkan oleh Pusdatin, Kementerian Energi dan Sumber Daya (ESDM), kecuali untuk subkategori 1A1b Pembakaran Bahan Bakar di Refinery Minyak dan Gas Bumi.

Data dari Tabel Kesenjangan Energi berupa data konsumsi bahan bakar pada suatu kategori, produk yang dihasilkan dari kategori tersebut dan data transformasi energi. Unit data aktivitas dalam Tabel Kesenjangan 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 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.

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:

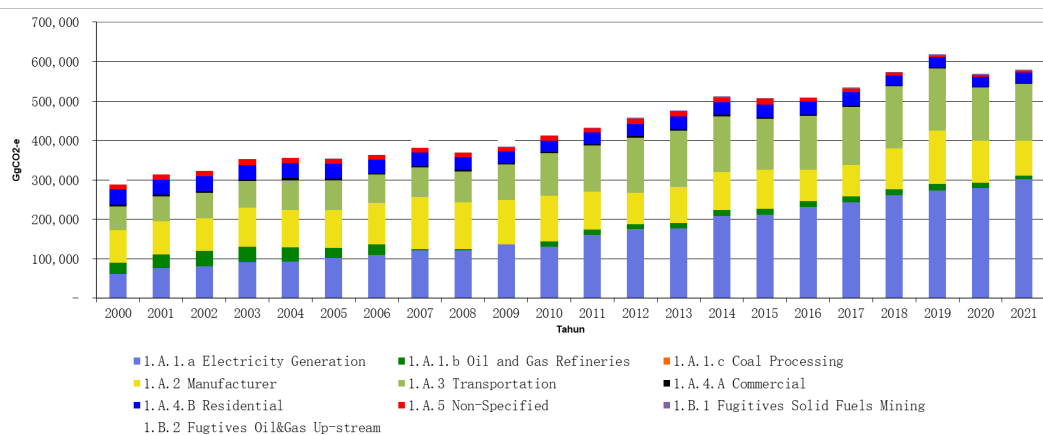
1. *Sectoral Approach*: pendekatan *bottom-up*, menggunakan data konsumsi energi final (berdasarkan data penggunaan energi).
2. *Reference approach*: pendekatan *top-down* menggunakan data pasokan energi (berdasarkan jenis bahan bakar yang diproduksi dan digunakan).

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

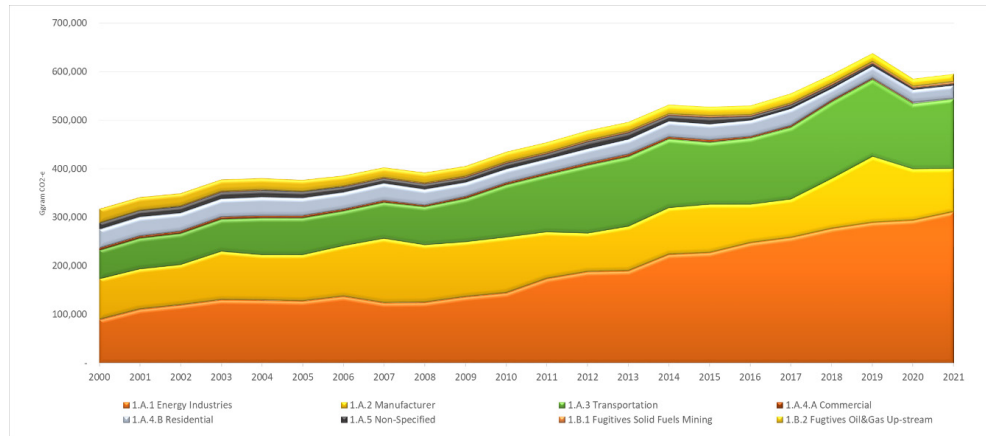
1. *Sectoral Approach*: Tingkat Emisi GRK berdasarkan Sektor

Berdasarkan pendekatan sektoral Emisi GRK dikelompokkan berdasarkan emisi subsektor. Emisi sektoral dari kegiatan energi selama periode 2000 – 2021 disajikan pada Tabel 14 yang menunjukkan emisi menunjukkan sedikit fluktuasi namun secara keseluruhan tren emisi meningkat. Pada periode amatan tahun 2000 – 2021 tingkat pertumbuhan adalah sebesar 3,1% dari 317,609 Gg CO₂e pada tahun 2000 menjadi 595,862 Gg CO₂e pada tahun 2021, 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 18, Gambar 19, dan Gambar 20.

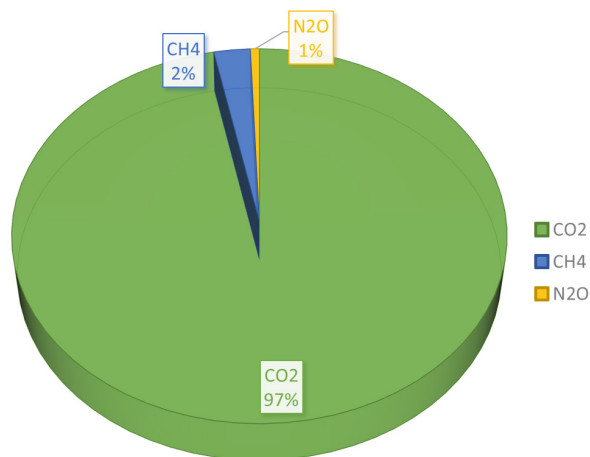
2021 dapat dilihat bahwa penggunaan energi pada industri (termasuk didalamnya penggunaan bahan bakar pada pembangkit listrik dan panas, dan penggunaan bahan bakar pada kilang minyak) merupakan penyumbang emisi terbesar pada sektor energi (50,70%), yang diikuti oleh transportasi (24,15%), industri manufaktur (14,96%), perumahan (4,57%), emisi *fugitive* dari minyak dan gas (2,75%), industri minyak dan gas (1,45%), emisi dari *non-specified* (0,64%), emisi *fugitive* dari *surface coal mining* (0,47%), emisi dari komersial (0,31%) dan emisi dari pengolahan batubara sebesar 0%.



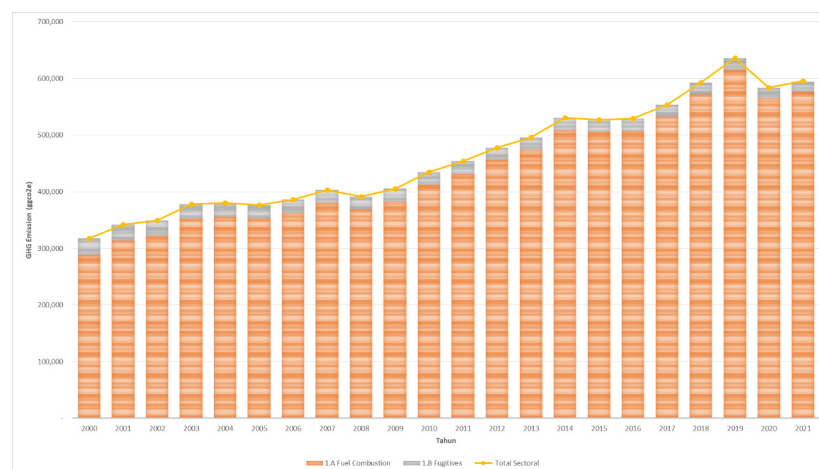
Gambar 18. Tingkat Emisi GRK Sektor Energi Berdasarkan Subkategori Sumber Emisi Tahun 2000 – 2021



Gambar 19. Kecenderungan Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2000 – 2021



Gambar 20. Tingkat Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2021 Berdasarkan Jenis Gas



Gambar 21. Perkembangan Emisi Pembakaran Bahan Bakar dan Emisi *Fugitive* Periode Tahun 2000 – 2021

Tabel 13. Emisi GRK dari Kegiatan Energi Tahun 2000 – 2021

Source of GHG Emissions		Emission (Gg CO ₂ e)																						
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
By Type of Fuel																								
1. Liquid Fuels		164.914	174.125	182.003	181.234	204.341	199.636	183.869	185.707	186.400	188.125	210.441	243.878	262.190	255.883	271.569	223.560	220.606	215.526	234.188	225.682	199.590	207.724	
2. Solid Fuels		52.911	67.169	69.334	93.076	85.518	97.997	118.121	145.745	118.057	135.904	150.024	162.633	170.658	154.837	187.476	205.753	214.607	226.934	272.744	328.057	312.577	315.118	
3. Gas Fuels		83.909	90.847	97.907	104.927	100.795	83.393	87.169	65.831	76.452	101.482	85.083	85.797	85.302	90.935	96.795	101.106	105.334	99.018	100.853	89.390	78.180	80.533	
Total by type of fuel		301.734	332.171	349.244	379.238	390.655	381.025	389.190	397.283	380.908	425.511	445.548	492.308	518.349	501.655	555.840	530.420	540.547	541.338	607.786	643.129	590.347	603.576	
By Sector/Source																								
1.A.1. Energy Industries		89.716	110.764	119.793	130.188	129.518	127.816	137.894	124.026	124.485	136.599	144.526	173.803	187.631	189.860	223.213	225.278	246.851	258.041	275.242	289.001	293.143	310.555	
1.A.1.a Electricity Generation		82.030	76.614	80.894	90.946	83.516	101.948	108.930	121.696	121.940	136.058	130.886	160.771	174.873	177.284	208.671	211.916	231.370	243.829	261.427	273.553	279.334	302.115	
1.A.1.b Oil and Gas		27.686	34.151	38.529	39.242	36.002	25.867	28.049	2.211	2.442	395	13.449	12.988	12.672	12.529	14.503	14.331	15.469	14.341	14.791	15.469	13.683	8.640	
1.A.1.c Coal Processing		-	-	-	-	-	-	115	119	103	146	192	44	86	37	39	31	71	71	24	19	126	-	
1.A.2 Manufacturer		83.369	83.555	83.034	99.575	93.449	95.040	104.245	132.982	118.579	112.972	114.542	96.171	80.028	92.072	96.422	100.174	79.484	79.683	103.167	136.179	105.641	89.145	
1.A.2.a Iron and Steel		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.591	1.991	1.780	5.241	25.093	32.606	28.266	
1.A.2.c Chemical		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.716	10.517	10.431	10.557	10.539	9.365	8.296	
1.A.2.d Pulp, Paper, and Print		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.574	12.735	10.819	12.296	12.910	6.485	4.374	
1.A.2.e Food Processing, Beverages, and Tobacco		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25.838	14.223	14.225	14.224	14.224	14.224	14.224	
1.A.2.f Non-Metallic Minerals		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.539	18.620	21.306	20.996	20.357	21.222	17.152	
1.A.2.m Non-specified Industry		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33.916	21.398	21.102	39.853	53.056	21.738	16.632	
1.A.3 Transportation		59.659	63.555	64.921	66.805	76.295	76.191	71.924	74.226	78.840	89.426	108.264	117.570	139.271	143.243	141.520	128.010	136.405	147.230	157.522	167.771	135.217	143.510	
1.A.3.a Civil Aviation		3.010	3.683	3.997	4.821	6.092	5.806	6.070	6.440	6.817	6.855	9.899	8.900	9.730	10.385	10.554	10.832	12.178	13.408	14.279	12.560	6.928	5.074	
1.A.3.b Land Transportation (Road and Railways)		56.266	59.484	60.556	61.675	69.893	70.147	65.659	67.498	71.741	82.337	98.136	108.465	129.343	132.732	130.870	117.092	124.118	133.889	143.127	145.116	128.216	138.585	
1.A.3.c Water-Borne Navigation		384	368	368	309	311	237	195	288	281	234	228	206	197	126	96	86	109	132	116	95	74	52	
1.A.4.a Commercial		4.419	4.501	4.446	4.237	4.731	4.497	3.997	3.695	3.406	3.287	3.793	3.452	4.306	4.103	3.834	4.413	2.918	3.182	2.853	1.735	1.842	1.735	
1.A.4.b Residential		38.315	38.193	37.152	37.725	37.989	36.723	34.244	34.758	32.597	29.462	28.299	28.674	29.663	31.313	32.303	32.720	33.164	34.853	25.341	26.700	26.543	27.004	
1.A.5 Non-Specified		12.765	13.366	13.105	13.823	13.822	12.667	11.290	11.035	10.936	11.027	12.505	11.848	14.670	13.501	12.443	14.288	8.853	9.095	7.031	5.130	3.664	3.930	
1.A Fuel Combustion		288.243	313.935	322.452	352.353	355.804	352.933	362.794	380.722	368.842	382.772	411.929	431.529	455.570	474.092	509.734	505.852	507.674	532.073	571.956	615.945	565.943	576.887	
1.B Fugitives		29.365	27.984	27.034	25.697	24.630	24.055	23.306	22.267	22.942	22.881	22.786	22.955	22.280	21.338	21.408	21.250	21.901	21.901	21.071	20.508	18.341	17.599	
1.B.1 Fugitives Solid Fuels Mining		335	404	451	468	577	666	845	946	1.048	1.117	1.200	1.541	1.694	2.069	1.988	2.013	1.990	1.980	2.433	2.668	2.459	2.006	
1.B.2 Fugitives Oil/Gas		29.030	27.580	26.983	25.199	24.053	23.389	22.461	21.321	21.894	21.763	21.586	21.414	20.596	19.869	19.410	19.237	19.912	19.912	18.638	17.821	15.883	16.370	
1.B.3 Other Emission from Energy Production		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total Sectoral		317.609	341.919	349.485	376.050	380.434	376.988	386.100	402.989	391.784	405.653	434.715	454.484	477.850	496.030	531.142	527.103	529.576	553.974	593.027	636.433	584.284	595.862	

Pada Gambar 20 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 21 menunjukkan perkembangan emisi dari pembakaran bahan bakar dan emisi *fugitive*.

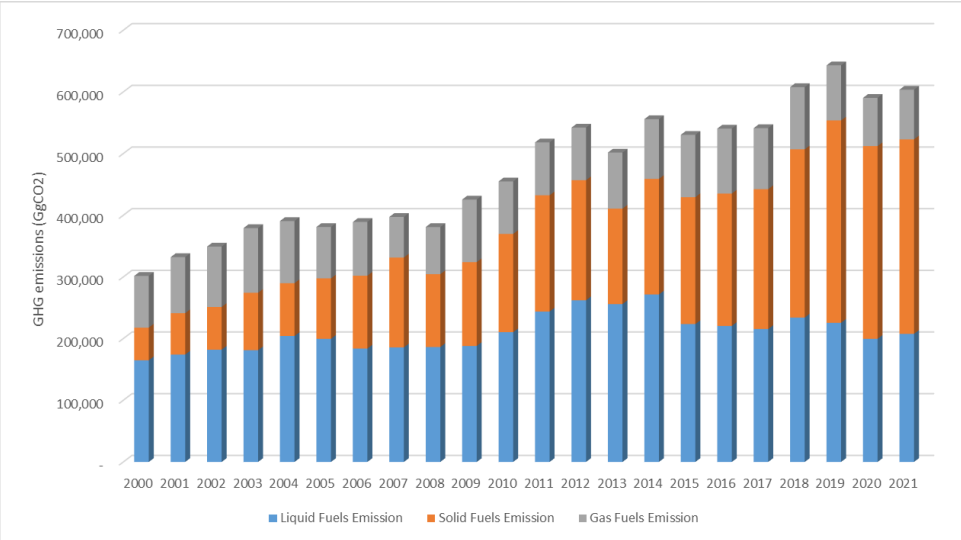
2. **Reference Approach: Tingkat Emisi GRK berdasarkan Jenis Bahan Bakar**

Berdasarkan *reference approach*, inventarisasi emisi GRK dilakukan berdasarkan jenis bahan bakar yang dipasok pada tingkat nasional dengan hasil perhitungan yang di tunjukkan pada Gambar 22. Berdasarkan pada Gambar 22, emisi GRK selama periode tahun 2000 – 2021 berfluktuatif dan cenderung mengalami peningkatan.

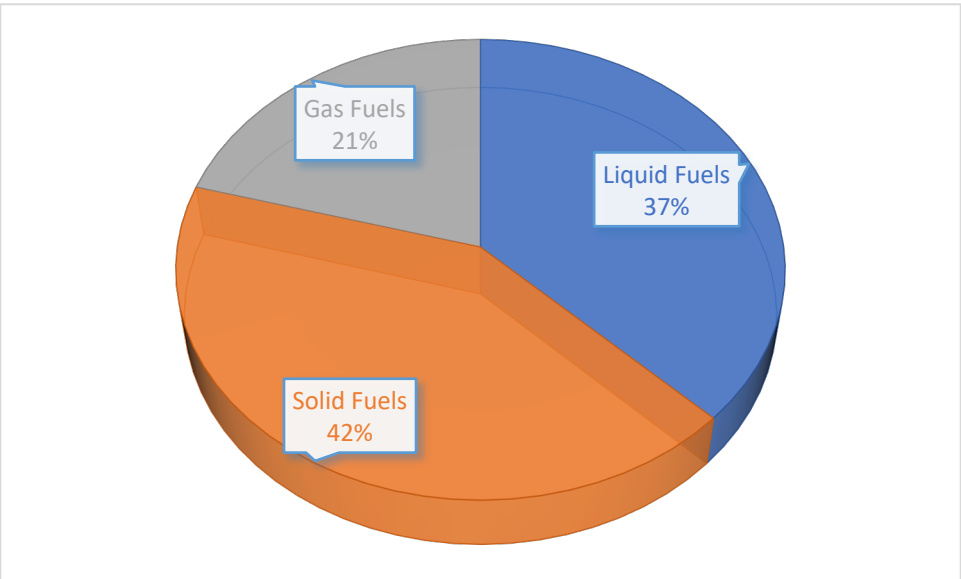
Pada tahun 2000, emisi GRK adalah sebesar 301,734 Gg CO₂ dan meningkat menjadi 603,576 Gg CO₂ pada tahun 2021 dengan tingkat pertumbuhan rata-rata pertahun sebesar 3,2%. Selama periode 2000 – 2016, sumber emisi GRK didominasi oleh bahan bakar cair, namun sejak tahun 2017, emisi didominasi oleh bahan 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 2021 sebesar 603.576 Gg CO₂, sebesar 52% (315.318 Gg CO₂) berasal dari batubara, minyak (bahan bakar cair) berkontribusi sebesar 35% (207.724 Gg CO₂), dan gas alam (bahan bakar gas) berkontribusi sebesar 13% (80.533 Gg CO₂).

Merujuk pada data tren konsumsi bahan bakar nasional pada periode 2017 – 2021, konsumsi bahan bakar didominasi oleh batubara (bahan bakar padat), kemudian diikuti oleh minyak (bahan bakar cair) dan gas alam (bahan bakar gas). Pada tahun 2021, *supply* bahan bakar hampir sebagian besar berupa batubara (bahan bakar padat), yakni 42% dari total *supply* bahan bakar domestik. Sedangkan bahan bakar cair (BBM) dan gas yang di-*supply* untuk memenuhi kebutuhan energi nasional dengan porsi masing-masing sebesar 37% dan 21%. Demikian pula dengan tingkat emisi referensi untuk bahan bakar batubara berkontribusi 42% (bahan bakar padat) sedangkan kontribusi emisi yang berasal dari bahan bakar cair dan gas masing-masing sebesar 37% dan 21%, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 23.



Gambar 22. Emisi GRK dari Pendekatan Referensi Berdasarkan Jenis Bahan Bakar Tahun 2000 – 2021



Gambar 23. Persentase Konsumsi Bahan Bakar Nasional Tahun 2021

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

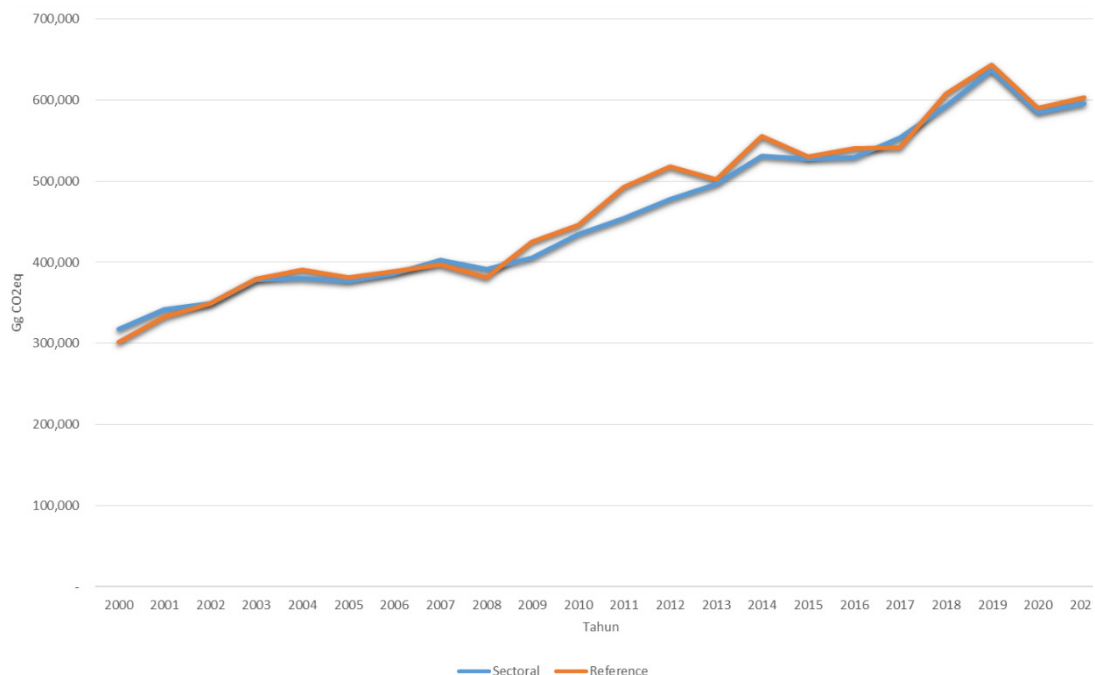
Berdasarkan IPCC *Guidelines* 2006, menerapkan pendekatan referensi dan pendekatan sektoral untuk menghitung emisi CO₂ dari pembakaran bahan bakar dan membandingkan hasil kedua perhitungan tersebut adalah hal yang baik. Pendekatan Referensi adalah metode yang diterapkan pada pasokan energi, sedangkan pendekatan sektoral menggunakan data berdasarkan konsumsi bahan bakar yang digunakan, setiap bahan bakar memiliki kandungan karbon yang digunakan untuk

mengestimasi emisi GRK. Gambar 24 menunjukkan perbedaan antara pendekatan referensi dan pendekatan sektoral selama periode 2000 – 2021.

Hasil perhitungan emisi GRK menunjukkan bahwa perhitungan CO₂ menggunakan pendekatan referensi 1,3% lebih tinggi jika dibandingkan pendekatan sektoral (Tabel 14). Hal ini disebabkan dalam perhitungan emisi menggunakan pendekatan sektoral tergantung kepada data bahan bakar yang digunakan, sedangkan supply bahan bakar bisa saja lebih tinggi dari pada data bahan bakar yang benar-benar dikonsumsi. IPCC *Guidelines* 2006 menyebutkan secara umum perbedaan perhitungan dengan menggunakan kedua pendekatan ini adalah berkisar 5%.

Tabel 14. Perhitungan Emisi GRK Sektor Energi Menggunakan Metode *Reference* dan *Sectoral Approach*, Gg Co₂-Emisi GRK dari Kegiatan Energi Tahun 2021

Metode dan Sumber Emisi	2021 Emission (Gg CO ₂ e)
Metode: <i>Reference Approach</i>	
1. <i>Liquid Fuels</i>	207.724
2. <i>Solid Fuels</i>	315.318
3. <i>Gas Fuels</i>	80.533
Total <i>Reference Approach</i>	603.576
Metode: <i>Sectoral Approach</i>	
1.A <i>Fuel Combustion</i>	576.687
1.B <i>Fugitives Emissions</i>	19.176
Total <i>Sectoral Approach</i>	595.862
<i>Discrepancy</i>	1,3%



Gambar 24. Perbandingan Perhitungan Emisi dengan Menggunakan Pendekatan Referensi dan Pendekatan Sektoral Tahun 2000 – 2021

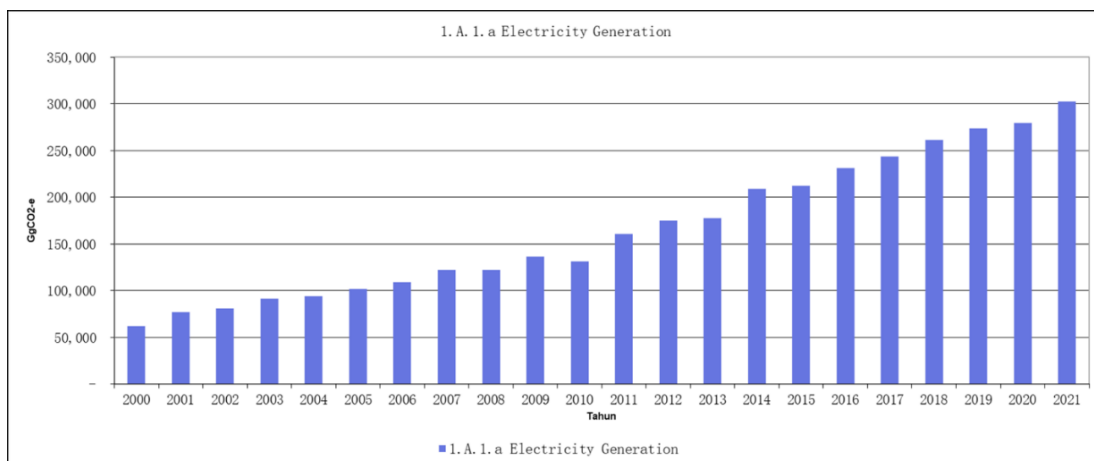
4. Emisi GRK Berdasarkan Subsektor

Perhitungan emisi GRK secara rinci untuk masing-masing subsektor emisi disajikan berikut ini subsektor: produksi listrik, industri minyak dan gas, pengolahan batubara, manufaktur, transportasi, komersial dan perumahan.

a. Emisi GRK di Subsektor Pembangkitan Listrik

Pembangkit listrik saat ini merupakan penghasil emisi GRK terbesar di antara penghasil emisi GRK di bidang sektor energi, mewakili 50,70% dari emisi sektor energi pada tahun 2021. Sumber utama emisi adalah pembakaran batu bara, sedangkan emisi sisanya dihasilkan oleh pembakaran gas alam dan bahan bakar minyak.

Gambar 25 menunjukkan bahwa emisi GRK dari pembangkit listrik mengalami peningkatan setiap tahun, tingkat pertumbuhan pertahun emisi GRK dari pembangkit listrik rata-rata sebesar 6,8% per tahun dari 62.030 Gg CO₂e pada tahun 2000 menjadi 302,115 Gg CO₂e pada tahun 2021. Batubara menyumbang sekitar 89% (267,198 Gg CO₂e) dari total emisi GRK subsektor pembangkit listrik tahun 2021. Sedangkan gas alam menyumbang emisi GRK sebesar 9% (27,642 Gg CO₂e) dan bahan bakar minyak menyumbang sebesar 2% (7,275 Gg CO₂e).

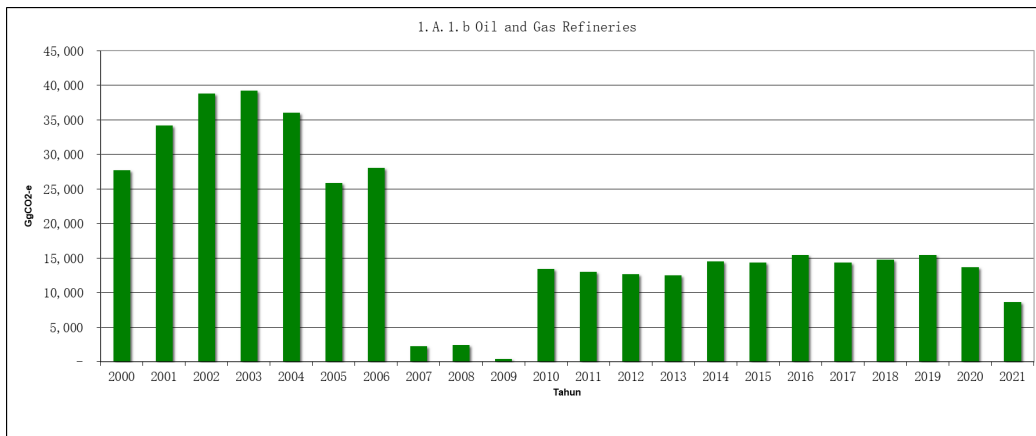


Gambar 25. Emisi GRK Subsektor Pembangkitan Listrik Tahun 2000 – 2021

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.

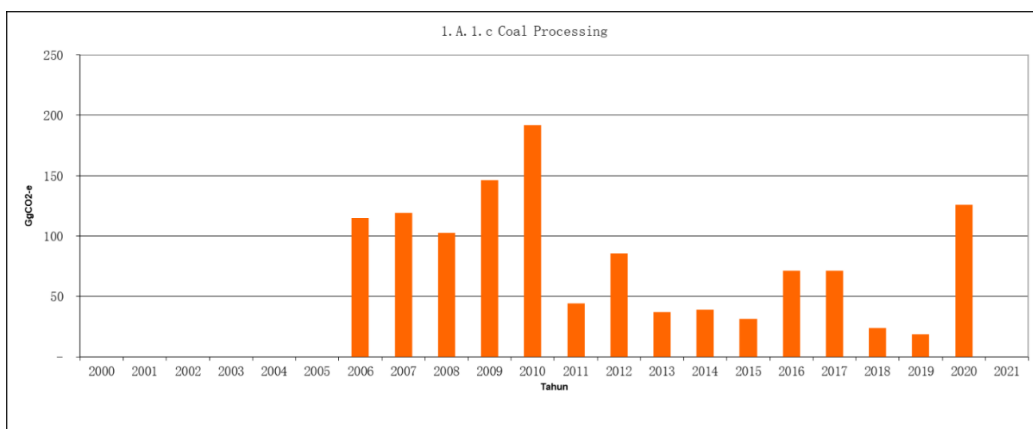
Emisi GRK pada subsektor industri minyak dan gas menunjukkan fluktuasi selama periode 2000 – 2006, diikuti penurunan tajam pada tahun 2007 dan diikuti dengan sedikit peningkatan bertahap pada tahun-tahun berikutnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 26 di bawah ini. Hal ini konsisten dengan penggunaan energi fosil yang memang berfluktuatif. Emisi GRK dari industri minyak dan gas tahun 2021 adalah sebesar 8,640 Gg CO₂e menurun sebesar 37% jika dibandingkan tahun 2020 sebesar 13,683 Gg CO₂e. Hal ini disebabkan dari perbedaan penggunaan sumber data aktivitas yang digunakan. Data Aktivitas tahun 2021 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.



Gambar 26. Emisi GRK Subsektor Industri Minyak dan Gas Tahun 2000 – 2021

c. Emisi GRK di Subsektor Pengolahan Batubara

Berdasarkan Gambar 27, pengolahan batubara telah dilakukan sejak tahun 2006. Emisi GRK pada subsektor ini berfluktuasi, dengan kecenderungan menurun. Emisi GRK dari pengolahan batubara tahun 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 karena beralih pada penggunaan energi listrik dari PLN.



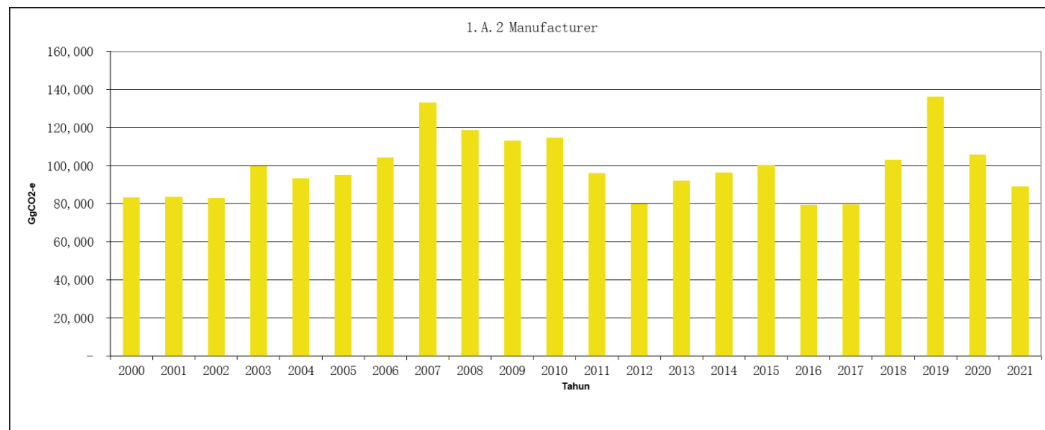
Gambar 27. Emisi GRK Subsektor Pengolahan Batubara Tahun 2000 – 2021

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 – 2021 didominasi oleh bahan bakar fosil yaitu gas bumi diikuti oleh minyak bumi dan batubara. Emisi GRK subsektor industri manufaktur tahun 2021 adalah sebesar 89,145 Gg CO₂e menurun sebesar 16% jika dibandingkan tahun 2020 (105,641 Gg CO₂e).

Penerunan emisi GRK pada subsektor industri manufaktur sesuai dengan konsumsi energi yang mengalami penurunan dibandingkan dengan tahun 2020. Berdasarkan publikasi HEESI tahun

2021, konsumsi energi untuk subsektor industri manufaktur pada tahun 2021 mengalami penurunan rata-rata sebesar 3% (317,568 MBOE) jika dibandingkan dengan tahun 2020 (328,300 MBOE). Dengan penurunan terbesar yaitu konsumsi batubara turun 23%, diikuti oleh gas alam 8%. Namun konsumsi BBM, LPG, dan listrik meningkat masing-masing sebesar 15%, 7%, dan 13%. Turunnya konsumsi batubara di sektor ini berdampak signifikan terhadap pengurangan emisi GRK, dimana tingkat emisi GRK di tahun 2021 turun sebesar 16% dibandingkan tahun 2020.



Gambar 28. Emisi GRK Subsektor Industri Manufaktur Tahun 2000 – 2021

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 – 2021 ditunjukkan pada Gambar 29.

Selama periode tahun 2000 – 2021, tingkat pertumbuhan emisi GRK di subsektor transportasi rata-rata sebesar 4,8% per tahun. Pada tahun 2021, Emisi GRK di subsektor transportasi sebesar 143,910 Gg CO₂e meningkat sebesar 6% jika dibandingkan dengan tahun 2020 (135,217 Gg CO₂e).

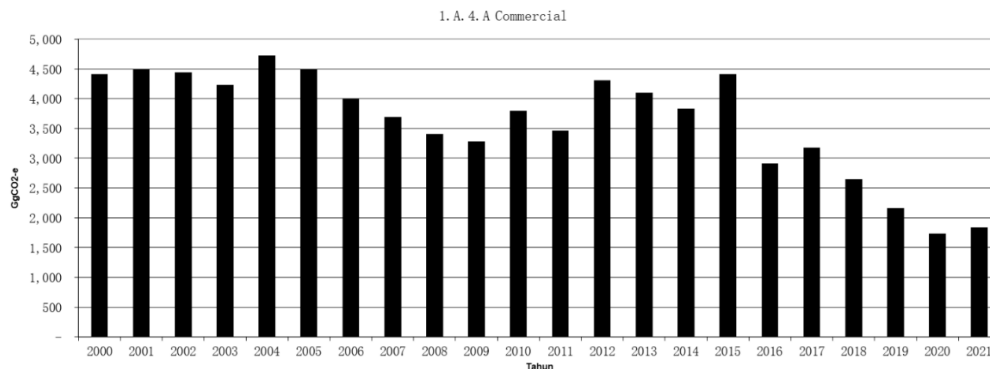
Emisi GRK dari subsektor transportasi dipisahkan menjadi penerbangan sipil, Transportasi Darat (Jalan Raya dan Kereta Api), dan Navigasi Lintas Air. Emisi GRK didominasi oleh kegiatan transportasi darat. Pada tahun 2021 emisi transportasi darat menyumbang sebesar 96% dari total emisi GRK subsektor transportasi.



Gambar 29. Emisi GRK Subsektor Transportasi Tahun 2000 – 2021

f. Emisi GRK di Subsektor Komersial

Pada Gambar 30 menunjukkan tren emisi GRK di subsektor komersial selama periode tahun 2000 – 2021. Gambar tersebut menunjukkan bahwa emisi GRK berfluktuasi selama periode tersebut. Perbandingan tahun 2000 dan 2021 menunjukkan pengurangan emisi GRK yang signifikan pada subsektor komersial.



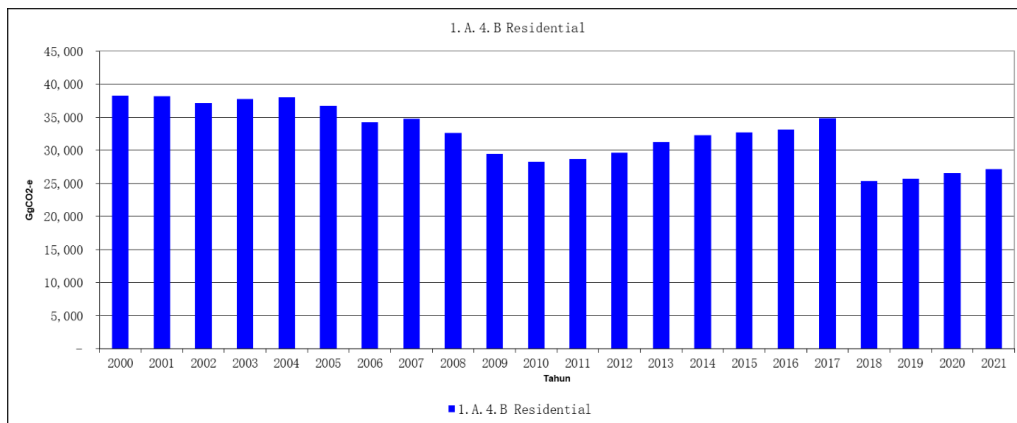
Gambar 30. Emisi GRK Subsektor Komersial Tahun 2000 – 2021

Tren emisi GRK dari sektor komersial mengikuti tren konsumsi energi. Pada tahun 2021, Emisi GRK di subsektor komersial sebesar 1,842 Gg CO₂e meningkat sebesar 6% jika dibandingkan dengan tahun 2020 sebesar 1,735 Gg CO₂e.

g. Emisi GRK di Subsektor Rumah Tangga

Perubahan emisi GRK terkait dari subsektor perumahan selama periode tahun 2000 – 2021 disajikan pada Gambar 31. 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.

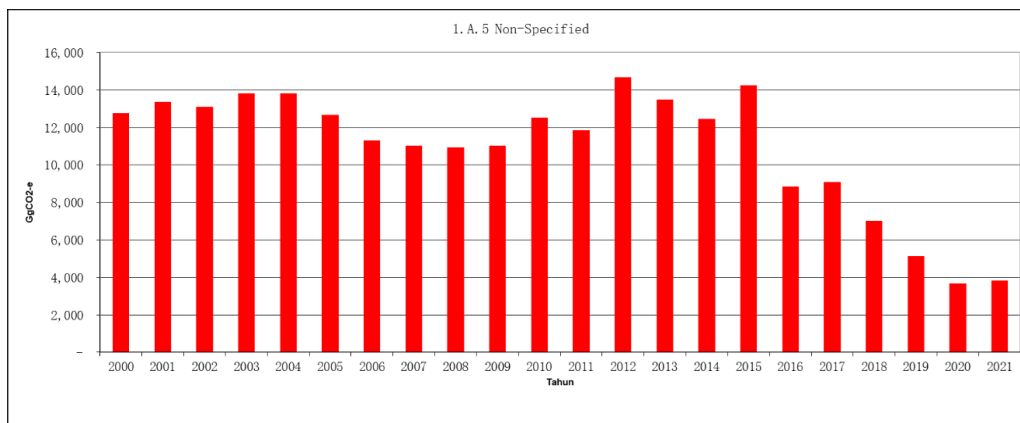
Perkembangan emisi GRK dari subsektor perumahan mengikuti perkembangan penggunaan energi. Tahun 2021 total emisi GRK adalah 27,204 Gg CO₂e meningkat sebesar 2% jika dibandingkan dengan tahun 2020 sebesar 26,543 Gg CO₂e.



Gambar 31. Emisi GRK Subsektor Rumah Tangga Tahun 2000 – 2021

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 – 2021 diilustrasikan pada Gambar 32. Selama periode 2000 – 2021, emisi GRK pada subsektor *non-specified* berfluktuasi namun cenderung menurun. Emisi GRK pada tahun 2021 sebesar 3,830 Gg CO₂e meningkat sebesar 5% jika dibandingkan dengan tahun 2020 sebesar 3,664 Gg CO₂e.

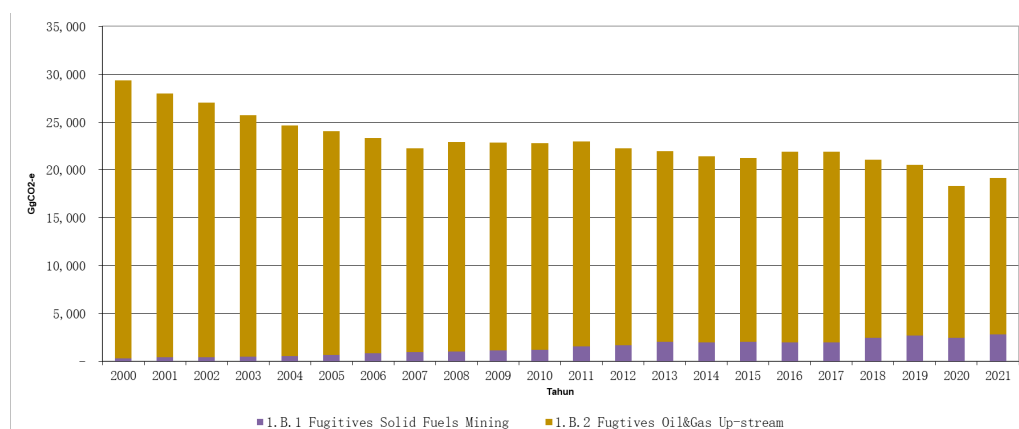


Gambar 32. Emisi GRK Subsektor *Non-Specified* Tahun 2000 – 2021

i. Emisi GRK dari *Fugitives*

Emisi GRK *fugitive* mencakup emisi dari industri minyak dan gas dan pertambangan batu bara. Gambar 33 menunjukkan perubahan emisi GRK *Fugitives* periode tahun 2000 – 2021. 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 2021, emisi *fugitives* adalah 17,699 Gg CO₂e, yang disebabkan oleh aktivitas minyak (10,757 Gg CO₂e), kegiatan gas (5,608 Gg CO₂e) dan pertambangan batubara (2,806 Gg CO₂e).



Gambar 33. Emisi *Fugitives* Tahun 2000 – 2021

F. Sumber Emisi Kunci

Berdasarkan hasil *key category analysis* dapat disimpulkan bahwa kategori kunci sumber emisi utama pada sektor energi pada tahun 2021 adalah pembakaran bahan bakar pada pembangkit listrik (50,70%), yang diikuti oleh penggunaan bahan bakar pada transportasi (24,15%), industri manufaktur (14,96%) dan perumahan (4,57%). Analisis kategori kunci secara detail dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15. Sumber Emisi Kunci Sektor Energi Tahun 2021

Code	Category	Total GHG Emissions	Level/ Rank	Cumulative
1.A.1.a	Main activity electricity and heat production	302.115	50,70%	50,70%
1.A.3	Transport	143.910	24,15%	74,85%
1.A.2	Manufacturing industries and construction	89.145	14,96%	89,81%
1.A.4.b	Residential	27.204	4,57%	94,38%
1.B.2	Fugitive from Oil/Natural Gas	16.370	2,75%	97,13%
1.A.1.b	Oil and Gas	8.640	1,45%	98,58%
1.A.5	Other	3.830	0,64%	99,22%
1.B.1	Fugitive from solid fuels	2.806	0,47%	99,69%
1.A.4.a	Commercial/Institutional	1.842	0,31%	100,00%
1.A.1.c	Coal processing	0	0,00%	100,00%
Total		595.862		

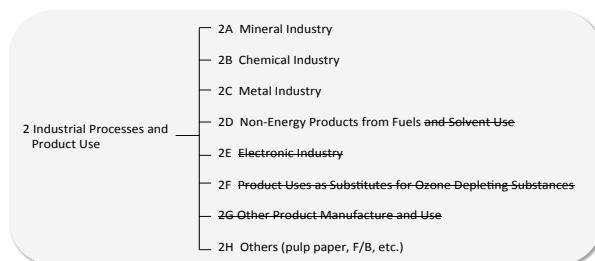
4.2.2. Sektor IPPU

A. Kategori Sumber Emisi

Emisi gas rumah kaca dari sektor industri mencakup CO_2 , CH_4 , N_2O dan perfluorokarbon (PFC) dalam bentuk CF_4 dan C_2F_6 . Emisi yang dihasilkan, terutama CO_2 , 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 34).



Gambar 34. Sumber Emisi dari Sektor IPPU

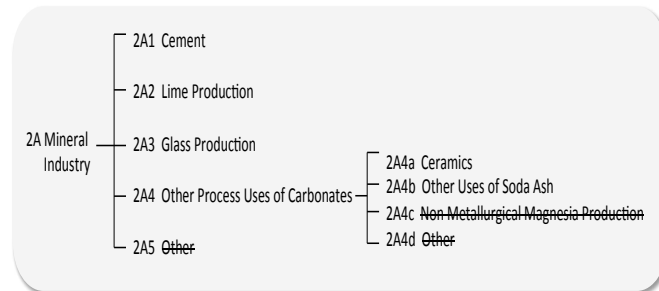
Saat ini, emisi dari kegiatan proses industri elektronik tidak diestimasi karena data yang tersedia merupakan data agregat antara industri yang merupakan sumber emisi GRK dan yang tidak menghasilkan emisi, seperti industri perakitan. Sedangkan untuk emisi GRK terkait penggunaan bahan pengganti *Ozone 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.

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 35 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.

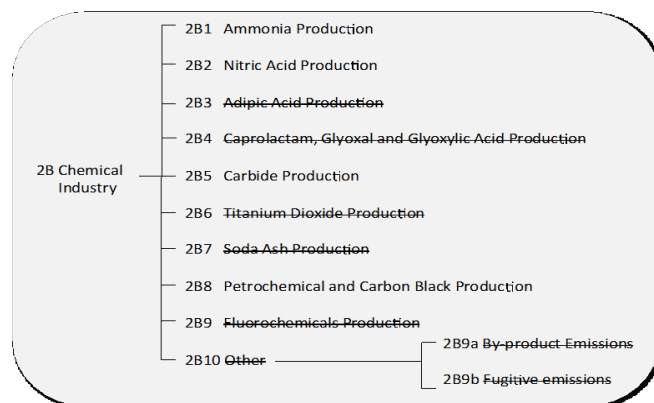


Gambar 35. Cakupan Sumber Emisi Sektor IPPU dari Industri Mineral

2. Industri Kimia

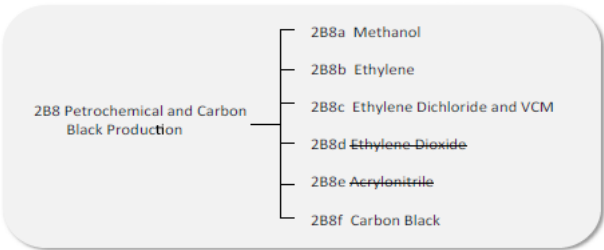
Mengacu kepada IPCC *Guidelines* 2006, proses produksi di industri kimia yang tercakup dalam inventarisasi GRK adalah amonia, asam nitrat, karbida, asam adipat, kaprolaktam, glioksal, dan asam glioksilat, titaniumdioksida, produksi soda abu alami, dan petrokimia (metanol, etilen, etilen diklorida, dan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

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



Gambar 36. Cakupan Sumber Emisi Sektor IPPU dari Industri Kimia

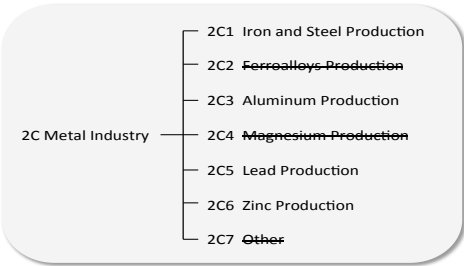
Untuk saat ini keberadaan dan penggunaan produk-produk tersebut berasal dari impor. Estimasi emisi GRK dari jenis industri kimia yang dibahas dalam laporan ini terbatas pada industri yang berada di Indonesia dan ketersediaan data yang diperlukan. Industri tersebut antara lain: industri amonia, asam nitrat, karbida, metanol, etilen, etilendiklorida, dan karbon hitam (Gambar 36 dan Gambar 37).



Gambar 37. Cakupan Sumber Emisi Sektor IPPU dari Produksi Petrokimia dan *Carbon Black*

3. Industri Logam

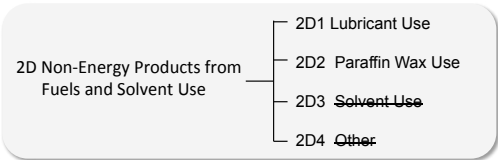
Berdasarkan IPCC *Guidelines* 2006, industri logam mencakup jenis-jenis industri seperti besi & baja, ferroalloy, alumunium, magnesium, timbal dan seng (Gambar 38). Namun dalam laporan ini, estimasi emisi pada inventarisasi GRK dari industri logam hanya kegiatan produksi besi dan baja, alumunium, timbal dan seng. Hal ini dikarenakan belum tersedianya data untuk industri tersebut.



Gambar 38. Cakupan Sumber Emisi Sektor IPPU dari Industri Logam

4. Penggunaan Produk Non-Energi dan Pelarut

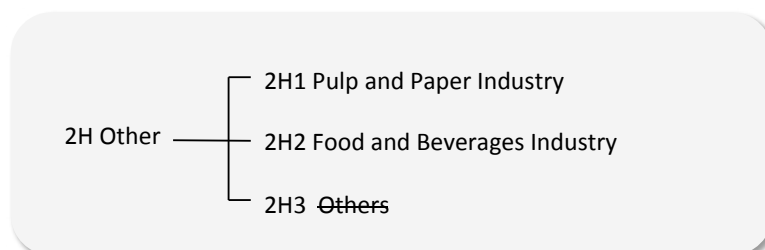
Penggunaan produk yang yang termasuk dalam kategori ini mencakup pelumas, lilin/parafin dan pelarut. Gambar 39 memperlihatkan lingkup sumber emisi GRK dari penggunaan produk yang dibahas dalam laporan ini.



Gambar 39. 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 40. 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 CO_2 , CH_4 , N_2O , dan *perfluorocarbon* (PFC) dalam bentuk CF_4 and C_2F_6 . Pada sektor industri, CO_2 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 – 2021.

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 – 2021 terangkum pada Tabel 16. Sedangkan rincian pada masing-masing subkategori pada sektor IPPU tahun 2021 dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 16. Emisi GRK dari Sektor IPPU Tahun 2000 – 2021

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

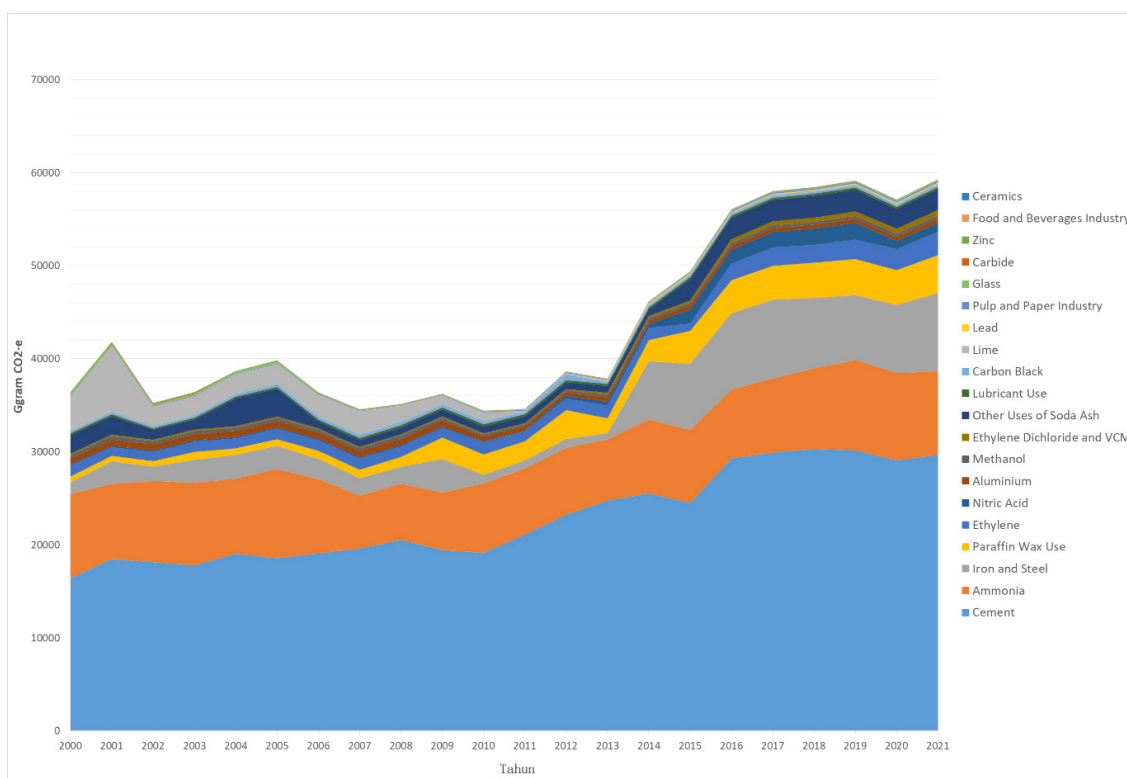
Tahun	Emisi Sektor IPPU untuk 3 gas utama (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O) (Gg CO ₂ e)	Emisi Sektor IPPU untuk seluruh gas (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, CF ₄ , C ₂ F ₆) (Gg CO ₂ e)
2014	45.957	45.996
2015	48.695	48.745
2016	53.718	53.766
2017	57.043	57.085
2018	57.434	57.481
2019	58.128	58.173
2020	57.146	57.194
2021	59,330	59,377

Secara umum, Tabel 16 menunjukkan terjadinya peningkatan emisi secara gradual hingga tahun 2021, namun terjadi sedikit penurunan di tahun 2020 sedangkan Tabel 17 menunjukkan komposisi emisi per subkategori sektor IPPU pada tahun 2021, lebih dari separuh emisi dari sektor IPPU berasal dari industri semen, yang diikuti oleh industri ammonia dan besi baja. Hal ini dapat dilihat dengan jelas pada Gambar 41. Komposisi emisi pada setiap subkategori sektor IPPU (Gambar 42) menunjukkan bahwa pada tahun 2020, lebih dari separuh emisi dari sektor IPPU berasal dari industri semen, yang diikuti oleh industri besi baja pada urutan kedua.

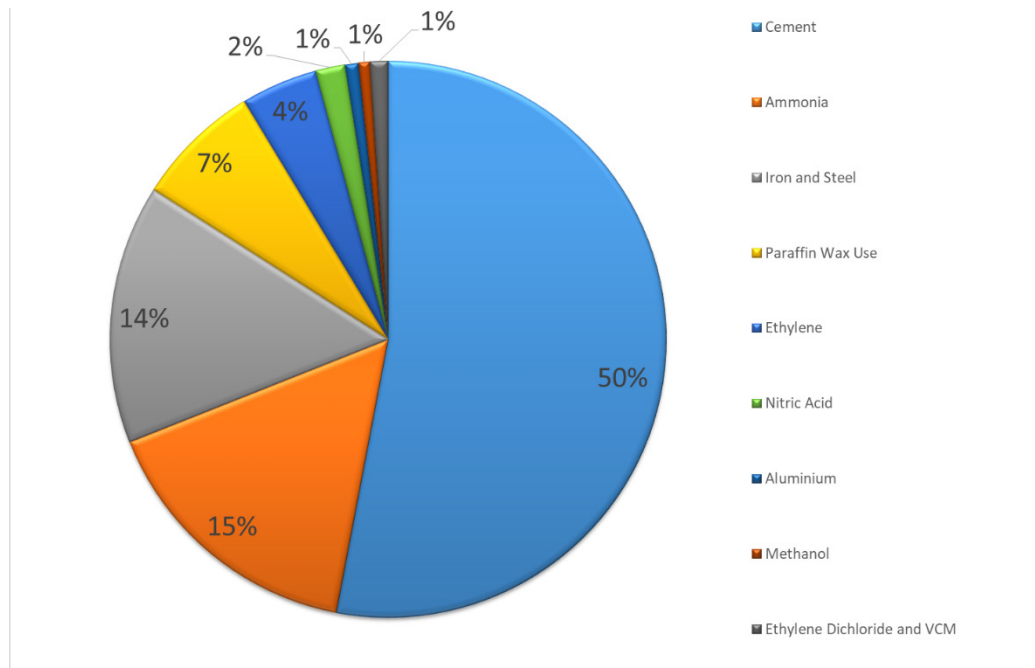
Tabel 17. Emisi GRK Per Subkategori Sektor IPPU Tahun 2021

Code	Categories	Emission
		(Gg CO ₂ e)
Mineral		
2.A.1	Cement	29.672
2.A.2	Lime	115
2.A.3	Glass	47
2.A.4.a	Ceramics	4
2.A.4.b	Other Uses of Soda Ash	2.250
2.A.4.d	Other Uses of Carbonate Consumption	87
Chemical		
2.B.1	Ammonia	8.955
2.B.2	Nitric Acid	965
2.B.5	Carbide	37
2.B.8.a	Methanol	372
2.B.8.b	Ethylene	2.494
2.B.8.c	Ethylene Dichloride and VCM	583
2.B.8.f	Carbon Black	268
Metal		
2.C.1	Iron and Steel	8.428
2.C.3	Aluminium	436

Code	Categories	Emission
		(Gg CO ₂ e)
2.C.5	Lead	104
2.C.6	Zinc	97
Non-Energy Products from Fuels and Solvent Use		
2.D.1	Lubricant Use	230
2.D.2	Paraffin Wax Use	4.089
Others		
2.H.1	Pulp and Paper Industry	143
2.H.2	Food and Beverages Industry	2,54
	Total	59.377



Gambar 41. Tingkat Emisi GRK Sektor IPPU Tahun 2000 – 2021



Gambar 42. Kontribusi Emisi GRK Berdasarkan Kategori Sektor IPPU Tahun 2021

F. Sumber Emisi Kunci

Kategori kunci sumber emisi pada sektor IPPU pada tahun 2021 dapat dilihat pada Tabel 18, dimana 3 emisi terbesar pada sektor IPPU berasal dari: semen, ammonia, serta besi dan baja.

Tabel 18. Sumber Emisi Kunci Sektor IPPU Tahun 2021

Code	Category	Total GHG Emissions 2021 (Gg CO ₂ e)	Level/ Rank	Cumulative
2.A.1	Cement	29.672	50%	50%
2.B.1	Ammonia	8.955	15%	65%
2.C.1	Iron and Steel	8.428	14%	79%
2.D.2	Paraffin Wax Use	4.089	7%	86%
2.B.8.b	Ethylene	2.494	4%	90%
2.A.4.b	Other Uses of Soda Ash	2.250	4%	94%
2.B.2	Nitric Acid	965	2%	96%
2.B.8.c	Ethylene Dichloride and VCM	583	1%	97%
2.C.3	Aluminium	436	1%	97%
2.B.8.a	Methanol	372	1%	98%
2.B.8.f	Carbon Black	268	0%	99%
2.D.1	Lubricant Use	230	0%	99%
2.H.1	Pulp and Paper Industry	143	0%	99%
2.A.2	Lime	115	0%	99%
2.C.5	Lead	104	0%	100%

Code	Category	Total GHG Emissions 2021 (Gg CO ₂ e)	Level/ Rank	Cumulative
2.C.6	Zinc	97	0%	100%
2.A.4.d	Other Uses of Carbonate Consumption	87	0%	100%
2.A.3	Glass	47	0%	100%
2.B.5	Carbide	37	0%	100%
2.A.4.a	Ceramics	4	0%	100%
2.H.2	Food and Beverages Industry	3	0%	100%
	Total	59.377		

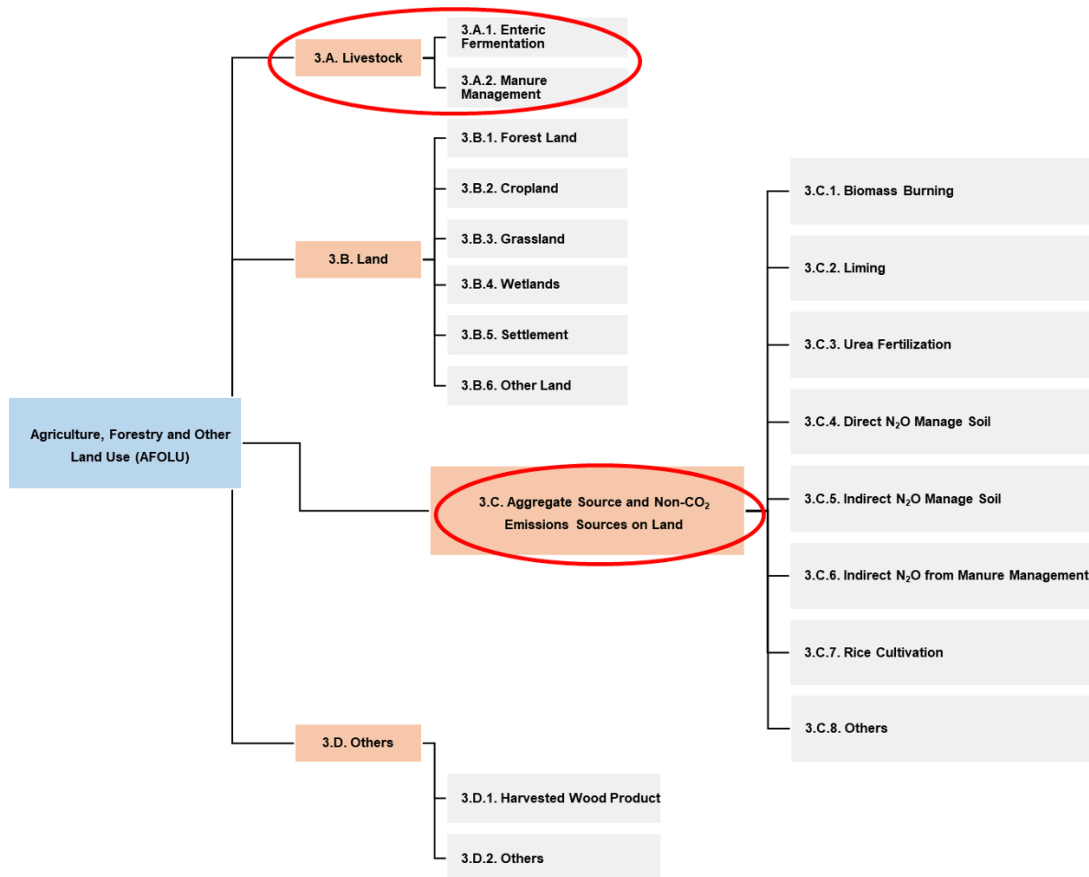
4.2.3. Sektor Pertanian

A. Kategori Sumber Emisi GRK

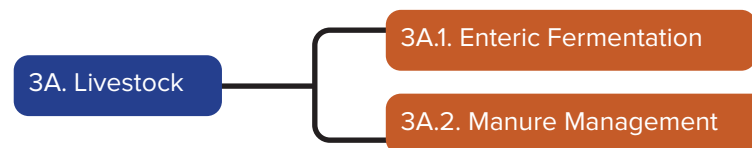
Pelaksanaan Inventarisasi GRK untuk sektor pertanian mengacu pada IPCC *Guidelines* 2006. Di mana pada panduan tersebut, sumber emisi dari sektor pertanian, terdiri atas 2 (dua) bagian besar yaitu emisi dari *aktivitas peternakan (3A)*, emisi dari *sumber agregat dan sumber emisi Non-CO₂ pada lahan (3C)*. Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Sektor Pertanian Tahun 2022 ini disusun berdasarkan data inventarisasi gas rumah kaca sektor pertanian periode Tahun 2000 – 2021, dengan sumber data utama dari Pusat Data dan Informasi (Pusdatin) Kementerian Pertanian, Badan Pusat Statistik (BPS), 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 43, 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 N₂O 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

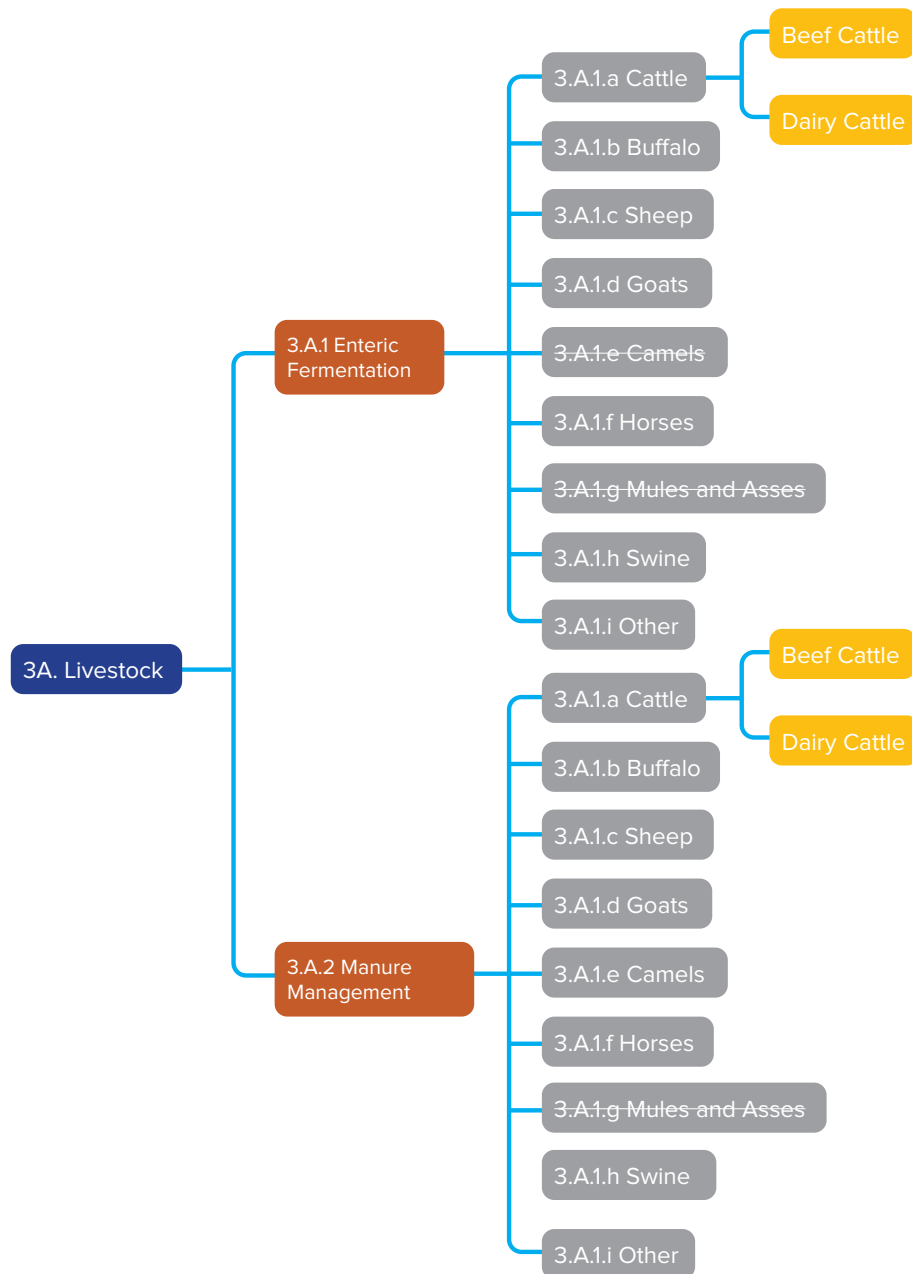
Gambar 43. Kategori Sumber Emisi dalam IPCC *Guidelines* Sektor Pertanian

1. Peternakan



Gambar 44. Cakupan Sumber Emisi GRK dari Sektor Peternakan

Kategori sumber emisi GRK dari peternakan yaitu emisi GRK dari fermentasi enterik dan pengelolaan kotoran ternak (Gambar 44). Emisi dari kedua sumber tersebut dikategorikan berdasarkan populasi ternak, yaitu sapi perah, sapi lainnya, kerbau, domba, kambing, unta, kuda, keledai, babi, dan unggas (Gambar 45). Emisi metana dari unta dan keledai tidak diperkirakan karena keterbatasan data.

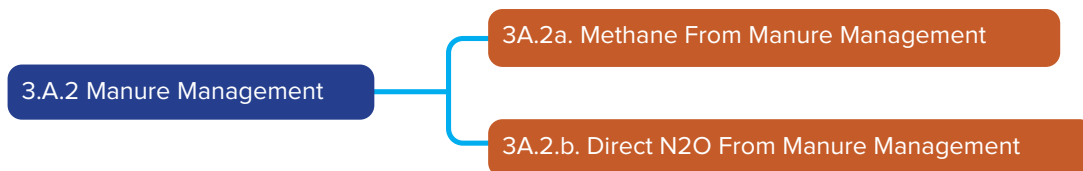


Gambar 45. Cakupan Sumber Emisi GRK dari Fermentasi Enterik dan Pengelolaan Kotoran Ternak Berdasarkan Jenis Ternak (catatan: dicoret berarti tidak dihitung)

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 46. 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 46). 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-CO₂ 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 tidak sempurna 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 di lahan pertanian (*Cropland*) dan padang rumput (*Grassland*) yang dihitung.

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/dirilisi), 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 2021.

D. Sumber Data**1. Peternakan**

Data populasi ternak dan informasi yang terkait dengan inventarisasi GRK berasal dari sumber publikasi statistik sektoral peternakan (2000 – 2021) dari website resmi Badan Pusat Statistik (BPS).

Tabel 19. Populasi Ternak Nasional Tahun 2000 – 2021

Tahun	Sapi Po- tong (ekor)	Sapi Perah (ekor)	Kerbau (ekor)	Domba (ekor)	Kambing (ekor)	Babi (ekor)	Kuda (ekor)	Ayam Ras Pedaging (ekor)	Ayam Ras Petelur (ekor)	Ayam Buras (ekor)	Itik (ekor)
2000	11.008.000	354.253	2.405.280	7.426.990	12.565.600	5.356.830	412.384	530.874.000	69.366.000	259.257.000	29.035.000
2001	10.215.200	346.998	2.333.430	7.401.120	12.463.900	5.369.330	422.191	621.870.000	70.254.000	268.039.000	32.068.000
2002	11.297.600	358.386	2.403.030	7.640.680	12.549.100	5.926.810	419.036	865.075.000	78.039.000	275.292.000	46.001.000
2003	10.504.100	373.753	2.459.430	7.810.700	12.722.100	6.150.540	412.682	847.744.000	79.206.000	277.357.000	33.863.000
2004	10.532.900	364.062	2.403.300	8.075.150	12.781.000	5.980.150	397.299	778.970.000	93.416.000	276.989.000	32.573.000
2005	10.569.300	361.351	2.128.490	8.327.020	13.409.300	6.800.700	386.708	811.189.000	84.790.000	278.954.000	32.405.000
2006	10.875.100	369.008	2.166.610	8.979.850	13.790.000	6.218.200	397.642	797.527.000	100.202.000	291.085.000	32.481.000
2007	11.514.900	374.067	2.085.780	9.514.180	14.470.200	6.710.760	401.081	891.659.000	111.489.000	272.251.000	35.867.000
2008	12.256.600	457.577	1.930.720	9.605.340	15.147.400	6.837.530	392.864	902.052.000	107.955.000	243.423.000	39.840.000
2009	12.759.800	474.701	1.932.930	10.198.800	15.815.300	6.974.730	398.758	1.026.380.000	111.418.000	249.963.000	40.676.000
2010	13.582.000	488.000	2.000.000	10.725.000	16.620.000	7.477.000	419.000	986.872.000	105.210.000	257.544.000	44.302.000
2011	14.824.400	597.213	1.305.080	11.790.600	16.946.200	7.524.790	408.665	1.177.990.000	124.636.000	264.340.000	34.647.000
2012	15.980.700	611.939	1.438.290	13.420.400	17.905.900	7.900.360	437.383	1.244.400.000	138.718.000	274.564.000	37.953.000
2013	12.686.200	444.266	1.109.640	14.925.900	18.500.300	7.598.690	434.208	1.344.190.000	146.622.000	276.777.000	43.710.000
2014	14.726.900	502.516	1.335.150	16.091.800	18.639.500	7.694.130	428.052	1.443.350.000	146.660.000	275.116.000	45.268.000
2015	15.419.500	518.400	1.347.100	16.462.300	18.410.400	7.808.100	430.500	1.528.330.000	155.007.000	285.304.000	45.322.000
2016	16.004.100	533.933	1.355.120	15.716.700	17.847.200	7.903.450	424.268	1.632.570.000	161.350.000	294.162.000	47.424.000
2017	16.429.100	540.441	1.321.900	17.142.500	18.208.000	8.261.000	409.122	1.848.730.000	176.937.000	299.701.000	49.055.500
2018	17.050.000	550.141	1.356.390	17.397.700	18.720.700	8.542.490	421.104	1.891.430.000	181.752.000	310.959.000	51.239.000
2019	17.118.600	561.061	1.141.300	17.794.300	18.976.000	8.922.650	393.454	3.149.380.000	263.918.000	311.912.000	51.950.300
2020	17.466.792	568.265	1.179.342	17.769.084	19.096.381	9.069.892	392.137	2.970.493.660	281.108.407	308.476.957	58.243.335
2021	18.053.710	578.579	1.189.260	17.902.991	19.229.067	8.011.776	401.328	3.107.183.054	368.191.874	317.054.290	58.651.838

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

Data aktivitas yang digunakan untuk menghitung emisi GRK dari sumber agregat dan sumber emisi Non-CO₂ pada lahan diperoleh dari berbagai sumber publikasi. Data aktivitas estimasi emisi GRK dari pembakaran biomassa dan pengapuran bersumber dari Badan Pusat Statistik (BPS) dan Pusdatin Kementerian Pertanian; Aplikasi urea, Emisi langsung dan tidak langsung N₂O dari tanah yang dikelola, dan Emisi N₂O tidak langsung dari manajemen kotoran diterapkan data kegiatan yang diperoleh dari Pusdatin Kementerian Pertanian dan APPI (Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia). Sementara itu, aktivitas data untuk memperkirakan emisi metana dari budidaya padi yang diperoleh dari BPS. Secara rinci sumber data untuk perhitungan emisi dari sumber agregat dan emisi Non-CO₂ dapat dilihat pada Tabel 20.

Tabel 20. Data dan Sumber Data Perhitungan Emisi Agregat dan Sumber Emisi Non-CO₂ Tahun 2021

No	Kategori Sumber Emisi	Jenis Data Aktivitas	Sumber Data
1.	Pembakaran Biomassa	Luas panen padi ladang	Badan Pusat Statistik (diolah/proxy)
		Luas panen padi sawah	
2.	Aplikasi Kapur Pertanian	Luas perkebunan karet	Pusdatin Kementan/ Badan Pusat Statistik
		Luas perkebunan kakao	
		Luas perkebunan sawit besar/ perusahaan	
		Luas perkebunan sawit rakyat/smallholder	
3.	Aplikasi Urea	Konsumsi pupuk Urea	Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia (APPI)
4.	Emisi N ₂ O dari Pengelolaan Tanah	Luas panen tanaman pangan	Pusdatin Kementan
		Luas panen hortikultura	
		Luas perkebunan sawit besar/perusahaan	Pusdatin Kementan/ Badan Pusat Statistik (BPS)
		Luas perkebunan sawit rakyat/smallholder	
		Konsumsi pupuk urea, ZA & NPK	Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia (APPI)
5.	Budidaya Padi Sawah	Luas panen padi sawah	Badan Pusat Statistik/ Pusdatin Kementan
		Luas baku sawah irigasi	
		Luas baku sawah non irigasi (Ha)	
		Luas panen sawah SLPTT, SRI & varietas rendah emisi	

Berikut adalah data-data yang digunakan dalam perhitungan emisi dari agregat dan sumber emisi Non-CO₂ dapat dilihat pada Tabel 21 berikut,

Tabel 21. Data Konsumsi Pupuk Nasional Tahun 2000 – 2021

Tahun	Urea (Ton)	NPK (Ton)	ZA (Ton)
2000	4.570.770	0	594.710
2001	4.069.580	0	580.724
2002	4.022.390	0	529.399
2003	4.336.730	0	511.129
2004	4.656.720	0	633.404
2005	4.842.540	0	651.986
2006	4.685.910	400.000	400.000
2007	5.028.820	637.456	701.647
2008	5.133.220	955.708	751.325
2009	5.411.460	1.417.700	888.607
2010	5.131.290	1.473.340	687.864
2011	5.225.140	1.794.770	953.759
2012	5.119.130	2.524.530	942.174
2013	5.331.210	2.687.670	1.548.160
2014	4.993.060	2.672.050	1.008.520
2015	4.790.930	2.705.810	994.759
2016	5.020.620	2.933.720	1.021.350
2017	5.123.180	2.597.590	979.473
2018	5.665.010	2.802.250	1.004.030
2019	4.894.540	3.088.180	1.016.980
2020	5.994.440	3.159.310	795.429
2021	5.738.360	3.301.210	772.245
Catatan : Terdapat update data konsumsi pupuk Tahun 2020			

Tabel 22. Data Luas Sawah Nasional Tahun 2000 – 2021

Tahun	Luas Panen Padi Sawah (Ha)	Produktivitas Padi Sawah (Kw/Ha)	Produksi Padi Sawah (Ton)	Luas Panen Padi Ladang (Ha)	Produktivitas Padi Ladang (Kw/Ha)	Luas Baku Sawah Irigasi (Ha)	Luas Baku Sawah Non-Irigasi (Ha)
2000	9.614.939	46	44.555.630	1.175.875	23	3.914.032	2.567.027
2001	9.596.152	46	44.113.512	1.080.622	24	3.906.384	2.562.011
2002	9.574.363	47	44.769.723	967.059	24	3.897.515	2.556.194
2003	9.935.934	48	47.195.685	1.091.768	25	4.044.702	2.652.727
2004	9.452.244	47	44.822.539	1.120.681	26	3.847.802	2.523.590
2005	9.680.897	48	46.284.367	1.102.441	26	3.940.882	2.584.636

Tahun	Luas Panen Padi Sawah (Ha)	Produktivitas Padi Sawah (Kw/Ha)	Produksi Padi Sawah (Ton)	Luas Panen Padi Ladang (Ha)	Produktivitas Padi Ladang (Kw/Ha)	Luas Baku Sawah Irigasi (Ha)	Luas Baku Sawah Non-Irigasi (Ha)
2006	10.044.096	48	48.422.588	1.070.110	26	4.088.733	2.681.605
2007	10.127.624	49	49.716.508	1.103.064	27	4.122.735	2.703.905
2008	10.300.204	51	52.304.435	1.067.261	30	4.192.988	2.749.981
2009	10.417.217	52	54.013.270	1.083.405	30	4.268.903	2.752.941
2010	10.332.287	52	53.727.892	1.134.671	30	4.258.476	2.706.119
2011	10.451.471	51	53.699.656	1.034.847	31	4.285.490	2.759.442
2012	10.499.862	53	55.733.267	1.164.318	33	3.844.607	3.232.945
2013	10.473.730	53	55.699.294	1.163.249	33	4.194.414	2.865.523
2014	10.473.075	53	55.486.351	1.129.241	33	4.145.521	2.913.974
2015	10.448.949	55	57.552.811	1.087.000	33	4.138.309	2.904.924
2016	10.571.382	54	57.053.751	1.171.026	33	4.162.319	2.963.441
2017	10.451.424	53	55.549.318	1.156.019	33	4.095.244	2.949.657
2018	10.540.797	52	54.844.826	858.242	33	3.822.391	3.282.753
2019	9.846.962	51	50.586.515	830.925	33	3.981.708	3.482.240
2020	9.873.161	51	50.628.361	784.114	33	3.981.708	3.482.240
2021	9.645.748	52	50.411.662	766.053	33	3.981.708	3.482.240

Keterangan:

- Data Tahun 2000 – 2017 merupakan data *proxy* (rekalkulasi) berdasarkan metode KSA (Kerangka Sampel Area) antara BPS, BIG, ATR/BPN dan Kementan
- Data Luas sawah irigasi dan non irigasi 2020 dan 2021 masih dengan 2019 (belum ada *update*)

Tabel 23. Data Luas Tanaman Pangan Nasional Tahun 2000 – 2021

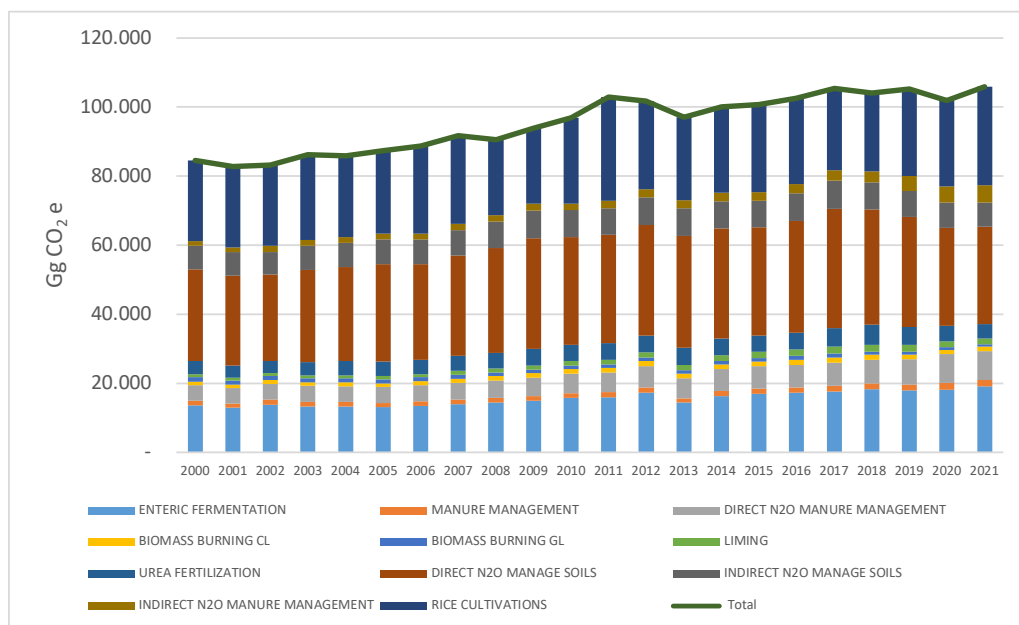
Tahun	Luas Panen Jagung (Ha)	Luas Panen Kacang Hijau (Ha)	Luas Panen Kacang Tanah (Ha)	Luas Panen Kedelai (Ha)	Luas Panen Ubi Jalar (Ha)	Luas Panen Ubi Kayu (Ha)
2000	3.500.320	131.312	683.554	824.484	194.262	1.284.040
2001	3.285.870	339.252	654.838	678.848	181.926	1.317.910
2002	3.109.450	313.563	646.953	544.522	177.275	1.276.540
2003	3.358.510	344.558	683.537	526.796	197.455	1.244.540
2004	3.356.910	311.863	723.434	565.155	184.546	1.255.800
2005	3.625.990	318.337	720.526	621.541	178.336	1.213.460
2006	3.345.800	309.103	706.753	580.534	176.507	1.227.460
2007	3.630.320	306.207	660.480	459.116	176.932	1.201.480
2008	4.001.720	278.139	633.922	590.956	174.561	1.204.930
2009	4.160.660	288.206	622.616	722.791	183.874	1.175.670
2010	4.131.680	258.157	620.563	660.823	181.073	1.183.050
2011	3.864.690	297.314	539.459	622.254	178.121	1.184.700
2012	3.957.600	245.006	559.538	567.624	178.295	1.129.690
2013	3.821.500	182.075	519.056	550.793	161.850	1.065.750
2014	3.837.020	208.016	499.338	615.685	156.758	1.003.490
2015	3.787.000	229.000	454.000	614.000	143.000	950.000
2016	4.444.370	223.948	436.382	576.987	123.574	822.744
2017	5.375.390	207.473	363.832	356.979	112.540	778.664
2018	4.065.940	191.964	353.767	493.546	90.706	697.384
2019	4.089.480	181.465	332.883	285.265	79.205	628.305
2020	4.089.480	181.465	332.883	181.878	75.614	649.441
2021	4.089.480	181.465	332.883	181.878	75.614	649.441

Tabel 24. Data Luas Areal Perkebunan Nasional Tahun 2000 – 2021

Tahun	Luas Lahan Perkebunan Kakao (Ha)	Luas Lahan Perkebunan Karet (Ha)	Luas Lahan Perkebunan Sawit Besar / Perusahaan (Ha)	Luas Lahan Perkebunan Sawit Rakyat / Smallholder (Ha)	Luas Lahan Perkebunan Sawit Total (Ha)	% Luas Perkebunan di Lahan Gambut (%)
2000	749.917	3.372.420	2.991.300	1.190.200	4.181.500	12,46
2001	821.449	3.344.770	3.152.400	1.566.000	4.718.400	12,46
2002	914.051	3.318.360	3.258.600	1.808.400	5.067.000	12,46
2003	964.223	3.290.110	3.429.200	1.854.400	5.283.600	11,11
2004	1.090.960	3.262.270	3.496.700	2.220.300	5.717.000	11,11
2005	1.167.050	3.279.390	3.593.400	2.356.900	5.950.300	11,11
2006	1.320.820	3.346.430	3.748.500	2.536.500	6.285.000	10,49
2007	1.379.280	3.413.720	4.101.700	2.571.200	6.672.900	10,49
2008	1.425.220	3.424.220	4.451.800	2.881.900	7.333.700	10,49
2009	1.587.140	3.435.270	4.888.000	3.061.400	7.949.400	11,40
2010	1.650.360	3.445.420	5.161.600	3.387.300	8.548.900	15,30
2011	1.732.640	3.456.130	5.349.800	3.752.500	9.102.300	10,98
2012	1.774.460	3.506.200	5.995.700	4.137.600	10.133.300	10,47
2013	1.740.610	3.555.950	6.108.900	4.356.090	10.465.000	11,07
2014	1.719.080	3.606.240	6.404.400	4.551.850	10.596.300	12,15
2015	1.724.100	3.621.600	6.725.300	4.575.100	11.300.400	13,64
2016	1.701.350	3.639.090	6.462.150	4.739.320	11.201.500	15,29
2017	1.730.000	3.659.130	8.417.330	5.613.240	14.030.600	14,19
2018	1.687.300	3.671.300	8.515.300	5.811.800	14.327.100	14,65
2019	1.600.300	3.683.500	8.688.900	6.035.700	14.724.600	14,65
2020	1.528.400	3.681.300	8.854.500	6.003.800	14.858.300	17,15
2021	1.258.800	3.776.300	8.579.470	6.084.130	14.663.600	17,15
2000	749.917	3.372.420	2.991.300	1.190.200	4.181.500	12,46

E. Perhitungan Emisi GRK

Dari hasil perhitungan emisi GRK sektor pertanian, dapat diketahui bahwa pada Tahun 2021, tingkat emisi GRK dari tiga gas utama (CO_2 , CH_4 dan N_2O) dari sektor pertanian adalah sebesar 105.876,65 Gg CO_2e . Jika dibandingkan dengan tingkat emisi pada Tahun 2020 sebesar 101.981,72 Gg CO_2e , maka status emisi pada Tahun 2021 meningkat sebesar 3.884,93 Gg CO_2e , atau sekitar 3,81 %. Peningkatan emisi ini berasal dari sumber emisi budidaya padi sawah yang disebabkan menurunnya luas panen padi dari varietas rendah emisi. Berdasarkan sumber emisi, pada Tahun 2021 emisi utama dari sektor pertanian berasal dari kegiatan budidaya padi sawah (26,87%), emisi N_2O langsung dari tanah yang dikelola (26,52%) dan fermentasi enterik dari ternak (18,13%). Emisi GRK dari sektor pertanian dari Tahun 2000 – 2021 menunjukkan kecenderungan peningkatan dengan fluktuasi yang tidak terlalu signifikan. Hal ini disebabkan karena adanya kebijakan ketahanan pangan dan peningkatan produksi sektor perkebunan yang berimbas pada peningkatan penggunaan pupuk baik sintetis maupun organik. Emisi dari sektor pertanian untuk seluruh kategori pada Tahun 2000 – 2021 dapat dilihat pada Gambar 47.



Gambar 47. Tren Emisi Sektor Pertanian Menurut Kategori Tahun 2000 – 2021

Tabel 25. 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

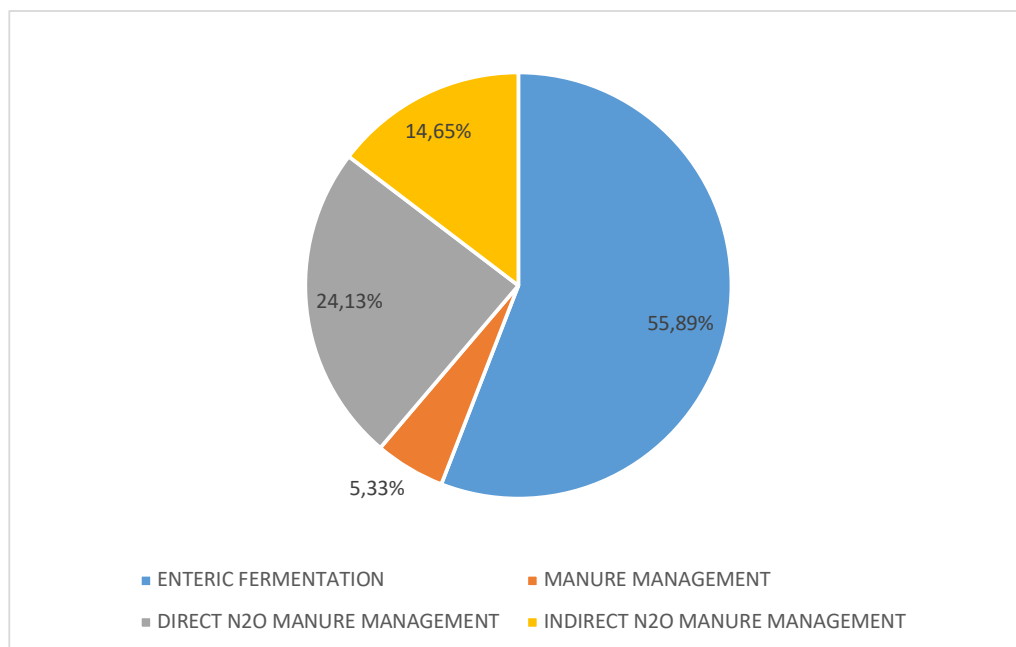
Tabel 26. Rekapitulasi Emisi Sektor Pertanian Tahun 2011 – 2021 (Gg CO₂e)

No.	Kategori	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
	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

1. Peternakan

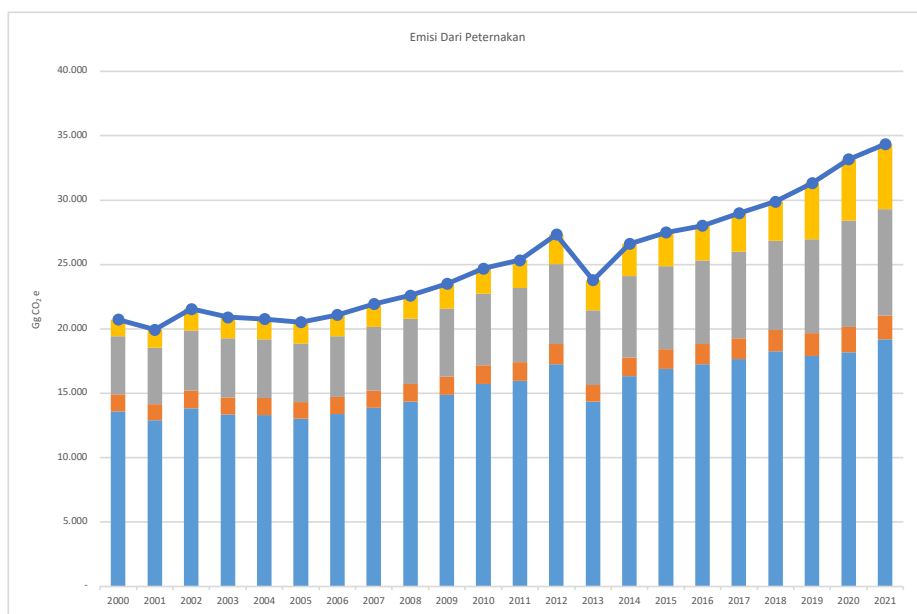
Dari hasil perhitungan tingkat emisi dari subsektor peternakan pada Tahun 2021 yaitu sebesar 34.345,60 Gg CO₂e, lebih tinggi dari emisi pada Tahun 2020 yaitu sebesar 33.182,00 Gg CO₂e. Secara umum emisi GRK subsektor peternakan menunjukkan kecenderungan peningkatan pada periode 2000 – 2021 (Gambar 49). 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 2021 dari subsektor peternakan adalah dari kategori emisi CH₄ dari fermentasi enterik dengan persentase 55,89%, diikuti oleh emisi N₂O langsung dari pengelolaan kotoran ternak 24,13%, emisi N₂O tidak langsung dari pengelolaan kotoran ternak 14,65% dan emisi CH₄ dari pengelolaan kotoran ternak 5,33%. Secara grafis kontribusi masing-masing kategori sumber emisi pada subsektor peternakan terlihat pada Gambar 48.



Gambar 48. Kontribusi Kategori Sumber Emisi pada Subsektor Peternakan

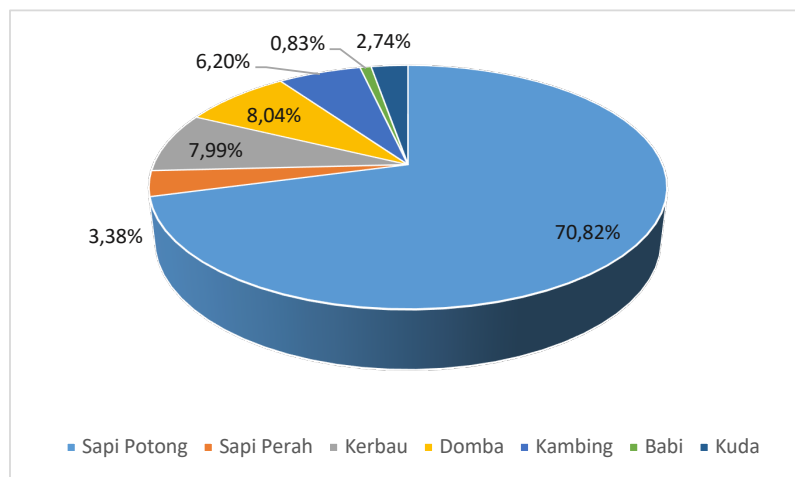
Kecenderungan emisi pada subsektor peternakan dari Tahun 2000 – 2021 terus mengalami peningkatan yang cukup konsisten, hal ini sejalan dengan penambahan penduduk yang diiringi dengan peningkatan kebutuhan protein hewani dari daging maupun telur. Kecenderungan emisi subsektor peternakan dapat dilihat pada Gambar 49.



Gambar 49. Tren/Kecenderungan Emisi Subsektor Peternakan Tahun 2000 – 2021

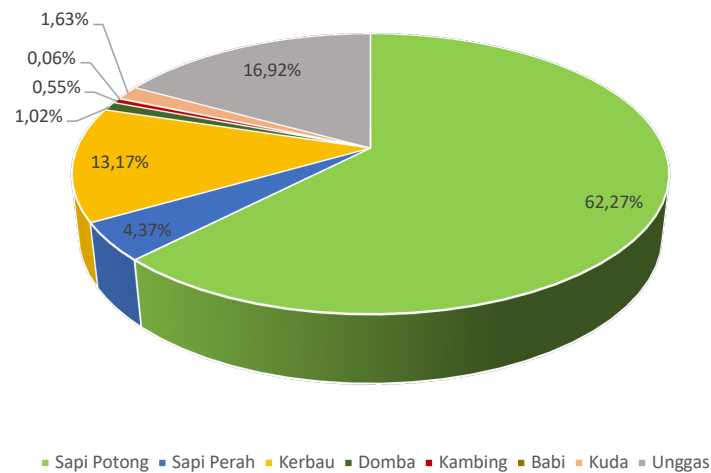
a. Emisi *Methane* dari Peternakan

Dari hasil perhitungan emisi subsektor peternakan emisi *methane* dari fermentasi enterik Tahun 2021 di Indonesia disajikan seperti pada Gambar 50, emisi terbesar dihasilkan oleh ternak jenis sapi potong (70,82%), domba (8,04%), kerbau (7,99%), dan kambing (6,20%). Sedangkan jenis ternak lainnya masing-masing menyumbang gas *methane* di bawah 4%.



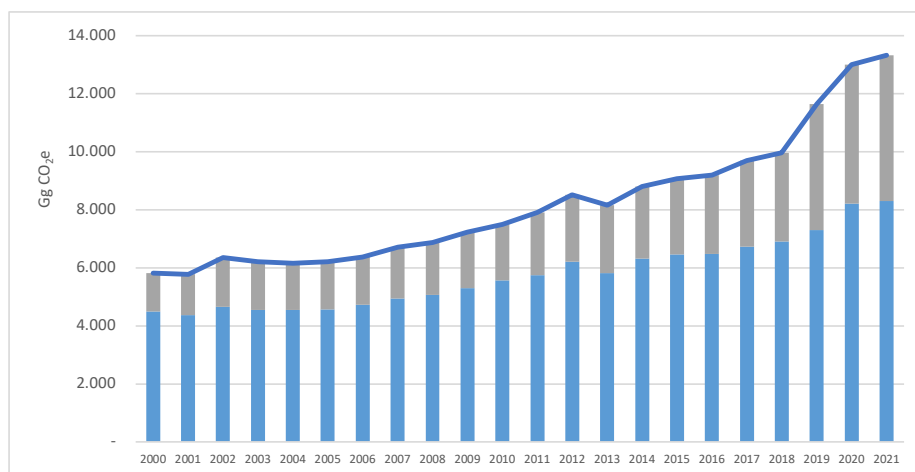
Gambar 50. Persentase Gas *Metahane* daari Fermentasi Enterik Jenis Ternak Tahun 2021

Sedangkan emisi *methane* dari pengelolaan kotoran ternak Tahun 2021 di Indonesia disajikan seperti pada Gambar 51, emisi terbanyak dihasilkan oleh sapi potong (62,27%), unggas (16,92%), kerbau (13,17%) dan sapi perah (4,37%). Sedangkan jenis ternak lainnya masing-masing menyumbang gas *methane* di bawah 2%.

Gambar 51. Persentasi Gas *Methane* dari Pengelolaan Kotoran Jenis Ternak Tahun 2021

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 2021 sebesar 8.286,30 Gg CO_2e , meningkat dibandingkan dengan tingkat emisi pada Tahun 2020 sebesar 8.220,00 Gg CO_2e . Sedangkan tingkat emisi N_2O tidak langsung pada Tahun 2021 sebesar 5.031,00 Gg CO_2e , juga meningkat dibandingkan dengan Tahun 2020 sebesar 4.786,00 Gg CO_2e . Kecenderungan emisi N_2O dari subsektor peternakan baik secara langsung maupun tidak langsung dari Tahun 2000 – 2021 secara umum meningkat, hal ini sejalan dengan meningkatnya kebutuhan protein hewani dari ternak yang semakin meningkat. Secara rinci tingkat dan kecenderungan emisi N_2O dari subsektor peternakan dapat dilihat pada Gambar 52.

Gambar 52. Emisi N_2O Langsung dan Tidak Langsung dari Pengelolaan Kotoran Ternak

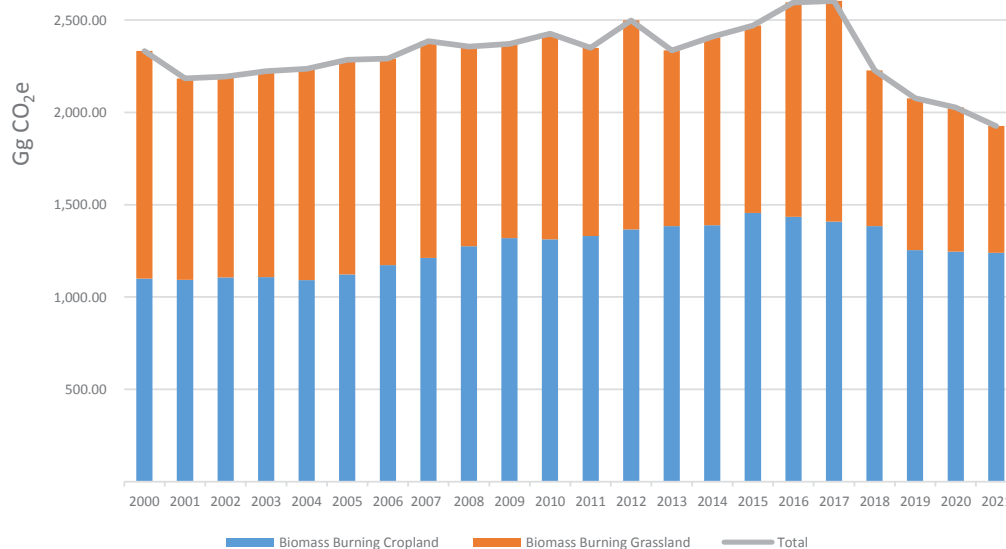
2. Estimasi Emisi Sumber Agregat dan Sumber Emisi Non- CO_2 pada Lahan

Dalam perhitungan emisi nasional dari sumber agregat dan sumber emisi Non- CO_2 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 N_2O 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- CO_2 , 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. 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 padang rumput (*grassland*) pada Tahun 2021 sebesar 686,30 Gg CO_2e mengalami penurunan dibandingkan tingkat emisi pada Tahun 2020 sebesar 780,57 Gg CO_2e . Emisi dari pembakaran biomassa pada lahan pertanian pada Tahun 2021 sebesar 1.239,62 Gg CO_2e juga mengalami penurunan dibandingkan dengan emisi pada Tahun 2020 sebesar 1.246,38 Gg CO_2e . Kecenderungan emisi dari pembakaran biomassa dari Tahun 2000 – 2017 secara umum mengalami peningkatan dan di Tahun 2018–2021 mengalami penurunan cukup signifikan. Secara rinci total emisi dari pembakaran biomassa pada Tahun 2021 dapat dilihat pada Gambar 53.

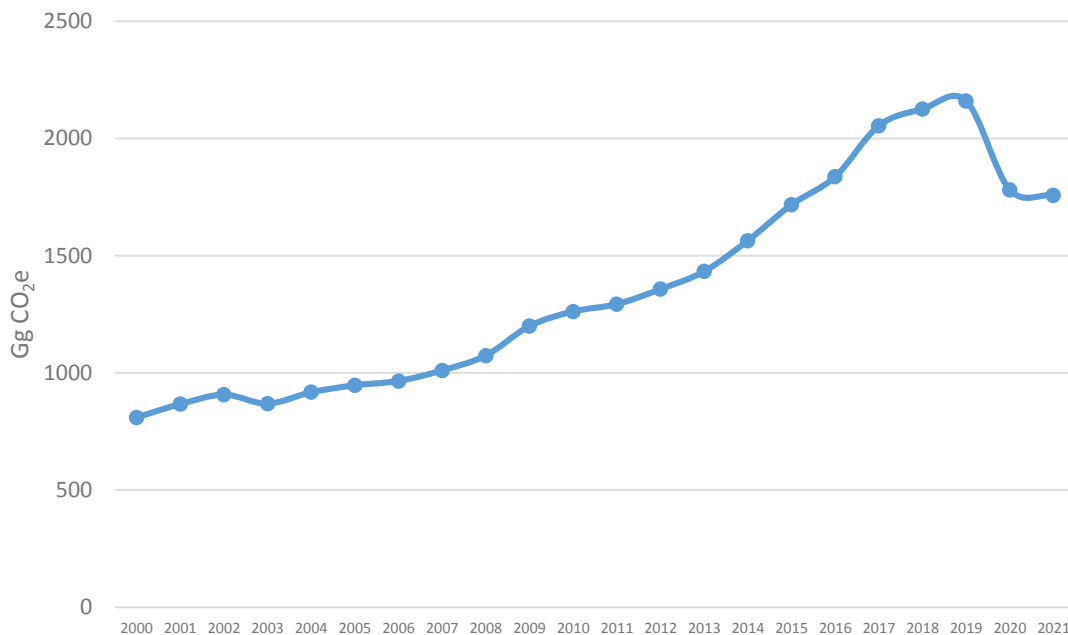


Gambar 53. Emisi dari Pembakaran Biomassa Tahun 2000 – 2021

b. Aplikasi Kapur Pertanian

Emisi CO_2 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 CO_2e dari pengapuran pada Tahun 2000 – 2021 ditunjukkan pada Gambar 54. Konsumsi kapur di Indonesia meningkat secara konsisten dengan perluasan lahan gambut untuk perkebunan kelapa sawit setelah Tahun 2000. Tingkat emisi dari pengapuran sebesar 1.757,90 Gg CO_2e pada Tahun 2021 mengalami sedikit

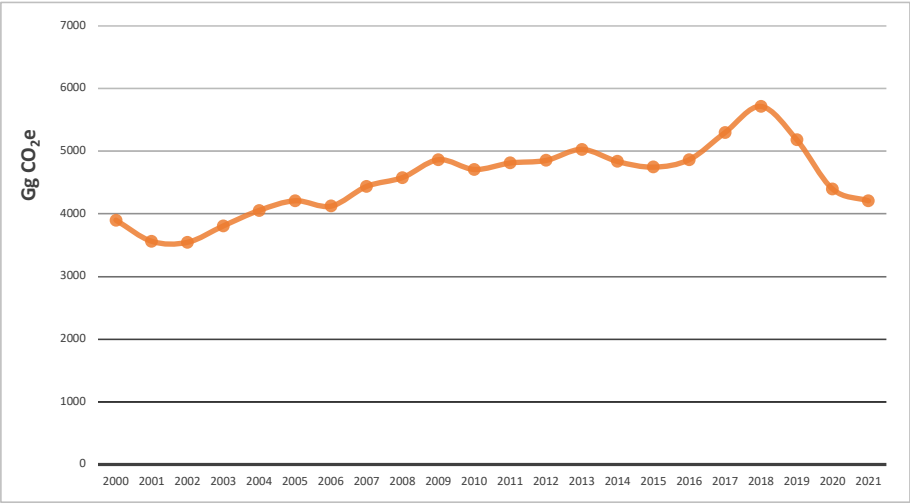
penurunan dibandingkan dengan emisi Tahun 2020 sebesar 1.781,24 Gg CO₂e. Secara umum emisi dari pengapuran tanah dari Tahun 2000 – 2019 cenderung meningkat hal ini akibat adanya penambahan luas perkebunan yang ada di lahan gambut dan mengalami penurunan mulai Tahun 2020 – 2021.



Gambar 54. Emisi dari Aplikasi Kapur Pertanian Tahun 2000 – 2021

c. Aplikasi Pupuk Urea

Data aktivitas konsumsi urea untuk Tahun 2000 – 2021 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 demikian asumsi perkiraan dosis 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 55, dengan tingkat emisi sebesar 4.208,13 Gg CO₂e pada Tahun 2021, mengalami sedikit penurunan dari tingkat emisi Tahun 2020 sebesar 4.395,92 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 – 2021 sebagai akibat adanya penurunan jumlah konsumsi pupuk urea.

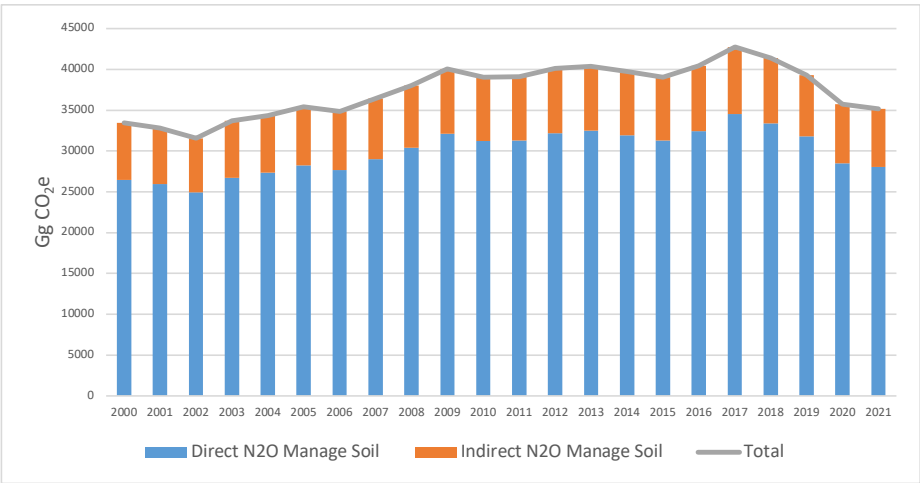


Gambar 55. Emisi dari Aplikasi Pupuk Urea Tahun 2000 – 2021

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 – 2021 ditunjukkan pada Gambar 56. Fluktuasi N₂O emisi langsung dari tanah yang dikelola dapat dikaitkan dengan konsumsi urea, NPK dan AS di bidang pertanian di Indonesia.



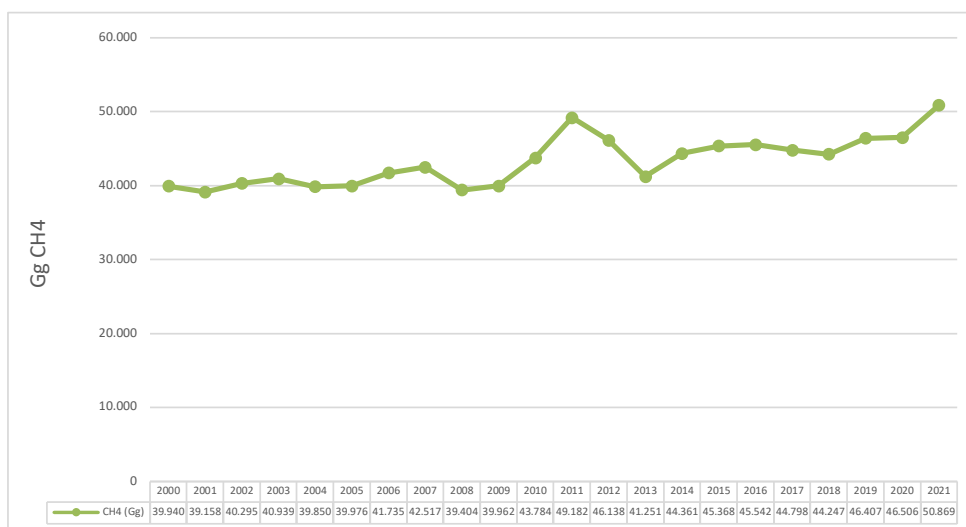
Gambar 56. Emisi N₂O Dari Tanah yang Dikelola Tahun 2000 – 2021

Dari hasil perhitungan pada Tahun 2021, tingkat emisi langsung N_2O dari tanah yang dikelola sebesar 28.074,37 Gg CO_2e mengalami sedikit penurunan dari tingkat emisi pada Tahun 2020 sebesar 28.488,80 Gg CO_2e . Demikian juga untuk tingkat emisi N_2O tidak langsung, angka menunjukkan tren peningkatan emisi. Tingkat emisi pada Tahun 2021 sebesar 7.117,12 Gg CO_2e mengalami sedikit penurunan dibandingkan dengan tingkat emisi Tahun 2020 sebesar 7.243,04 Gg CO_2e . Kecenderungan emisi N_2O dari tanah yang dikelola mengalami peningkatan dari Tahun 2000 – 2017 dan kecenderungan menurun pada Tahun 2018 – 2021. 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 demikian emisi di Tahun 2018 – 2021 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 – 2021. 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 CH_4 dari budidaya padi sawah di Indonesia pada Tahun 2021 tingkat emisi sebesar 28.447,61 Gg CO_2e , mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan tingkat emisi pada Tahun 2020 sebesar 24.863,76 Gg CO_2e . Peningkatan ini disebabkan oleh menurunnya luas panen dari varietas rendah emisi yang ditanam, walaupun luas panen padi sawah secara keseluruhan mengalami penurunan. Kecenderungan emisi dari budidaya padi sawah secara umum cukup fluktuatif dengan kenaikan/penurunan yang tidak terlalu signifikan. Secara rinci emisi CH_4 dari budidaya padi sawah Tahun 2000 – 2021 terlihat pada Gambar 57 berikut:

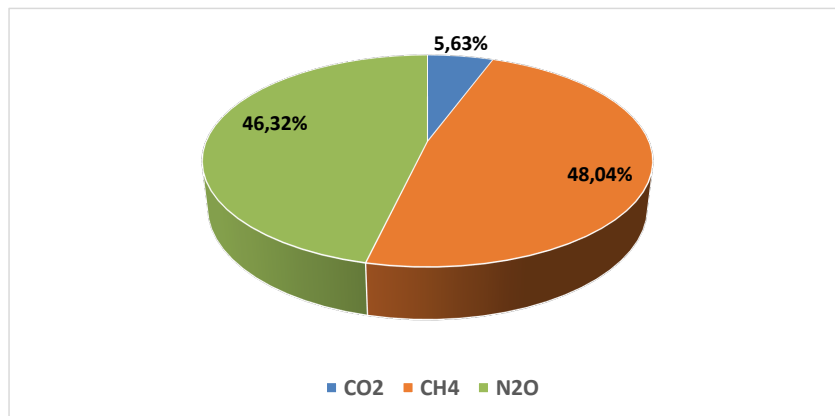


Gambar 57. Emisi Gas *Methane* Dari Budidaya Padi Tahun 2000 – 2021

3. Tren Emisi menurut Jenis Gas

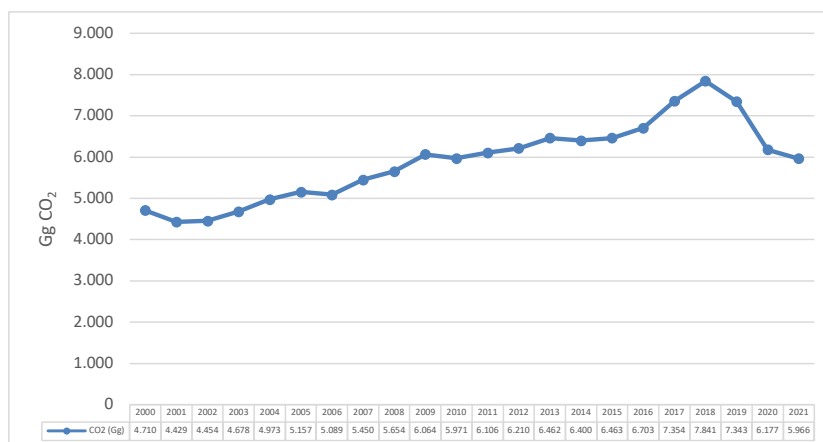
Emisi dari sektor pertanian menghasilkan tiga gas utama yaitu gas karbon dioksida (CO_2), gas methane (CH_4) dan gas dinitrogen oksida (N_2O). Emisi gas CO_2 sektor pertanian dihasilkan oleh sumber emisi dari kategori aplikasi kapur pertanian (*liming*) dan aplikasi pupuk urea (*urea fertilization*), 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 2021, proporsi gas yang diemisikan terbesar adalah gas CH_4 sebesar 48,04% diikuti gas N_2O sebesar 46,32% dan gas CO_2 sebesar 5,63%. Secara grafis komposisi ketiga gas utama dari sektor pertanian dapat dilihat pada Gambar 58.



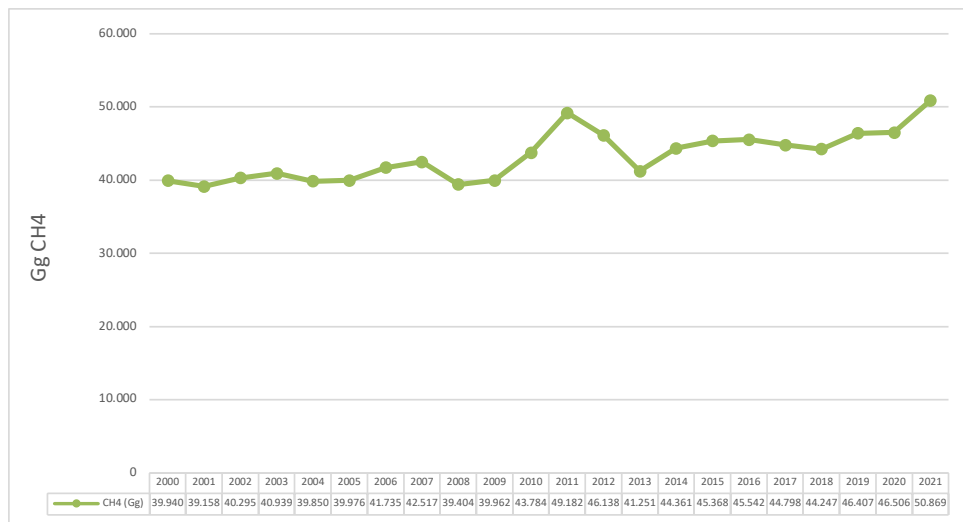
Gambar 58. Komposisi Jenis Gas Sektor Pertanian Tahun 2021

Tren emisi gas CO_2 dari Tahun 2000 – 2017 kecenderungannya meningkat dan mengalami sedikit penurunan di Tahun 2019 – 2021, 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 – 2021 disajikan seperti pada Gambar 59.



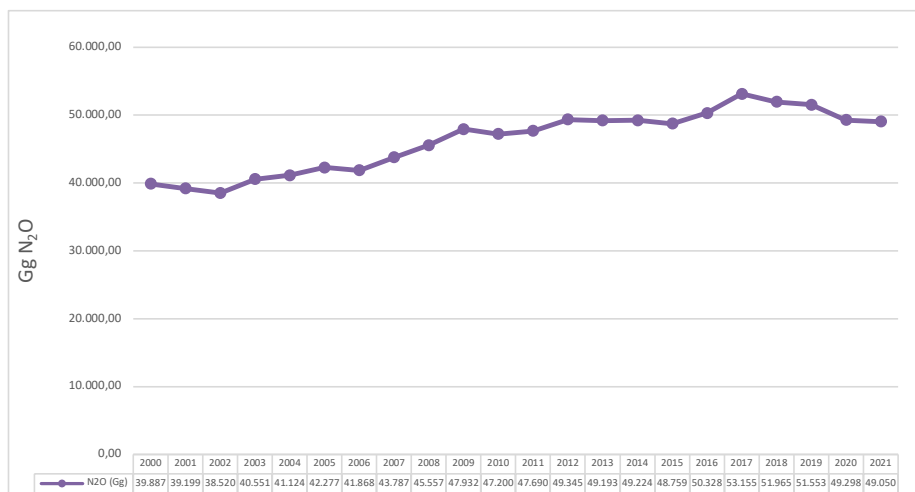
Gambar 59. Tren Emisi Gas CO_2 Sektor Pertanian Tahun 2000 – 2021

Tren emisi gas CH_4 dari Tahun 2000 – 2021 kecenderungannya meningkat dan terdapat sedikit fluktuasi yang tidak terlalu signifikan, hal ini disebabkan karena luas panen padi sawah sebagai sumber emisi utama gas CH_4 , masih cukup besar. Secara grafis tren emisi gas CH_4 sektor pertanian Tahun 2000 – 2021 disajikan seperti pada Gambar 60.



Gambar 60. Tren Emisi Gas CH_4 Sektor Pertanian Tahun 2000 – 2021

Tren emisi gas N_2O dari Tahun 2000 – 2021 kecenderungannya meningkat dan mengalami sedikit fluktuasi yang tidak terlalu signifikan, hal ini disebabkan karena masih tingginya penggunaan pupuk sintetis sebagai sumber utama gas N_2O . Secara grafis tren emisi gas N_2O sektor pertanian Tahun 2000 – 2021 disajikan seperti pada Gambar 61.



Gambar 61. Tren Emisi Gas N_2O Sektor Pertanian Tahun 2000 – 2021

F. Sumber Emisi Kunci

Hasil perhitungan sumber emisi kunci atau analisis kategori kunci pada sektor pertanian di

Tahun 2021 menunjukkan bahwa, kontribusi terbesar adalah emisi dari budidaya padi sawah dengan kontribusi sebesar 26,87%. Selanjutnya adalah emisi dari N₂O langsung dari pengolahan tanah dengan kontribusi 26,51% dan dari fermentasi enterik dengan kontribusi 18,13% 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 2021 dapat dilihat pada Tabel 27.

Tabel 27. Analisis Kategori Kunci Sektor Pertanian Tahun 2021

Kode	Kategori	Gas	Emisi (CO ₂ e)	Kontribusi %	Akumulasi %
3.C7.	Rice Cultivations	CH ₄	28.447,61	26,87	26,87
3.C4.	Direct N ₂ O Manage Soils	N ₂ O	28.074,37	26,52	53,38
3.A1.	Enteric Fermentation	CH ₄	19.197,70	18,13	71,52
3.A2b.	Direct N ₂ O Manure Management	N ₂ O	8.286,30	7,83	79,34
3.C5.	Indirect N ₂ O Manage Soils	N ₂ O	7.117,12	6,72	86,07
3.C6.	Indirect N ₂ O Manure Management	N ₂ O	5.031,00	4,75	90,82
3.C3.	Urea Fertilization	CO ₂	4.208,13	3,97	94,79
3.A2a.	Manure Management	CH ₄	1.830,60	1,73	96,52
3.C2.	Liming	CO ₂	1.757,90	1,66	98,18
3.C1a.	Biomass Burning Cl	CH ₄ , N ₂ O	1.239,62	1,17	99,35
3.C1b.	Biomass Burning Gl	CH ₄ , N ₂ O	686,30	0,65	100,00
			105.876,65	100,00	

4.2.4. Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

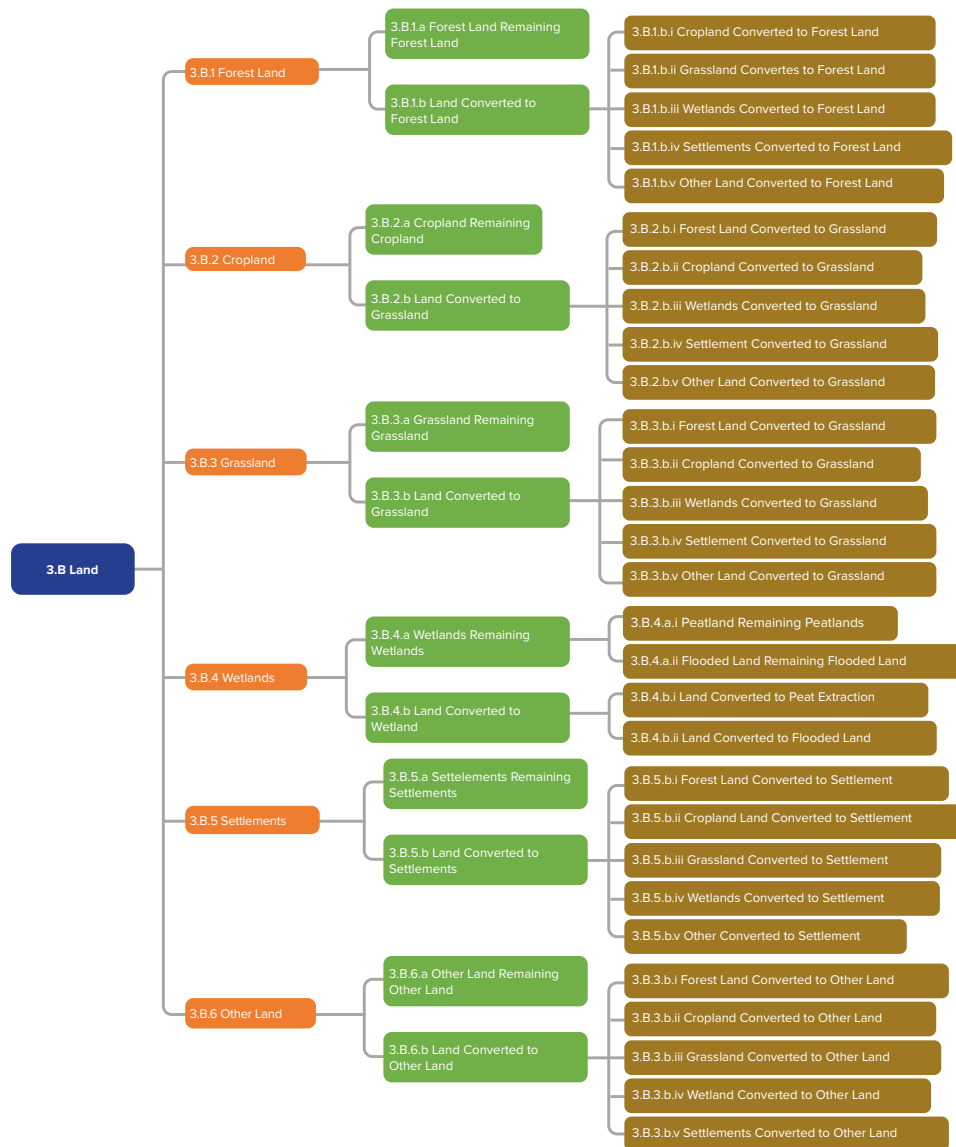
A. Kategori Sumber Emisi GRK

Data Aktivitas

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

$$\text{Emisi/Penyerapan GRK} = \text{Activity Data (AD)} \times \text{Emission Factor (EF)}$$

Data aktivitas (*activity data*) adalah data tentang besaran kuantitatif aktivitas *antropogenic* yang mengakibatkan keluarnya/terserapnya emisi GRK per satuan pengukuran tertentu. Data aktivitas digunakan untuk mengestimasi besarnya nilai karbon suatu wilayah (region). 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 dan lembaga yang memiliki dan menyimpan data tersebut, serta melakukan proses peningkatan kualitas data melalui proses *Quality Control* (QC) dan fasilitasi proses *Quality Assurance* (QA). Pengumpulan dan pemutakhiran data dilakukan secara berkelanjutan dengan melibatkan K/L terkait.



Gambar 62. Cakupan Sumber Emisi GRK dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

Keseluruhan proses tersebut, telah diatur melalui pengaturan kelembagaan Inventarisasi GRK Nasional pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (LHK) Nomor P.73/MenLHK/Setjen/Kum.1/12/2017. Pada Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya, penanggung jawab sektor adalah Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, sehingga Direktorat IGRK dan MPV melakukan proses ataupun fasilitasi pengumpulan data aktivitas sampai dengan proses QC/QA. Penyelenggaraan IGRK sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya masih bersifat *top-down approach*, di mana pengumpulan data aktivitas diperoleh melalui K/L terkait (KLHK) dan proses penyelenggaraan IGRK dilakukan di tingkat Nasional.

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 dan 2021.

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).

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.

4) Peta Sebaran Gambut BBDSL (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 2021 ini telah digunakan peta sebaran gambut dengan skala 1 : 50.000.

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 – 2021.

D. Sumber Data

Faktor Emisi (FE)

Faktor emisi (*emission factor*) adalah tingkat emisi per satuan pengukuran data aktivitas *antropogenic* (manusia) tertentu baik input maupun output. Penyelenggara Inventarisasi GRK melakukan upaya pengumpulan dan pengembangan faktor emisi lokal melalui kerja sama dengan instansi, lembaga, dan perguruan tinggi yang melakukan penelitian faktor emisi.

Dalam hal faktor emisi lokal belum tersedia, maka dapat digunakan faktor emisi lokal yang tersedia untuk daerah lain atau faktor emisi nasional atau regional yang sudah tersedia atau *default* yang ditetapkan IPCC *Guidelines*. Kompilasi faktor emisi dari berbagai negara dan wilayah dihipunkan dalam basis data untuk faktor emisi (*Emission Factor Database*).

Tingkat Ketelitian (Tier)

Terdapat 3 (tiga) metodologi *tier*, untuk memperkirakan emisi atau serapan gas rumah kaca. Tingkat dari *tier* dibedakan mulai dari penggunaan persamaan sederhana dengan data *default* sampai dengan penggunaan data spesifik dalam sistem yang lebih kompleks. Semakin tinggi kedalaman

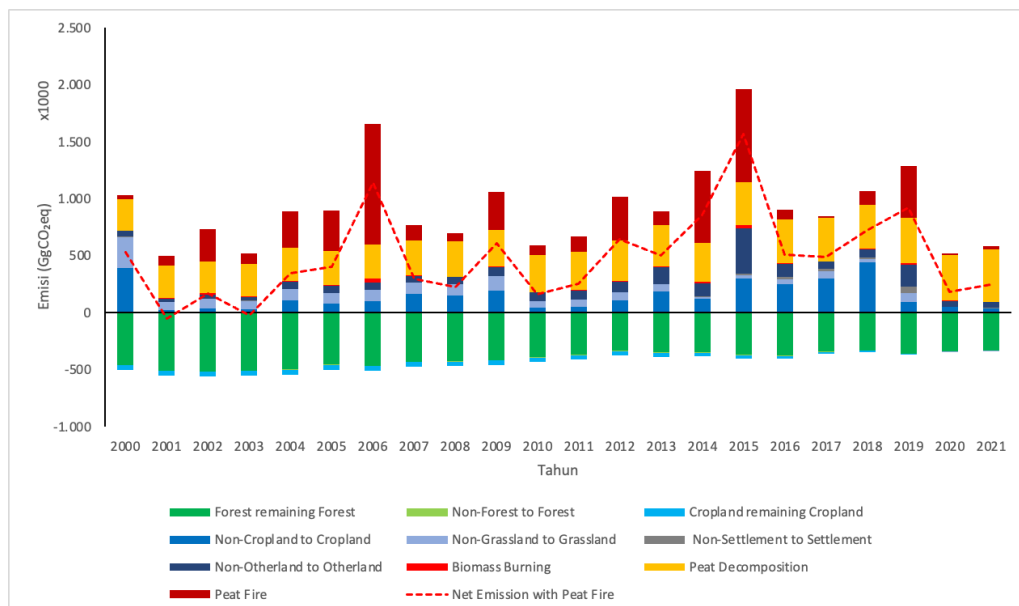
metode yang dipergunakan maka hasil perhitungan emisi/serapan GRK yang dihasilkan semakin rinci dan akurat. Tingkat ketelitian (*tier*) terdiri dari:

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 *modeling* dan *sampling*), dengan pendekatan modeling faktor emisi lokal yang divariasikan dengan keberagaman kondisi yang ada, sehingga emisi dan serapan GRK memiliki tingkat kesalahan lebih rendah.

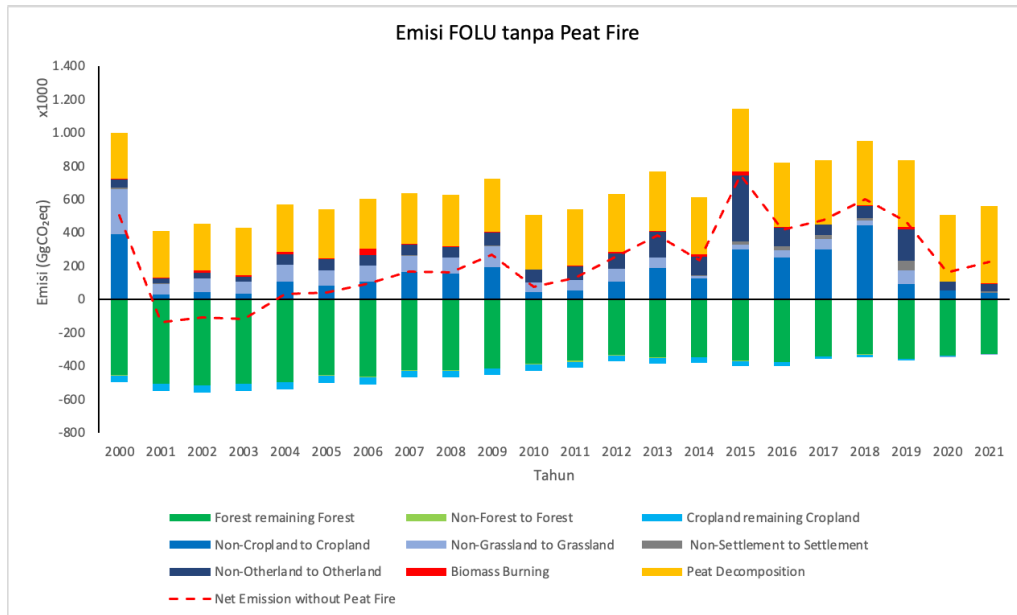
Untuk estimasi Inventarisasi GRK Nasional tahun 2000 – 2021 yang menjadi lingkup pada laporan ini menggunakan metode IPCC *Guidelines* 2006 untuk *Tier-1* dan *Tier-2*. Di samping itu juga dipergunakan panduan pada *2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands* (IPCC, 2014). 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 1.

E. Perhitungan Emisi GRK/Serapan GRK

Dari hasil inventarisasi dan penghitungan, total emisi GRK pada sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya pada tahun 2021 adalah sebesar 249.712 Gg CO₂e lebih tinggi 7,39% dari tahun 2020. Gambar 63 menunjukkan trend emisi sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya dengan *peat fire*, sedangkan Gambar 64 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.

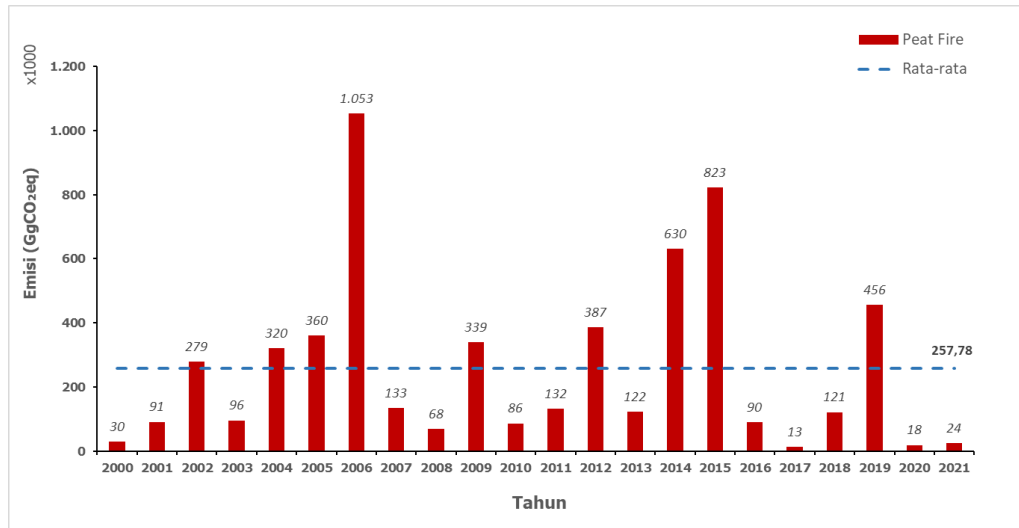


Gambar 63. Emisi Dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lainnya Tahun 2000 – 2021 (dengan *Peat Fire*)



Gambar 64. Emisi Dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lainnya Tahun 2000 – 2021 (tanpa *Peat Fire*)

Rata-rata emisi GRK selama periode tahun 2000 – 2021 adalah sebesar 487.894 Gg CO₂e/tahun. Terjadi peningkatan emisi yang ekstrem pada tahun 2006, 2009, 2014, 2015 dan 2019 dimana 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 65 menunjukkan di tahun 2021, emisi dari kebakaran gambut adalah sebesar 23.917 Gg CO₂e, naik dari tahun 2020 yang sebesar 18.460 Gg CO₂e. Hal tersebut berbanding lurus dengan adanya peningkatan luas gambut yang terbakar, yaitu dari 19.998 Ha pada tahun 2020, menjadi 25.910 Ha pada tahun 2021.



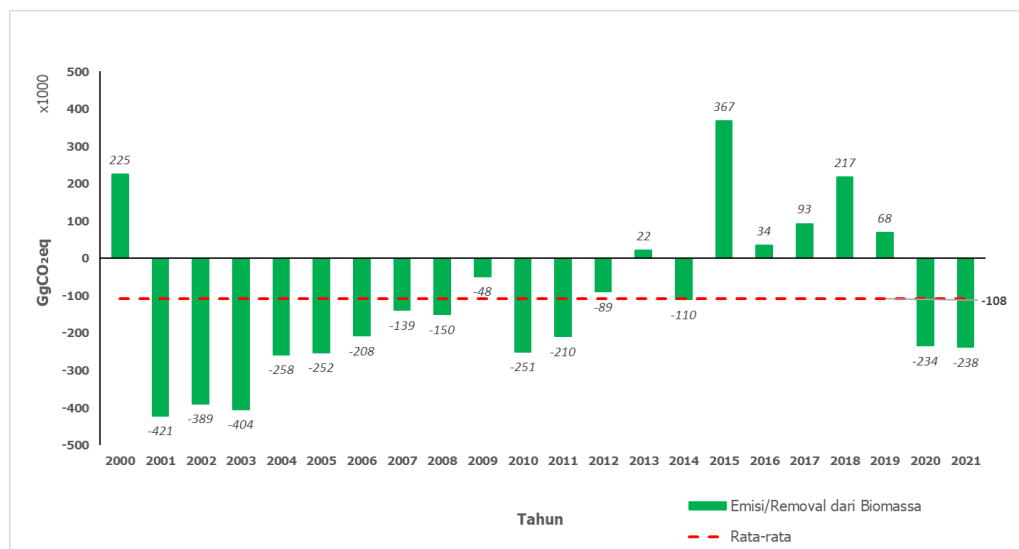
Gambar 65. Emisi dari Kebakaran Gambut 2000 – 2021

Selain itu, terdapat Gas Non-CO₂ yang dihasilkan dari kebakaran yang menambah emisi dari biomassa di atas permukaan tanah, yaitu CH₄ sebesar 1.350 Gg CO₂e dan N₂O sebesar 855 Gg CO₂e. Sedangkan, pengurangan tingkat emisi dari biomassa di atas permukaan tanah terjadi pada tahun 2001, 2010, 2014, 2016, dan 2020. Pengurangan tingkat emisi dari biomassa di atas permukaan tanah dapat diartikan bahwa terjadi peningkatan cadangan karbon, khususnya pada subkategori *Forestland remaining Forestland*.

Tabel 28. Emisi Biomass *Burning* Gas Non-CO₂

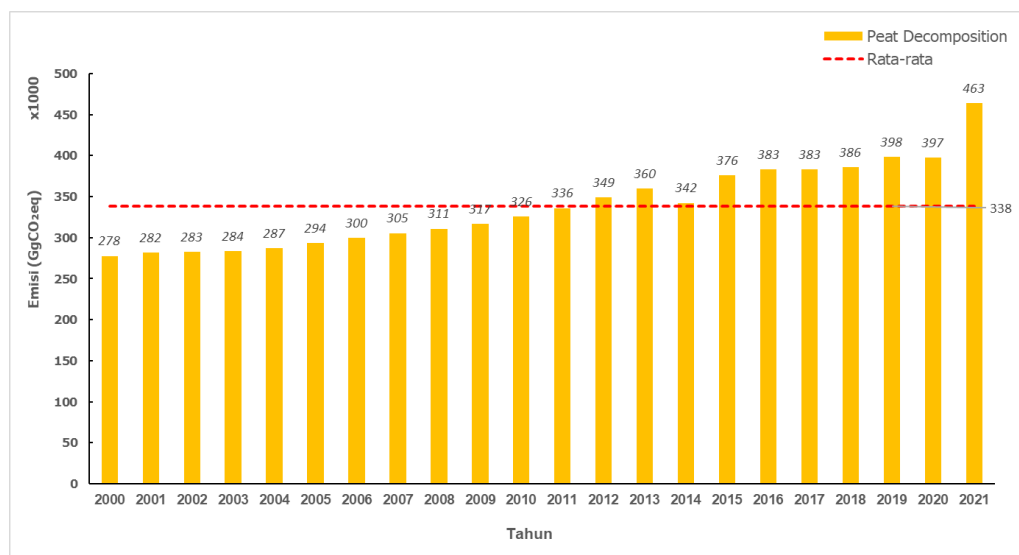
Kategori		CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ e
3C1.	Biomass Burning			
	3C1a. Biomass Burning in Forest Land	23,71	0,70	714,21
	3C1b. Biomass Burning in Crop Land	26,01	0,73	772,18
	3C1c. Biomass Burning in Grass Land	14,59	1,33	719,11
	Total CO ₂ e	1.350,51	855,00	2.205,50

Emisi dari biomassa di atas permukaan tanah ini berasal dari kedua jenis tanah yaitu gambut dan mineral. Gambar 66 menunjukkan bahwa dalam tahun 2000 – 2021 terjadi beberapa fluktuasi emisi, yaitu pada tahun 2006, 2009, 2012, 2015 dan 2019. Fluktuasi emisi pada tahun-tahun tersebut sebagian besar disumbang oleh subkategori *Non Otherland to Otherland* dan *Non Cropland to Cropland*. Hal ini dapat diindikasikan terjadi perubahan dari kategori kelas tutupan hutan ke non hutan.



Gambar 66. Emisi Karbon di Atas Permukaan Tanah dari Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya 2000 – 2021

Gambar 67 menunjukkan 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.



Gambar 67. Emisi Dekomposisi Gambut 2000 – 2021

Emisi Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya dari tahun 2000 – 2021 dirangkum menggunakan format *IPCC Guidelines 2006* seperti disajikan pada Tabel 29, Tabel 30 dan pada Gambar 63 serta Gambar 64. Tabel 29 dan Tabel 30 menggambarkan perubahan-perubahan nilai emisi GRK dari tahun 2000 – 2021. Tabel tersebut menunjukkan bahwa sumber emisi utama dari

sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya pada tahun 2021 adalah *Peat Decomposition* pada urutan pertama dengan emisi sebesar 463.480 Gg CO₂e, dan *Non-Otherland to Otherland* pada urutan kedua dengan emisi sebesar 47.023 Gg CO₂e. Sedangkan, sumber serapan utama adalah *Forest remaining Forest* dengan serapan sebesar 326.951 Gg CO₂e. Secara ringkas, maka sumber emisi GRK pada sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya dibagi menjadi 3 (tiga), yaitu emisi/*removal* dari 1) perubahan stok karbon di atas permukaan tanah (*above ground biomass*), 2) dekomposisi gambut, dan 3) kebakaran gambut, seperti tertera pada Gambar 65, Gambar 66, dan Gambar 67.

Tabel 29. Emisi dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lainnya Tahun 2000 – 2010 (Gg CO₂e)

Kode	Kategori Sumber	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	391.993	26.380	42.116	33.434	107.069	82.296	103.563	163.041	153.298	195.125	45.421
3B3a	Grassland remaining Grassland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3B3b	Non-Grassland to Grassland	270.957	66.441	82.315	71.627	99.505	88.878	97.079	99.710	95.679	124.660	54.603
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	5.123	1.965	1.596	1.450	1.442	946	1.313	1.233	940	1.407	1.324
3B6a	Otherland remaining Otherland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3B6b	Non-Otherland to Otherland	52.000	30.823	32.943	28.386	62.254	66.995	61.037	62.235	63.410	77.252	76.011
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	224.909	-421.101	-389.403	-404.212	-258.043	-252.084	-207.524	-138.791	-150.467	-48.268	-250.780
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	502.564	-139.544	-106.814	-120.433	29.172	41.441	92.187	166.621	160.445	268.549	75.009
Other	Peat Fire	29.796	91.099	278.983	95.689	319.950	360.117	1.053.083	133.203	68.261	338.658	86.133
	Total emission with Peat Fire	532.360	-48.445	172.169	-24.744	349.122	401.558	1.145.270	299.824	228.706	607.207	161.142

Tabel 30. Emisi dari Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lainnya Tahun 2000 – 2010 (Gg CO₂e)

Kode	Kategori Sumber	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
3B1a	Forest remaining Forest	-368.838	-331.479	-345.487	-345.140	-367.876	-375.925	-340.318	-330.486	-357.188	-336.979	-326.952
3B1b	Non-Forest to Forest	-5.253	-4.673	-5.781	-3.555	-2.157	-2.498	-2.055	-734	-52	-85	-549
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
3B2b	Non-Cropland to Cropland	53.376	108.068	186.399	124.793	299.107	248.710	301.322	445.011	93.335	51.608	37.316
3B3a	Grassland remaining Grassland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3B3b	Non-Grassland to Grassland	61.566	73.566	65.204	13.676	27.450	44.990	62.437	26.773	77.806	-1.635	-5.784
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	1.622	1.771	1.182	7.346	20.229	24.605	22.948	17.349	60.330	1.114	7.438
3B6a	Otherland remaining Otherland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3B6b	Non-Otherland to Otherland	81.654	89.713	151.566	109.575	395.719	111.857	61.607	69.495	189.604	52.943	47.024
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
	Biomass FOLU	-209.686	-89.324	21.620	-110.360	366.657	34.195	92.587	216.588	68.220	-234.410	-237.684
Other	Peat Decomposition	336.073	349.262	359.863	342.202	376.186	383.189	383.418	385.600	398.178	397.423	436.480
	Total emission without Peat Fire	126.388	259.937	381.483	231.841	742.843	417.385	476.005	602.188	466.397	163.013	225.796
Other	Peat Fire	131.707	386.787	121.851	630.231	822.736	90.267	12.512	121.322	456.427	18.460	23.917
	Total emission with Peat Fire	258.095	646.724	503.334	862.072	1.565.579	507.652	488.517	723.510	922.825	181.474	249.713

F. Sumber Emisi Kunci

Berdasarkan analisis kategori kunci sebagaimana Tabel 31, sumber emisi/serapan kunci pada sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya tahun 2021 adalah *Peat Decomposition* dengan kontribusi emisi sebesar 50,58%, *Forest Remaining Forest* dengan kontribusi serapan sebesar 35,68%, *Non-Otherland to Otherland* dengan kontribusi emisi 5,13%, *Non-Cropland to Cropland* dengan kontribusi emisi sebesar 4,07%.

Tabel 31. Analisis Kategori Kunci Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

Kategori	Emisi Gg CO ₂ e	Absolute	Kontribusi (%)	Kumulatif (%)
<i>Other: Peat Decomposition</i>	463.480,02	463.480,02	50,58	50,58
<i>3B1a. Forest Remaining Forest</i>	-326.951,87	326.951,7	35,68	86,26
<i>3B6b. Non-Otherland to Otherland</i>	47.023,76	47.023,76	5,13	91,40
<i>3B2b. Non-Cropland to Cropland</i>	37.316,31	37.316,31	4,07	95,47
<i>Other: Peat Fire</i>	23.917,28	23.917,28	2,61	98,08
<i>3B5b. Non-Settlement to Settlement</i>	7.431,89	7.431,89	0,81	98,89
<i>3B3b. Non-Grassland to Grassland</i>	-5.784,40	5.784,40	0,63	99,52
<i>3C1. Biomass Burning</i>	2.205,50	2.205,50	0,24	99,76
<i>3B2a. Cropland Remaining Cropland</i>	1.623,71	1.623,71	0,18	99,94
<i>3B1b. Non-Forest to Forest</i>	-549,23	549,23	0,06	100,00
<i>3B3a. Grassland Remaining Grassland</i>	0,00	0,00	0,00	100,00
<i>3B4a. Wetland Remaining Wetland</i>	NE	NE	NE	NE
<i>3B4b. Non-Wetland to Wetland</i>	NE	NE	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	249.712,97	916.283,97	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 2021.

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 – 2021.

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:

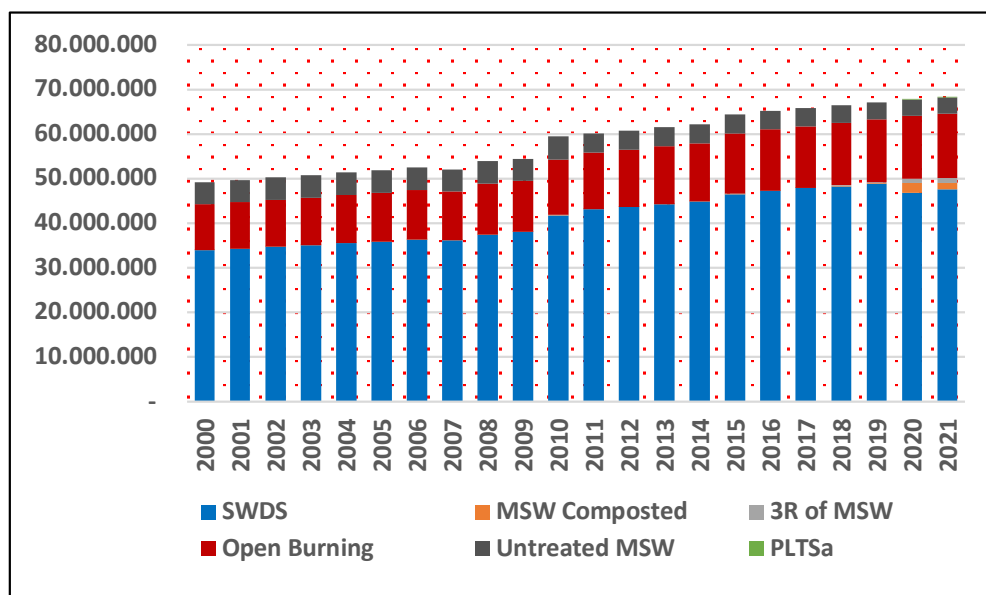
1. Pengelolaan Limbah Padat Domestik

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 tempat pembuangan akhir (TPA) atau disebut juga *landfill*, sedangkan sampah padat domestik dari daerah pedesaan sebagian masih diolah setempat dengan cara pembakaran terbuka (*open burning*) dan/atau *open dumping*.

Sejak 2018, data aktivitas sampah padat domestik nasional tahunan diperoleh dari Direktorat Penanganan Sampah, Ditjen PSLB3 berupa olahan data provinsi/kabupaten/kota yang masuk melalui portal SIPSN (Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional). Sebelumnya, data pengelolaan sampah padat domestik diperoleh dari Direktorat Pengelolaan Sampah Ditjen PSLB3 dengan sumber data dari program ADIPURA. Program ADIPURA ini telah 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 SIPSN. SIPSN setidaknya hingga tahun 2021 telah menghimpun data *bottom up* dari 75 – 80% kabupaten/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 68 berikut.



Gambar 68. Neraca Sampah Padat Domestik 2000 – 2021

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

Tabel 32. 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⁾	
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%

No.	Komponen	Komposisi Sampah (% berat basah)						IPCC GL 2006 (Asia Tenggara)
		Sumatera Utara	Sumatera Selatan	Riau	DKI Jakarta	Jawa Timur	Rata-Rata ^{*)}	
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 33. *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 CH_4 /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 34 memperlihatkan parameter dan faktor emisi yang digunakan.

Tabel 34. 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 domestik		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 <i>Guidelines 2006</i>
	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</i> protein	1,10	
	<i>F</i> protein industri yang dibuang di saluran pembuangan	1,25	
	<i>N sludge</i> (default = 0)	0 kGram	
	Faktor Emisi N_2O	0,005 kg N_2O -N/kg N	
	Faktor konversi kg N_2O -N menjadi kg N_2O , 44/28	1,571	
	Emisi dari IPAL (default = 0)	- kg N_2O -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</i> dan <i>untreated</i>	
	EF <i>Effluent</i> (Kg N_2O -N/ kg-N)	0,005	
	EF <i>Plants</i> (g N_2O /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 35. Parameter Fraksi Populasi dan Derajat Penggunaan pada Pengolahan Limbah Cair Domestik

	<i>Treatment</i>	<i>Fraction</i>	<i>Degrees of Utilization</i>
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
Urban	Septic tank	0,498	0,79
	Non Septic tank	0,498	0,22
	Centralized	0,498	0,00
	Bio-digesters	0,498	0,00
2011			
Rural	Septic tank	0,495	0,45
	Non Septic tank	0,495	0,55
Urban	Septic tank	0,505	0,79
	Non Septic tank	0,505	0,22
	Bio-digesters	0,505	0,00
2020			
Rural	Septic tank	0,433	0,71
	Non Septic tank	0,433	0,29
Urban	Septic tank	0,567	0,83
	Non Septic tank	0,567	0,11
	Centralized	0,567	0,056
	Bio-digesters	0,567	0,004
2021			
Rural	Septic tank	0,427	0,72
	Non Septic tank	0,427	0,28
Urban	Septic tank	0,567	0,84
	Non Septic tank	0,574	0,10
	Centralized	0,574	0,057
	Bio-digesters	0,574	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-data produksi olahan ini utamanya diperoleh dari Kementerian Perindustrian melalui Pusat Industri Hijau (PIH) dan Direktorat Industri minuman hasil tembakau dan bahan penyegar. Data aktivitas lainnya diperoleh dari statistik

perkebunan dan statistik BPS. Sejak tahun 2020 Kemenperin menyampaikan data produksi olahan yang bersumber dari data SIINas (Sistem Informasi Industri Nasional), namun karena fluktuasi data yang masih sangat besar, beberapa data produksi olahan di tahun 2020 dan 2021 masih menggunakan data proyeksi, sedangkan data lainnya menggunakan referensi dari statistik BPS dan statistik perkebunan.

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 – 2021 terangkum pada Tabel 36. Hampir semua kategori, cenderung mengalami peningkatan dari tahun ke tahun dengan tingkat kenaikan yang relatif kecil tanpa lonjakan yang signifikan. Angka emisi nasional sektor limbah periode 2000 – 2021 ini cenderung mengalami penurunan setelah sebelumnya dilakukan rekalkulasi pada kategori limbah cair industri dan adanya penambahan kategori baru *EFB stockpiles*. Dalam laporan ini, penghitungan angka emisi GRK untuk air limbah industri, yaitu kapasitas produksi pati (*starch*) diperbaiki, termasuk data terbaru tentang kegiatan yang terkait dengan pengolahan dan pengelolaan serta pemulihan metana pulp dan kertas dan CPO.

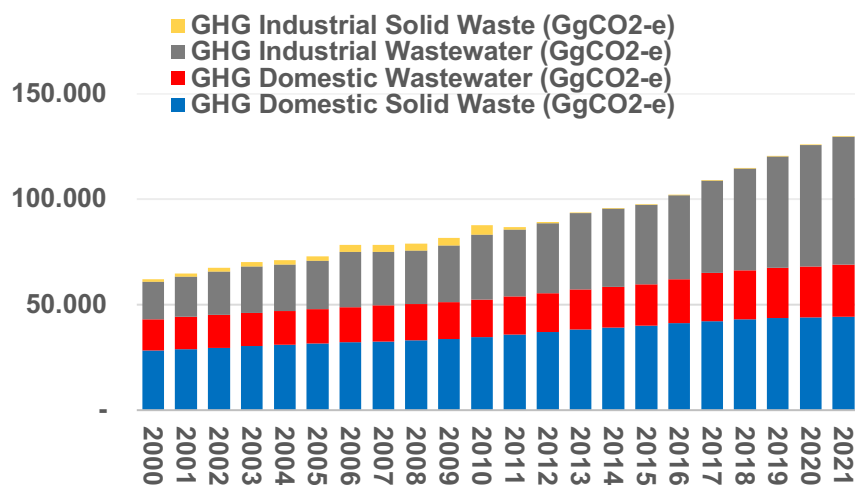
Perbaikan lainnya adalah penggunaan nilai default methan correction factor (MCF) *Wastewater Treatment (WWT)* pada industri pati (*starch*) dengan MCF lebih tinggi, yaitu 0,9 yang merupakan unit WWT anaerobik dalam (*anaerobic deep lagoon*). Survei lapangan primer untuk sejumlah industri pati di Lampung 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*), dimana 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 2021 adalah sebesar 129.838 Gg CO₂e. Pengolahan limbah cair industri (*Industrial Wastewater/IWW*) masih menjadi penyumbang emisi terbesar dari sektor limbah dengan angka sebesar 60.848 Gg CO₂e atau 46,86%. Selanjutnya berturut-turut diikuti oleh emisi dari limbah padat domestik (MSW) sebesar 44.269 Gg CO₂e (34,10%), limbah cair domestik sebesar (DWW) 24.635 Gg CO₂e (18,97%) dan limbah padat industri (ISW) sebesar 85 Gg CO₂e (0,07%).

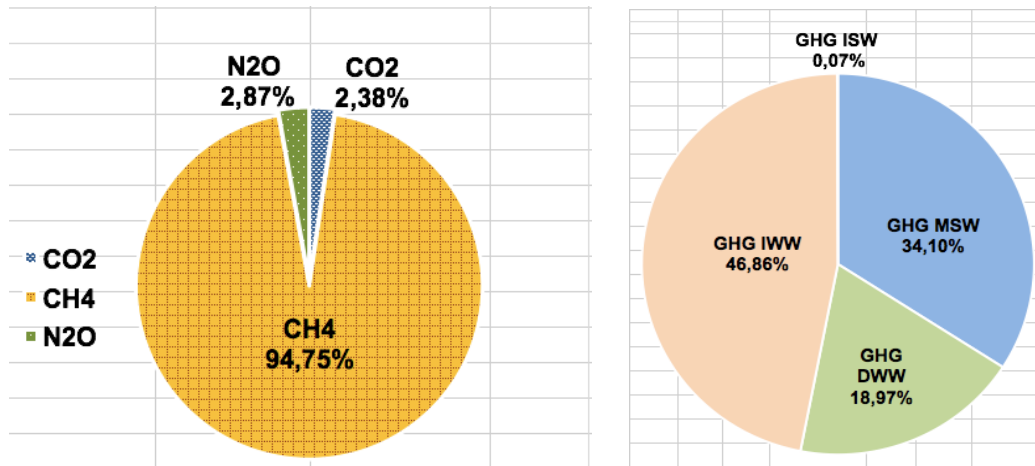
Tabel 36. Emisi GRK dari Sektor Limbah Tahun 2000 – 2021

Tahun	GHG MSW (Gg CO ₂ e)	GHG DWW (Gg CO ₂ e)	GHG IWW (Gg CO ₂ e)	GHG ISW (Gg CO ₂ e)	GHG TOTAL (Gg CO ₂ e)
2000	28.198	14.977	17.735	1.281	62.191
2001	28.950	15.196	19.175	1.537	64.857
2002	29.649	15.659	20.346	1.761	67.415
2003	30.310	15.926	22.008	1.911	70.155
2004	30.939	16.129	22.020	1.982	71.070
2005	31.546	16.392	22.763	2.171	72.871
2006	32.135	16.560	26.502	3.175	78.373
2007	32.630	16.982	25.485	3.233	78.329
2008	33.153	17.223	25.242	3.210	78.827
2009	33.801	17.330	26.909	3.536	81.576
2010	34.783	17.602	30.935	4.446	87.766
2011	35.967	17.899	31.851	1.219	86.936
2012	37.079	18.491	33.135	504	89.209
2013	38.212	18.973	36.138	246	93.569
2014	39.170	19.294	37.246	174	95.884
2015	40.119	19.508	37.766	145	97.539
2016	41.180	20.886	39.918	121	102.105
2017	42.147	22.805	43.871	116	108.939
2018	43.019	23.321	48.168	128	114.637
2019	43.785	23.584	52.832	132	120.333
2020	43.957	24.009	57.639	68	125.764
2021	44.269	24.635	60.848	85	129.838



Gambar 69. Emisi GRK dari Kegiatan Pengelolaan Limbah 2000 – 2021

Berdasarkan jenis gasnya, CH₄ merupakan gas utama yang dihasilkan dari sektor ini yaitu sebesar 123.024 Gg CO₂e (94,75%), dilengkapi oleh gas N₂O sebesar 3.727 Gg CO₂e (2,87%) dan gas CO₂ 3.087 Gg CO₂e (2,38%). Distribusi emisi GRK dari sektor sampah tahun 2021 menurut sumber dan jenis gasnya disajikan pada Gambar 70.



Gambar 70. Distribusi Emisi Sektor Limbah Tahun 2021

Tabel pelaporan umum (*common reporting format*) emisi GRK sektor limbah tahun 2021 disajikan pada Tabel 37 di bawah ini, untuk tiga gas CO₂, CH₄ dan N₂O yang telah dikonversikan dalam satuan Giga gram CO₂e.

Tabel 37 *Common Reporting Format of the GHG Emissions from Waste Category in 2021*

GHG Source and Sink Categories		CO ₂ *	CH ₄	N ₂ O	TOTAL
		(Ggram CO ₂ e)			
Total Waste		3.087	123.025	3.727	129.838
A.	Solid waste disposal				
1.	Manage waste disposal sites				
1.1	Managed domestic waste disposal sites				
1.2	Manage Industrial waste disposal		23,14		23,14
2.	Unmanage domestic waste disposal sites		38.830		38.830
3.	Uncategorised waste disposal sites				
B.	Biological treatment od solid waste				
1.	Composting of domestic solid waste		1,00	36,81	37,80
2.	Composting of industrial solid waste		0,24	0,21	0,45
3.	Anaerobic digestion at biogas facilities				
C.	Incineration and open burning of waste				
1.	Waste incineration				
2.	Open burning of domestic solid waste	3.086	1.962	355	5.402

GHG Source and Sink Categories			CO ₂ *	CH ₄	N ₂ O	TOTAL
			(Ggram CO ₂ e)			
D.	Wastewater treatment and discharge					
	1.	Domestic wastewater		21.230	3.336	24.635
	2.	Industrial wastewater		60.848		60.848
	3.	Other (as specified in Table 5 D)				
E.	Other (please specify)					
	1.	Industrial solid waste handling	1,01	60,8		61,81
*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 38).

Tabel 38. Analisis Kategori Kunci Sektor Limbah Tahun 2020

Code	Category	Total GHG Emissions	Level/ Rank	Cumulative
4D 2	Industrial Wastewater Treatment and Discharge	60.848	46,86	46,86
4A 2	Unmanaged Solid Waste Disposal	38.830	29,91	76,77
4D 1	Domestic Wastewater	24.635	18,97	95,74
4C	Open Burning of waste	5.402	4,16	99,90
4E 1	Other – Industrial Solid Waste Handling	61,81	0,05	99,95
4A 1.2	Managed Industrial Solid Waste Disposal	37,80	0,03	99,98
4B 1	Biological Treatment of Domestik Solid Waste	23,14	0,02	100
4B 2	Biological Treatment of Industrial Solid Waste	0,45	0,00	100
TOTAL		129.838	100%	100%

BAB V
HASIL CAPAIAN
PENGURANGAN EMISI GRK



BAB V HASIL CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK

5.1. Pengurangan Emisi GRK Nasional Dari Aksi Mitigasi

Indonesia telah menyampaikan perangkat ratifikasi *Paris Agreement* melalui Peraturan Presiden Nomor 16 Tahun 2016 dilengkapi dengan dokumen *First Nationally Determined Contribution* (NDC) yang memuat komitmen target pengurangan emisi GRK sebesar 29% dan sampai 41% dibandingkan *business as usual* pada tahun 2030, dan meningkat target pengurangan emisi GRK sebesar 31,89% dan 43,20% di tahun 2030 sesuai target yang tercantum dalam dokumen *Enhanced NDC* (E-NDC).

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 untuk tahun kegiatan 2020 yaitu sebesar **573,95 Juta ton CO₂e**, dan sebesar **487,90 Juta ton CO₂e** untuk tahun 2021 dengan pengurangan emisi GRK sebesar sebagaimana terlihat pada Tabel 39.

Tabel 39. Capaian Pengurangan Emisi GRK Nasional dari Aksi Mitigasi Tahun 2020 – 2021

No.	Sektor	Capaian Pengurangan emisi GRK (ton CO ₂ e)	
		2020	2021
1.	Energi	75.522.359	91.497.470
2.	IPPU	2.730.564	2.786.417
3.	Kehutanan	473.357.044	377.873.377
4.	Pertanian	20.982.200	14.043.100
5.	Limbah	1.359.647	1.702.503
	Total	573.951.814	487.902.867

Tabel tersebut menunjukkan adanya peningkatan capaian pengurangan emisi GRK tahun 2020 ke tahun 2021 di sektor Energi, IPPU, Kehutanan, dan Limbah. Untuk sektor Pertanian mengalami penurunan terhadap capaian pengurangan emisi GRK tahun 2021 apabila dibandingkan dengan capaian pengurangan emisi GRK tahun 2020. Hal ini disebabkan karena luas penanaman padi sawah varietas rendah emisi menurun. Dimana luas lahan padi yang menggunakan varietas rendah emisi tahun 2021 menjadi 2.509.298 Ha dari 6.484.122,26 Ha pada tahun 2020. Sedangkan penurunan capaian pengurangan emisi GRK di sektor Kehutanan disebabkan karena adanya koreksi atas metodologi perhitungan yang digunakan.

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 (kehutanan, energi, IPPU, pertanian dan limbah) yang telah dilaporkan oleh kementerian teknis selaku penanggung jawab

aksi sesuai tupoksi kementerian kepada KLHK melalui Tim MRV untuk dilakukan proses verifikasi atas capaian pengurangan emisi GRK.

Untuk memperoleh data capaian pengurangan emisi dan/atau peningkatan serapan GRK yang memenuhi prinsip TACCC (*Transparent, Accurate, Consistence, Complete, and Comparable*) atau Transparan, Akurat, Konsisten, Komprehensif, dan Komparabel), KLHK telah menerbitkan Peraturan Menteri LHK Nomor 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.

5.2.1. 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 E-NDC. Untuk mencapai target NDC di Sektor Energi tersebut, KESDM 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 4 (empat) kelompok aksi yaitu (1) transportasi darat, (2) transportasi udara, (3) transportasi laut, (4) transportasi per-KA, dan Kemenperin untuk aksi mitigasi Efisiensi Energi di Industri Semen.

Untuk pelaporan tahun 2022, ada 2 (dua) aksi mitigasi yang baru dilaporkan KESDM selain aksi mitigasi yang merupakan kegiatan lanjutan dari tahun sebelumnya, yaitu Program Penghargaan Subroto Bidang Efisiensi Energi dan Program Konversi Motor Listrik.

Dari hasil pencermatan atas pelaporan capaian pengurangan emisi GRK di Sektor Energi yang disampaikan oleh PJA tersebut, diketahui bahwa terdapat aksi mitigasi yang akan dialihkan perhitungan capaian pengurangan emisi GRK ke Sektor Kehutanan yaitu untuk aksi mitigasi Reklamasi Lahan Pasca Tambang (KESDM) dan Penghijauan Lingkungan di Bandar Udara (Kemenhub), sehingga capaian pengurangan emisi GRK di Sektor Energi sebesar **91,50 Juta ton CO₂e**. Hal ini menunjukkan peningkatan sebesar **15,98 Juta ton CO₂e** dari tahun 2020.

Capaian pengurangan emisi GRK di Sektor Energi sebagaimana terlihat pada Tabel 40.

Tabel 40. Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2021

No	Kategori Emisi GRK	Capaian Emisi GRK Tahun 2021
1	Sektor Energi	84.929.244
2	Subsektor Energi di Transpotasi	3.065.162
3	Subsektor Energi di Industri	3.503.064
	Total (Ton CO₂e)	91.497.470

Capaian pengurangan emisi GRK untuk Tahun Kegiatan 2021 di Sektor Energi termasuk subsektor energi di industri dan subsektor energi di transportasi untuk setiap aksi mitigasi yang telah dilakukan sebagaimana terlihat pada Tabel 41, Tabel 42, dan Tabel 43.

Tabel 41. Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2021

No	Kategori Aksi/Aksi Mitigasi	Capaian Pengurangan Emisi GRK (Ton CO ₂ e)
I	Energy Efficiency (Efisiensi Energi)	
1	Penerapan mandatori manajemen energi untuk pengguna padat energi	9.452.252,00
2	Peningkatan efisiensi peralatan rumah tangga	
	- Compact Fluorescent Lamp (CFL)	3.489.135,00
	- Piranti pengkonidisi udara (Air Conditioning)	7.279.285,00
	Penerapan Inpres No. 13 Tahun 2011 tentang Penghematan Energi dan Air	
3	Pembangunan PJU Retrofitting Lampu LED	18.003,00
4	Implementasi Joint Mechanism di Indonesia	14.925,00
5	Program Penghargaan Subroto Bidang Efisiensi Energi	285.492,00
6	Program Konversi Motor Listrik	64,00
II	RE as Power & RE as Fuel (Energi Baru Terbarukan)	
7	Pembangkit Energi Baru Terbarukan	
	- PLTP	5.414.616,00
	- PLTMH	
	PLTMH off Grid	57.660,00
	PLTMH on Grid	773.668,00
	- PLTM	
	PLTM off Grid	
	PLTM on Grid	489.389,00
	- PLTS	
	PLTS off Grid	59.383,00
	PLTS on Grid	118.532,00
	- PLTS Rooftop	
	PLTS Rooftop (APBN)	44.884,00
	PLTS Rooftop (IPP/Swasta)	9.178,00
	- PLT Hybrid	7.117,00
	- PLT Bayu	
	PLT Bayu off grid	6.128,00
	PLT Bayu on grid	365.112,00
	- PLT Biomassa	1.330.214,00
	- Pembangunan PLTA	3.201.498,00
8	Lampu Tenaga Surya Hemat Energi (LTSHE)	
	- FotoVoltaik (PV)	8.533,00
	- Lampu LED	-
9	PJU Tenaga Surya	7.198,00
10	Pemanfaatan Biogas	10.471,00

No	Kategori Aksi/Aksi Mitigasi	Capaian Pengurangan Emisi GRK (Ton CO ₂ e)
11	Pemanfaatan Biodiesel	24.704.752,00
III	Fuel Switching (Bahan Bakar Rendah Karbon)	
12	Fuel switching BBM Transportasi (RON 88 ke RON 90, 92, 98+)	187.298,00
13	Program Konversi Minyak Tanah ke LPG	15.247.198,00
14	Penggunaan gas alam sebagai bahan bakar angkutan umum perkotaan	-
15	Peningkatan sambungan rumah yang teraliri gas bumi melalui pipa	37.344,00
IV	Clean Coal Combution (Penggunaan Teknologi Pembangkit Bersih)	
16	Aksi Mitigasi Sektor Ketenagalistrikan	
	- Penggunaan Clean Coal Technology pada PLTU Batubara (Supercritical)	6.212.201,00
	- Penggunaan Combine Cycle Technology pada PLTGU	-
	- Pengoperasian Pembangkit Listrik Gas Baru	6.097.714,00
V	Post Mining Reclamation (Reklamasi Pasca Tambang - Kegiatan Lain)	
17	Reklamasi lahan pasca tambang	-
	TOTAL	84.929.244,00
	MTon CO₂	84,93

Tabel 42. Capaian Pengurangan Emisi GRK Subsektor Energi di Industri Tahun 2021

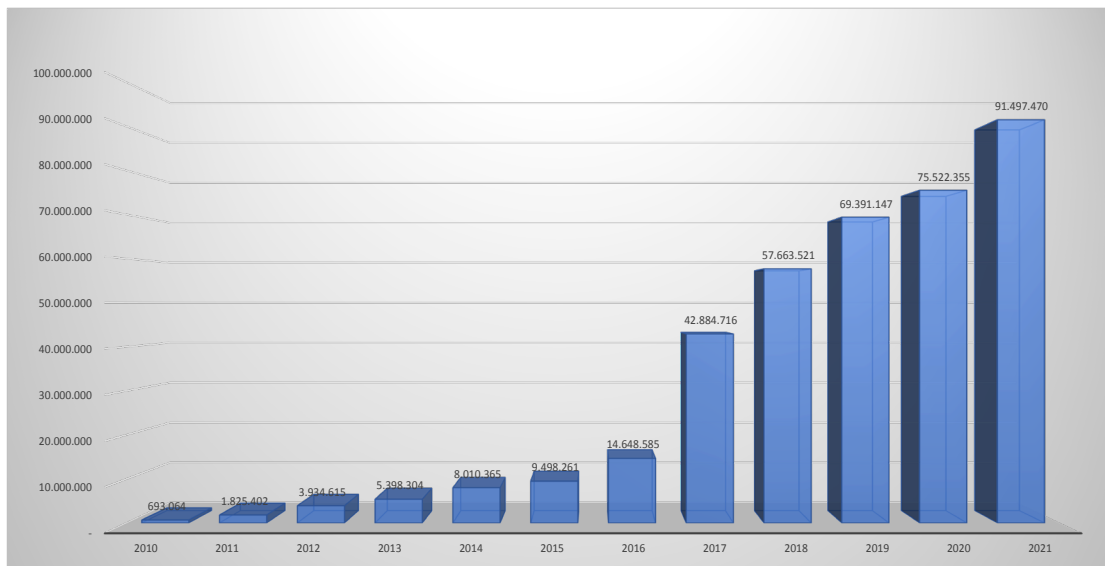
No	Kategori Aksi/Aksi Mitigasi	Capaian Pengurangan Emisi GRK (Ton CO ₂ e)
1	Efisiensi Energi melalui Pemanfaatan Bahan Bakar Alternatif	3.503.064,00
	TOTAL (Ton CO₂e)	3.503.064,00

Tabel 43. Capaian Pengurangan Emisi GRK Subsektor Energi di Transportasi Tahun 2021

No	Kategori Aksi/Aksi Mitigasi	Capaian Pengurangan Emisi GRK (Ton CO ₂ e)
1	SUBSEKTOR PERHUBUNGAN DARAT	
a	Mendorong pembinaan dan Pengembangan Sistem Transit - Bus Rapid Transit (BRT) / Semi BRT	607.537,00
b	Pemanfaatan Teknologi Lalu Lintas untuk Kelancaran Lalu Lintas di Jalan Nasional / (Area Traffic Control System/ ATCS)	147.574,00
c	Penggunaan Solar Cell dalam Penerangan Jalan Umum (PJU)	13.091,00
d	Implementasi LDF (Long Distance Ferry)	2.187,00
e	Penggunaan Sarana Bantu Navigasi Pelayaran (SBNP) berbasis solar cell	880,00
2	SUBSEKTOR PERHUBUNGAN LAUT	
a	Efisiensi Manajemen Operasional Pelabuhan (Pembangunan Teknologi Sollar Cell pada Sarana Bantu Navigasi Pelayaran)	2.317,00
b	Modernisasi Kapal (Peremajaan Kapal & Teknologi Kapal) (Kapal Perintis)*	64.301,00

No	Kategori Aksi/Aksi Mitigasi	Capaian Pengurangan Emisi GRK (Ton CO ₂ e)
c	Shore Connection	354,00
3	SUBSEKTOR PERHUBUNGAN UDARA	
a	Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya	9.182,00
b	Pemanfaatan Sollar Cell untuk Penerangan Jalan	38.564,00
c	Penggunaan lampu Light Emitting Diode (LED) untuk penerangan bandar udara dan rambu navigasi penerbangan	10.279,00
d	Penghijauan Lingkungan Bandar Udara	-
e	Peremajaan Angkutan Udara	280.029,00
4	SUBSEKTOR PERKERETAAPIAN	
a	Pembangunan Jalur Ganda Lintas Utara Jawa & KA Sumatera	1.790.882,00
b	Pembangunan KA Perkotaan Jabodetabek	97.071,00
c	KA Bandara Soekarno Hatta	914,00
TOTAL (Ton CO₂e)		3.065.162,00
TOTAL (MTon CO₂e)		3,07

Capaian pengurangan emisi GRK terverifikasi berdasarkan pelaporan kinerja aksi mitigasi yang disampaikan oleh KESDM, Kemenhub dan Kemenperin dari tahun 2010 – 2021, sebagaimana terlihat pada Gambar 71.



Gambar 71. Capaian Pengurangan Emisi GRK Terverifikasi Sektor Energi Tahun 2010 – 2021

5.2.2. Sektor IPPU

Berdasarkan laporan capaian pengurangan emisi GRK yang disampaikan oleh Kemenperin untuk tahun kegiatan 2020, diketahui bahwa Kemenperin telah melakukan aksi mitigasi sebagai berikut:

1. Penerapan modifikasi proses dan teknologi pada industri semen, melalui penurunan ratio 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.

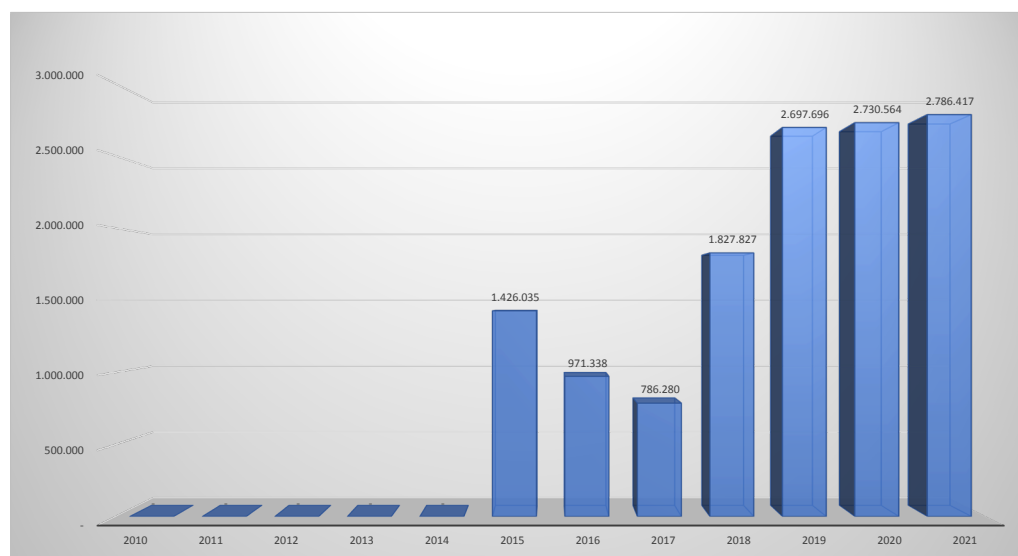
Terhadap pelaksanaan aksi mitigasi Penurunan Ratio Klinker di industri semen dengan sumber data dari 14 (empat belas) *plant* yang terinput di SIINAS (Sistem Informasi Industri Nasional), Kemenperin selaku PJA menyatakan bahwa pada tahun 2021 telah melakukan pengurangan emisi GRK sebesar **2,79 Juta ton CO₂e** meningkat sebesar **0,06 Juta Ton CO₂e** dari tahun 2020 sebesar **2,73 Juta ton CO₂e**.

Capaian pengurangan emisi GRK terverifikasi untuk aksi mitigasi Penurunan Ratio Klinker di Industri Semen pada tahun 2021 sebagaimana tertuang pada Tabel 44.

Tabel 44. Capaian Pengurangan Emisi GRK Terverifikasi Sektor IPPU Tahun 2021

No	Aksi Mitigasi	Capaian Pengurangan Emisi GRK (ton CO ₂ e)
1.	Penurunan Ratio Klinker di Industri Semen	2.786.417
	TOTAL	2.786.417

Capaian pengurangan emisi GRK terverifikasi Sektor IPPU yang disampaikan oleh Kemenperin terhitung dari tahun 2010 – 2021, sebagaimana terlihat pada Gambar 72.



Gambar 72. Capaian Pengurangan Emisi GRK Terverifikasi Sektor IPPU Tahun 2010 – 2021

5.2.3. Sektor Pertanian

Sejak tahun 2010 sampai 2018 Kementerian Pertanian melaporkan 3 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.1581/RC.020/A.1/08/2022 tanggal 26 Agustus 2022 menyampaikan Laporan Mitigasi GRK Sektor Pertanian Tahun 2021 menyebutkan bahwa aksi mitigasi yang dilakukan oleh Kementerian Pertanian sebagai berikut:

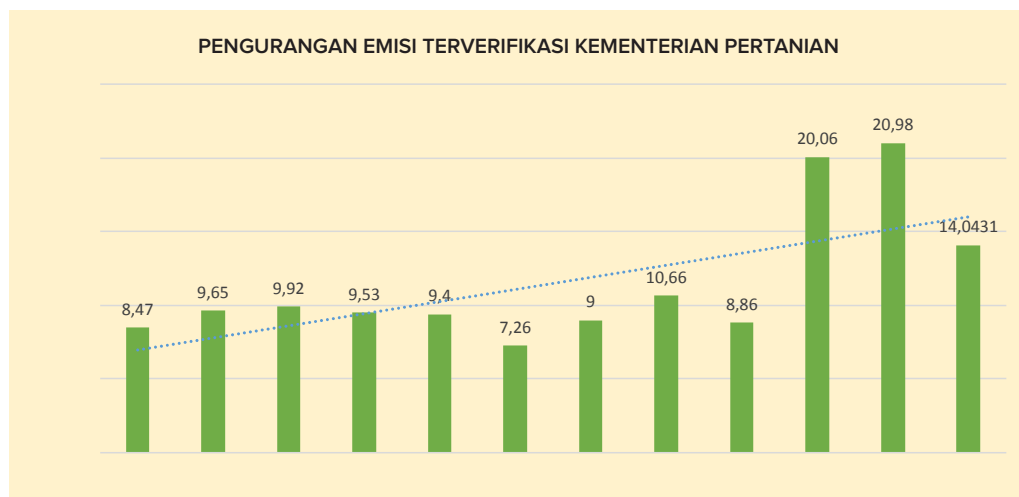
1. Mitigasi emisi CH_4 melalui pemanfaatan biogas kotoran ternak (BATAMAS).
2. Peningkatan cadangan karbon tanah melalui penggunaan pupuk organik sebagai dampak penggunaan UPPO dan pengelolaan bahan organik.
3. Desa Organik.
4. Mitigasi emisi CH_4 dari pengelolaan lahan sawah melalui pengaturan rezim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

Aksi Mitigasi yang dilaporkan Kementerian Pertanian pada tahun 2021 memiliki data aktivitas sebagaimana Tabel 45.

Tabel 45. Data Aktivitas Sektor Pertanian Tahun 2010 – 2021

No	Aksi Mitigasi	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1.	BATAMAS (Unit)	952	1.172	1.416	1.592	1.592*	796*	398*	199*	115***	67	59	74
2.	UPPO (Unit)	340	1.476	1.576	1.999	1.999*	1.999	2.574	1.400	2.561	3.061	1.024	1.326
	Subsidi Pupuk Organik (Ton)											627.520	518.312
3.	Desa Organik (desa)	–	–	–	–	–	–	–	–	7.440	155	1.090	1.134
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
	b. Luas Lahan Sawah Irigasi dan Non Irigasi (Ha)										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
	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
	b. Program Hijauan Pakan (Ha)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	785	1.025	898
	Rumput Gajah												539
	Legum												359
6.	Pemupukan Berimbang luas panen padi (Ha)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	10.677.887	10.657.275	10.411.801,22
7.	Pengelolaan MAT luas yang direstorasi (Ha)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	7.463.948	7.463.948	7.463.948

Kementerian Pertanian melaporkan hasil capaian pengurangan emisi total Tahun 2021 sebesar 14,0431 juta ton CO₂e. Pengurangan emisi ini berasal dari 7 (tujuh) aksi mitigasi GRK Sektor Pertanian tahun 2021 (CH₄ melalui pemanfaatan biogas kotoran ternak, Peningkatan cadangan karbon tanah melalui penggunaan pupuk organik sebagai dampak penggunaan UPPO dan pengelolaan bahan organik, Desa organik, Pengaturan Air dan Varietas Padi untuk Mitigasi CH₄ dari Lahan Sawah, Perbaikan kualitas pakan, dan Pemupukan Berimbang) sebesar 6,2126 juta ton CO₂e dan aksi mitigasi pengurangan emisi dari sektor FOLU yaitu aksi mitigasi Pengelolaan Tinggi Muka Air Gambut (TMA) sebesar 7,8305 juta ton CO₂e. Selanjutnya, pengurangan emisi Sektor Pertanian yang digunakan adalah pengurangan emisi total yang dikurangi pengurangan emisi sektor FOLU, yaitu sebesar 6,2126 juta ton CO₂e. Pengurangan emisi terbesar diperoleh dari aksi Pengaturan Air dan Varietas Padi untuk Mitigasi CH₄ dari Lahan Sawah yang berasal dari luas lahan sawah yang menggunakan Varietas Rendah Emisi yaitu sebesar 5,6237 juta ton CO₂e dan mitigasi sektor FOLU yaitu pengelolaan Muka Air Tanah Lahan Gambut yang direstorasi menggunakan data tahun 2019 karena data tahun 2021 belum tersedia dari Badan Restorasi Gambut.



Gambar 73. Capaian Pengurangan Emisi GRK Terverifikasi Kementerian Pertanian Tahun 2010 – 2021

Laporan capaian pengurangan emisi terverifikasi di Sektor Pertanian Total Tahun 2021 adalah 14,0431 Juta ton CO₂e sesuai dengan laporan capaian dari Kementerian Pertanian Tahun 2021 dengan beberapa saran perbaikan. Pengurangan Emisi Tahun 2021 lebih kecil daripada tahun 2020 yang disebabkan turunnya pengurangan emisi dari aksi Pengaturan Air dan Varietas Padi untuk Mitigasi CH₄ dari Lahan Sawah di mana luas lahan padi yang menggunakan varietas rendah emisi menjadi 2.509.298 Ha, dimana pada tahun 2021 luas lahan sawah yang menggunakan varietas rendah emisi sebesar 6.484.122,26 Ha.

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

- Mitigasi dari penggunaan varietas rendah emisi dalam penanaman padi di sawah
- Mitigasi efisiensi penggenangan air di penanaman padi sawah
- Mitigasi penggunaan pupuk organik sebagai konversi pupuk anorganik
- Mitigasi manajemen manure untuk biodigester
- 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 FOLU.

Tabel 46. Capaian Pengurangan Emisi Aksi Mitigasi Terverifikasi Kementerian Pertanian Tahun 2010 – 2021

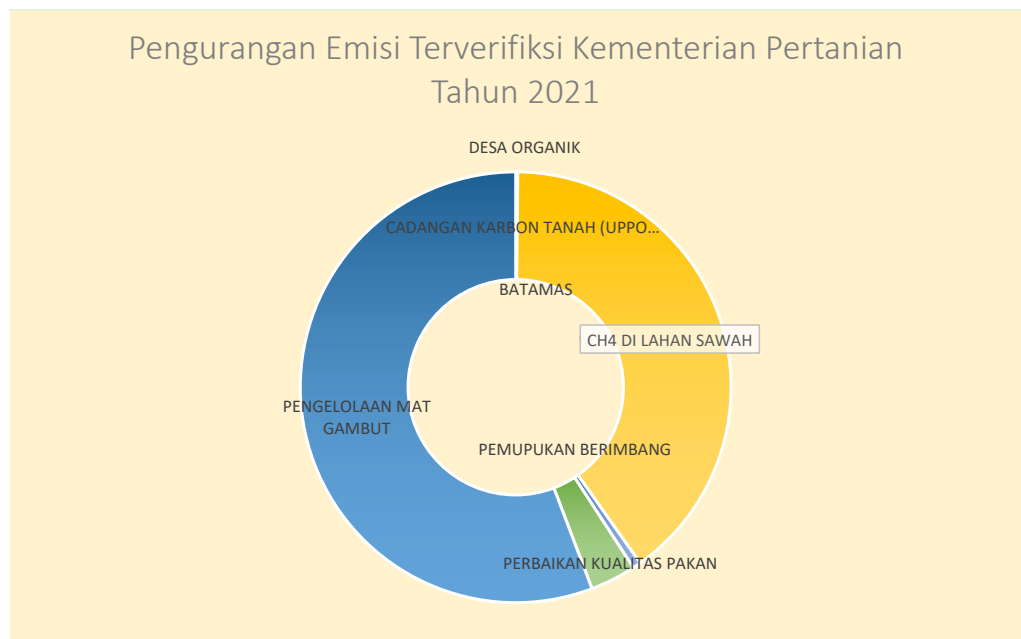
No	Kegiatan	Upaya Mitigasi Terverifikasi (Juta ton CO ₂ e)											
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1.	BATAMAS	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,02	0,01	0,01	0,00	0,103	0,0059	0,0074
2.	UPPO + Subsidi Pupuk Organik	0,13	0,26	0,42	0,44	0,43	0,45	0,41	0,40	0,41	0,010	0,0056	0,0110
3.	Desa Organik	–	–	–	–	–	–	–	–	0,008	0,0035	0,0006	0,0027
4.	Pengaturan Air dan Varietas Padi untuk Mitigasi CH ₄ dari Lahan Sawah	8,31	9,34	9,45	9,04	8,92	6,78	8,58	10,25	8,44	11,893	12,6984	5,6237
5.	Perbaikan Kualitas Pakan Sapi Perah	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,014	0,0568	0,0853
6.	Pemupukan Berimbang	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,209	0,3853	0,4825
7.	Pengelolaan MAT Lahan Gambut	–	–	–	–	–	–	–	–	–	7,831	7,8305	7,8305
	Total	8,47	9,65	9,92	9,53	9,40	7,26	9,00	10,66	8,86	20,063	20,9832	14,0431

Aksi Mitigasi Penerapan Teknologi Budidaya Tanaman 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, dikarenakan program tersebut tidak dilanjutkan oleh Kementerian Pertanian atau nomenklatur program berubah dan menyulitkan untuk mendatanya. 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 Mitigasi Gas Rumah Kaca sektor Pertanian Tahun 2021 oleh Kementerian Pertanian (Kementan) yang disampaikan melalui Surat Kepala Biro Perencanaan Kementan Nomor: B.1581/RC.020/A.1/08/2022 tanggal 26 Agustus 2022.
- Buku Metode Perhitungan Mitigasi Emisi dan Serapan Gas Rumah Kaca Sektor Pertanian yang diterbitkan oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Jakarta diterbitkan tahun 2020

Metoda verifikasi dilakukan secara *review* dokumen, wawancara dan pertemuan *Focused Group Discussion* sebanyak 2 (dua) kali. Pengurangan Emisi Total Sektor Pertanian Tahun 2021 disajikan pada disajikan pada Gambar 74.



Gambar 74. Pengurangan Emisi Total Sektor Pertanian Tahun 2020

5.2.4. Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

Rencana aksi/kegiatan yang dilakukan sektor kehutanan setelah tahun 2014 mengacu kepada skenario aksi/kegiatan mitigasi dalam upaya pengurangan emisi GRK dan/atau peningkatan serapan GRK sektor kehutanan sebagai strategi pencapaian target NDC, yaitu meliputi:

- Penurunan deforestasi ($<0,45 - 0,325$ MHa/tahun di 2030);
- 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).

Selanjutnya sebagai upaya pencapaian target NDC tersebut, Direktorat Mitigasi Perubahan Iklim, Ditjen PPI telah menerbitkan “**Pedoman Penentuan Aksi Mitigasi Perubahan Iklim**” yang meliputi aksi/kegiatan: (1) Pencegahan Penurunan Tutupan Hutan Alam atau Konversi Hutan Alam (Penurunan Laju Deforestasi dan Degradasi), (2) Pengelolaan Hutan Lestari Berkelanjutan (*Sustainable Forest Management*), (3) Pembangunan Hutan Tanaman Industri (HTI), (4) Rehabilitasi Kawasan Hutan (Regenerasi/tanpa penebangan), (5) Rehabilitasi Hutan Produksi dan Lahan (Dengan Rotasi), (6) Restorasi Gambut, (7) Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan, dan (8) Pemulihan Lahan Gambut.

Penanggung jawab aksi mitigasi sektor kehutanan dalam upaya pengurangan emisi dan/atau peningkatan serapan GRK adalah Ditjen teknis lingkup Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Aksi/kegiatan mitigasi sektor kehutanan dapat dikategorikan ke dalam 2 (dua) kelompok besar, yaitu kegiatan yang tidak berdampak langsung dan kegiatan yang berdampak/berkontribusi langsung memberikan dampak/kontribusi secara jelas terhadap pengurangan emisi dan/atau serapan GRK sektor kehutanan.

Capaian dari mitigasi sektor kehutanan dalam upaya pengurangan emisi dan/atau peningkatan serapan GRK pada tahun 2021 telah disampaikan oleh Direktorat Mitigasi Perubahan Iklim sebagai unit pelaksana pemantauan aksi mitigasi melalui Nota Dinas Direktur Mitigasi Perubahan Iklim Nomor: ND.427/MPI/PPM/PPI.1/11/2022 tanggal 28 November 2022 perihal Penyampaian Laporan Pengurangan emisi GRK Tahun 2021 Sektor Kehutanan. Dalam laporan per tanggal tersebut disampaikan bahwa capaian masing – masing kegiatan adalah sebagaimana pada Tabel 47.

Tabel 47. Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor Kehutanan Tahun 2021

Penurunan Deforestasi	247.564.531 Ton CO ₂ e
Penurunan Degradasi Hutan	20.737.405 Ton CO ₂ e
Rehabilitasi Hutan dan Lahan	1.485.360 Ton CO ₂ e
Pengurangan Emisi Dekomposisi Gambut	-1.933.137 Ton CO ₂ e
Pengendalian Kebakaran Gambut (<i>Peat Fire</i>)	240.834.201 Ton CO ₂ e

Selanjutnya proses verifikasi dilakukan terhadap laporan capaian mitigasi tersebut melalui tahapan desk review dan konsultasi – komunikasi bersama pakar dan pengampu data aktivitas. Berdasarkan hasil diskusi dan pembahasan dalam proses verifikasi yang dilakukan, maka 5 (lima) aksi mitigasi utama sektor kehutanan pada tahun 2022 (data tahun 2021) memiliki nilai pengurangan emisi GRK dan/atau serapan GRK dengan total sebesar **377.873.378 ton CO₂e**. Berdasarkan 5 (lima) aksi mitigasi utama tersebut, 4 (empat) aksi mitigasi utama dapat memberikan kontribusi dalam pengurangan emisi GRK dan/atau peningkatan serapan GRK, yaitu aksi mitigasi penurunan deforestasi (215.887.660 ton CO₂e), penurunan degradasi hutan (58.402.313 ton CO₂e), rehabilitasi hutan dan lahan RHL (1.485.359 ton CO₂e), dan pengendalian kebakaran gambut (*peat fire*) (216.940.838 ton CO₂e). Sedangkan, 1 (satu) aksi mitigasi utama lainnya belum dapat memberikan kontribusi dalam pengurangan emisi GRK dan/atau peningkatan serapan GRK, yaitu aksi mitigasi pengurangan emisi dekomposisi gambut (*peat decomposition*) (-114.842.793 ton CO₂e) (Tabel 48).

Tabel 48. Capaian Pengurangan Emisi GRK dan/atau Peningkatan Serapan GRK Terverifikasi Sektor Kehutanan Tahun 2021

No	Kelompok Aksi Mitigasi Sektor Kehutanan	Capaian Pengurangan emisi dan/atau Peningkatan Serapan GRK Terverifikasi Sektor Kehutanan		
		Emisi/Serapan Baseline	Emisi/Serapan Aktual	Pengurangan Emisi
		(ton CO ₂ e)	(ton CO ₂ e)	(ton CO ₂ e)
1	Penurunan Deforestasi	270.163.740	54.276.080	215.887.660
2	Penurunan Degradasi Hutan	109.501.443	51.099.130	58.402.313
3	Rehabilitasi Hutan dan Lahan (RHL)	(890.318)*	(2.375.678)*	1.485.359
4	Pengurangan emisi Dekomposisi Gambut (<i>Peat Decomposition</i>)	348.637.226	463.480.020	-114.842.793
5	Pengendalian Kebakaran Gambut (<i>Peat Fire</i>)	240.858.118	23.917.280	216.940.838
Total Pengurangan emisi dan/atau Peningkatan Serapan GRK Terverifikasi				377.873.377

Keterangan:

Baseline yang digunakan adalah baseline scenario NDC

*: serapan GRK

5.2.5. Sektor Limbah

Berdasarkan sumber emisi GRK yang keluar pada saat proses pengelolaan limbah, kegiatan pengurangan emisi GRK sektor limbah yang dapat dihitung capaian pengurangan emisi GRK dikelompokkan dalam 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 2021 yakni :

1. Penghitungan pengurangan emisi GRK dari subsektor 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 pencatatan JAKSTRADA (mencakup 80% nasional) 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.

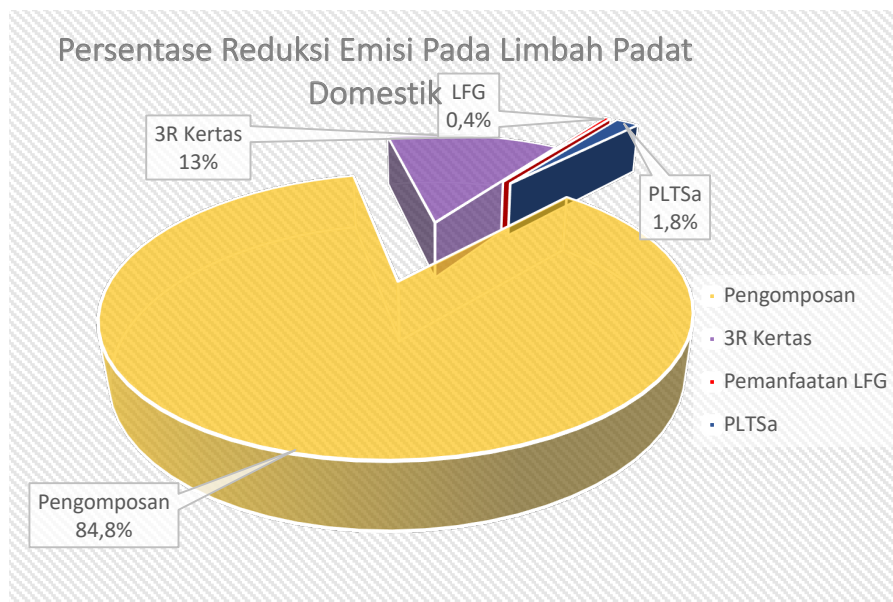
- b. Pengolahan Limbah Cair Domestik
Aksi mitigasi pada IPAL domestik yang dilaporkan pada tahun 2022 baru mencakup mitigasi pada IPAL domestik yang merupakan hasil monitoring pada proyek KLHK dan Direktorat Sanitasi Kementerian PUPR. Metodologi penghitungan tingkat emisi GRK merujuk *Tier-1 IPCC Guidelines* 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
Capaian mitigasi dari kegiatan pengolahan limbah padat industri yang dilaporkan pada tahun 2022 ini juga hanya mencakup kegiatan pengolahan limbah *sludge* dari unit IPAL industri pulp dan kertas. Pada industri yang memiliki proses pulping, *sludge* ditimbun di landfill dan aksi mitigasinya adalah memanfaatkan *sludge* sebagai kompos. Pada industri kertas, *sludge* ditampung di kolam anaerobik dan aksi mitigasinya adalah *sludge* dikeringkan kemudian dimanfaatkan sebagai bahan baku dan dimanfaatkan sebagai bahan bakar
 - d. Pengolahan Limbah Cair Industri
Aksi mitigasi pada IPAL industri yang dilaporkan mencakup mitigasi pada IPAL industri *paper*, CPO, dan *Vegetable, fruits and Juices*. Perbaikan (*improvement*) data aktivitas melalui ekspansi sumber data aktivitas dilakukan pada data biogas paper merupakan hasil update data APP *Sustainability Report* 2014 – 2020.
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 secara ringkas disajikan pada Tabel 49.

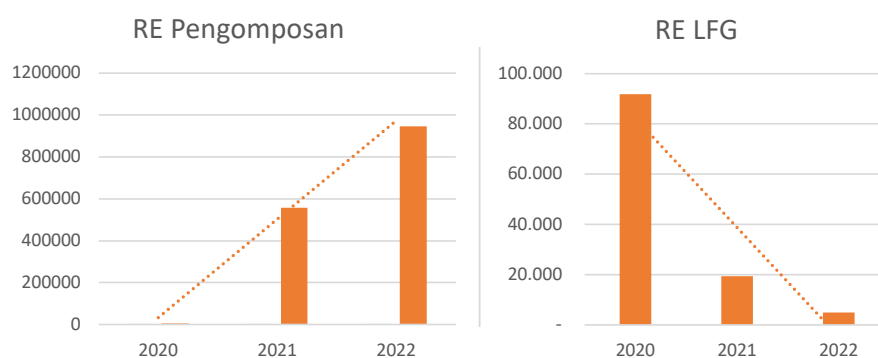
Tabel 49. Capaian Pengurangan Emisi GRK Terverifikasi Sektor Limbah Tahun 2021

Aksi Mitigasi	Baseline (Ton CO ₂ e)	Pengurangan Emisi Terverifikasi (Ton CO ₂ e)
Limbah Padat Domestik	45.503.200	
Pengomposan		946.050
3R Kertas		144.600
Pemanfaatan LFG		4.900
Pitsa		20.620
Jumlah		1.116.170
Limbah Cair Domestik	25.066.020	
Penggunaan IPAL Terpadu		269.525
Penggunaan Biodigester		3.647
Kegiatan IPLT		3.597
Penggunaan IPAL (Statistik)		57.784
Jumlah		334.553
Limbah Padat Industri	254.020	
Sludge IPAL Dan Limbah Padat		167.640
Limbah Cair Industri	62.180.050	
CH ₄ Recovery		84.140
Total Pengurangan Emisi		1.702.503

Pada tabel tersebut di atas tampak bahwa sebagian besar pengurangan emisi dari pengolahan limbah padat domestik bersumber dari aksi mitigasi pengomposan. Pada tahun 2021 terpantau pula aksi pemanfaatan gas Methan dalam pembangkit listrik. Namun hal ini memberikan pengaruh pada capaian pengurangan emisi GRK dari aksi pemanfaatan gas metana sebagai bahan bakar kompor/memasak. Perbaikan dokumentasi pada data aktivitas merupakan salah satu alasan terlaporkannya jumlah pengurangan emisi dari kegiatan pengomposan dalam jumlah yang cukup signifikan peningkatannya dari tahun lalu. Proporsi Capaian Pengurangan Emisi dari aksi mitigasi pada limbah padat domestik disajikan pada Gambar 75.

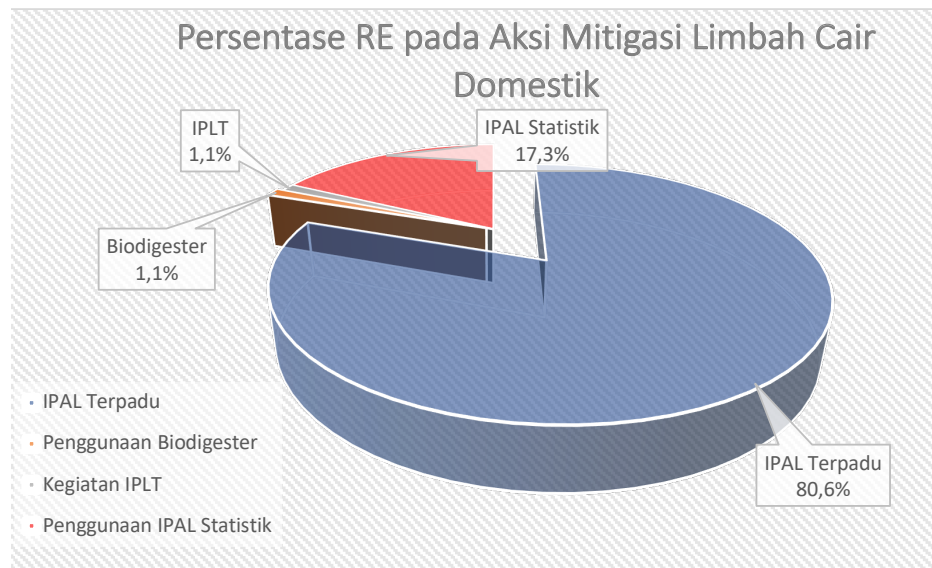


Gambar 75. Proporsi Pengurangan Emisi pada Pengolahan Limbah Padat Domestik



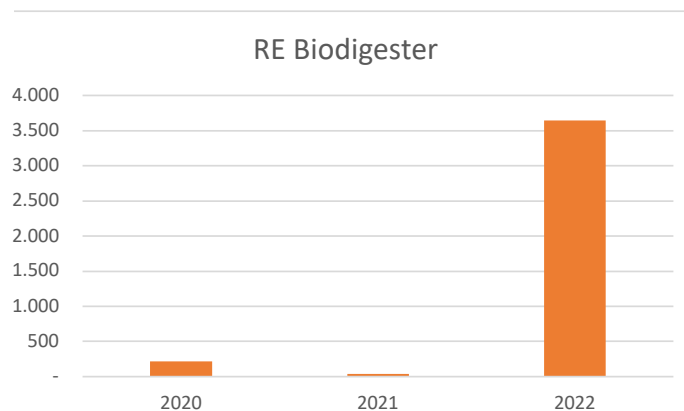
Gambar 76. Perbandingan Reduksi Emisi (RE) Pengomposan dan LFG Tahun 2020 - 2022

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 77.



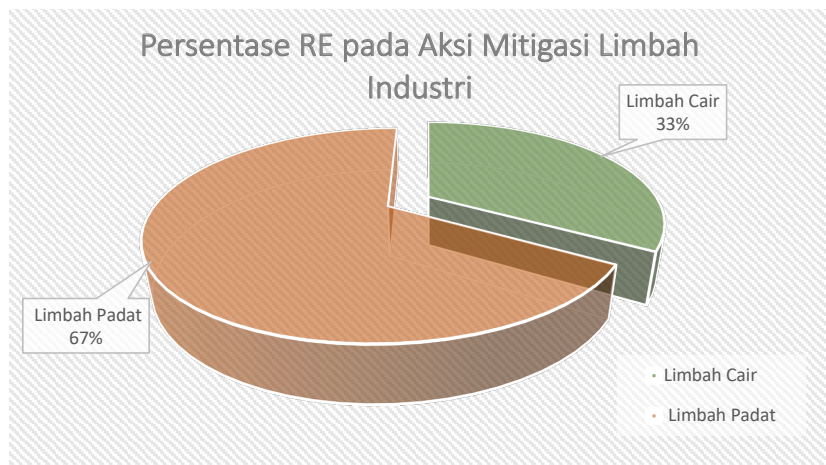
Gambar 77. Proporsi Pengurangan Emisi pada Pengolahan Limbah Cair Domestik

Pada kegiatan pengelolaan limbah cair domestik, peningkatan dari angka pengurangan emisi GRK terjadi di kegiatan pengolahan limbah dengan biodigester (Gambar 78).



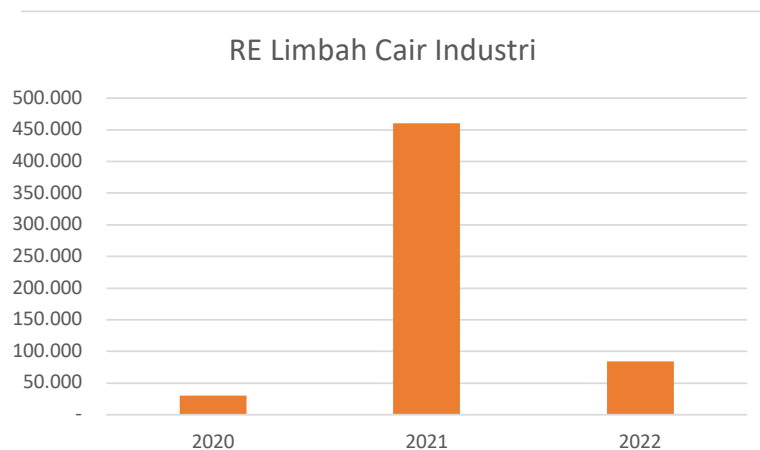
Gambar 78. Perbandingan Reduksi Emisi (RE) Biodigester Tahun 2020 - 2022

Pada limbah industri, capaian pengurangan emisi di tahun 2021 bertambah dengan terlaporkannya data aktivitas yang bersumber dari aksi mitigasi limbah industri pulp – paper, *vegetable fruit and juices*, dan CPO. Data monitoring yang terlaporkan memang masih terbatas, namun berkontribusi dalam peningkatan capaian pengurangan emisi di tahun ini. Aksi mitigasi pada limbah padat industri berupa pemanfaatan CH_4 dari pengolahan sludge dan insinerasi. Tidak berbeda jauh, 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 79.



Gambar 79. Proporsi Pengurangan Emisi Pada Pengolahan Limbah Industri

Khusus pada pelaporan pengurangan emisi GRK pada pengolahan limbah industri, keterbatasan data aktivitas mengakibatkan penurunan hasil penghitungan pada limbah cair industri. (Gambar 80).



Gambar 80. Perbandingan Reduksi Emisi (RE) Limbah Cair Industri Tahun 2020 - 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.

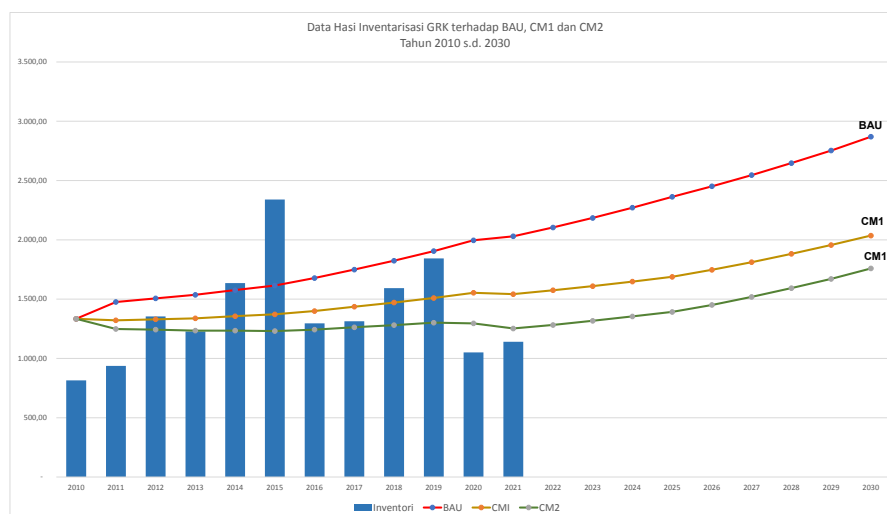
Untuk tahun 2021, dengan nilai BAU sebesar **2.030,52 Juta ton CO₂e** dan target pengurangan emisi GRK pada CM1 sebesar **1.542,29 Juta ton CO₂e** serta hasil perhitungan inventarisasi GRK, sebesar **1.140,67 Juta ton CO₂e**, diperoleh emisi GRK tahun 2021 sebesar **889,79 Juta ton CO₂e** dibawah emisi BAU. Dari data tersebut diketahui bahwa capaian pengurangan emisi GRK Nasional sebesar **43,82%** terhadap nilai BAU di tahun 2021.

Capaian pengurangan emisi GRK Nasional tersebut menunjukkan penurunan emisi dari capaian pengurangan emisi GRK tahun sebelumnya. Hal ini menunjukkan perlunya upaya lebih intensif pemerintah dalam hal ini KLHK dalam pelaksanaan aksi mitigasi di sektor limbah dan kehutanan yang tanggung jawab dari Kementerian LHK, serta pelaporan yang intensif untuk aksi mitigasi dari sektor energi, sektor IPPU, sektor pertanian, sektor kehutanan dan limbah. Profil capaian pengurangan emisi GRK Nasional tahun 2010 – 2021 sebagaimana terlihat pada Tabel 50.

Tabel 50. 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
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
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
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
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
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
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
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

Hasil inventarisasi GRK dibandingkan dengan BAU dan target pengurangan emisi GRK menurut skenario CM1 sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 81.



Gambar 81. Profil Capaian Pengurangan Emisi GRK Nasional (2010 – 2021) terhadap BAU, CM1 dan CM2

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 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 51.

Tabel 51. Target *Nationally Determined Contribution* (NDC) Tahun 2020

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	1,407	314	441	11%	15,5%	6,7%	4,50%
2. Waste	88	296	285	270	11	26	0,38%	1,0%	6,3%	4,00%
3. IPPU	36	69,6	66,85	66,35	2,75	3,25	0,10%	0,11%	3,4%	0,10%
4. Agriculture	110,5	119,66	110,39	115,86	9	4	0,32%	0,13%	0,4%	1,30%
5. Forestry and Other Land Uses (FOLU)	647	714	217	68	497	692	17,2%	24,5%	0,5%	2,70%
TOTAL	1.334	2.869	2.034	1.927	834	1.166	29%	41%	3,9%	3,20%

*Including fugitive

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

Untuk tahun 2021, capaian pengurangan emisi GRK untuk sektor energi, IPPU, limbah, pertanian, dan kehutanan dibandingkan dengan target pengurangan emisi GRK untuk CM1 sektor sebagaimana terlihat pada Tabel 52.

Tabel 52. Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektorial Terhadap Target CM1 di Tahun 2021

	Energi	IPPU	Limbah	Pertanian	Kehutanan	Total
Baseline (BAU) - Juta tCO₂e	965,65	69,85	152,04	115,69	727,29	2.030,52
CM 1 - Juta tCO₂e	824,87	67,64	149,56	112,36	387,86	1.542,29
ER CM 1 - Juta tCO₂e	140,78	2,21	2,48	3,33	339,43	488,23
ER CM 1 - %	14,58	3,16	1,63	2,88	46,67	24,04
Hasil Inventory - Juta tCO₂e	595,86	59,38	129,90	105,88	249,71	1.140,67
ER Inventory	369,79	10,47	22,14	9,81	477,58	889,79
Capaian ER - %	38,29	14,99	14,56	8,48	65,67	43,82

Dari tabel tersebut diketahui bahwa capaian pengurangan emisi GRK untuk sektor kehutanan telah menunjukkan hasil yang mendekati target pengurangan emisi GRK Tahun 2021, 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 2021 untuk setiap sektor sebagaimana diuraikan dibawah ini.

A. 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 daerah 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 2021 dengan menggunakan pendekatan perhitungan dari BAU sebesar 965,65 Juta ton CO₂e dan hasil perhitungan inventarisasi GRK sebesar 595,86 Juta ton CO₂e dengan target pengurangan emisi GRK pada CM1 sebesar 824,87 Juta ton CO₂e, maka diketahui bahwa capaian pengurangan emisi GRK sektor energi sebesar 38,29% terhadap nilai BAU tahun 2021 (369,79 Juta ton CO₂e) di tahun 2021. 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 2021, kontribusi capaian pengurangan emisi GRK di sektor Energi dengan capaian sebesar 91,50 Juta ton CO₂e.

B. 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 2021 dengan menggunakan pendekatan perhitungan dari BAU sebesar **69,85 Juta ton CO₂e** dan hasil perhitungan inventarisasi GRK sebesar **59,38 Juta ton CO₂e** dengan target pengurangan emisi GRK pada CM1 sebesar **58,01 Juta ton**

CO₂e, diketahui capaian pengurangan emisi GRK sebesar **14,99% terhadap nilai BAU tahun 2021 atau sebesar 10,47 Juta ton CO₂e**. Untuk tahun 2021, kontribusi capaian pengurangan emisi GRK di sektor IPPU baru dari industri semen dengan capaian sebesar 2,79 Juta ton CO₂e.

C. Sektor Pertanian

Besaran emisi *baseline* Sektor Pertanian tahun 2021 adalah 115,69 Juta ton CO₂e, di mana target pengurangan emisi *Counter Measurement* (CM) 1 adalah 112,36 Juta ton CO₂e, hasil inventarisasi emisi Sektor Pertanian Tahun 2021 adalah 105,88 Juta ton CO₂e. Pengurangan emisi yang diharapkan terjadi dari BAU untuk mencapai target pengurangan emisi CM1 sebesar 3,21 Juta ton CO₂e, sementara pengurangan emisi yang terjadi dari hasil inventarisasi emisi terhadap *baseline* sebesar 9,81 Juta ton CO₂e. Maka capaian pengurangan emisi dari *baseline* tahun 2021 terhadap target pengurangan emisi CM1 tahun 2021 sebesar 8,48 %.

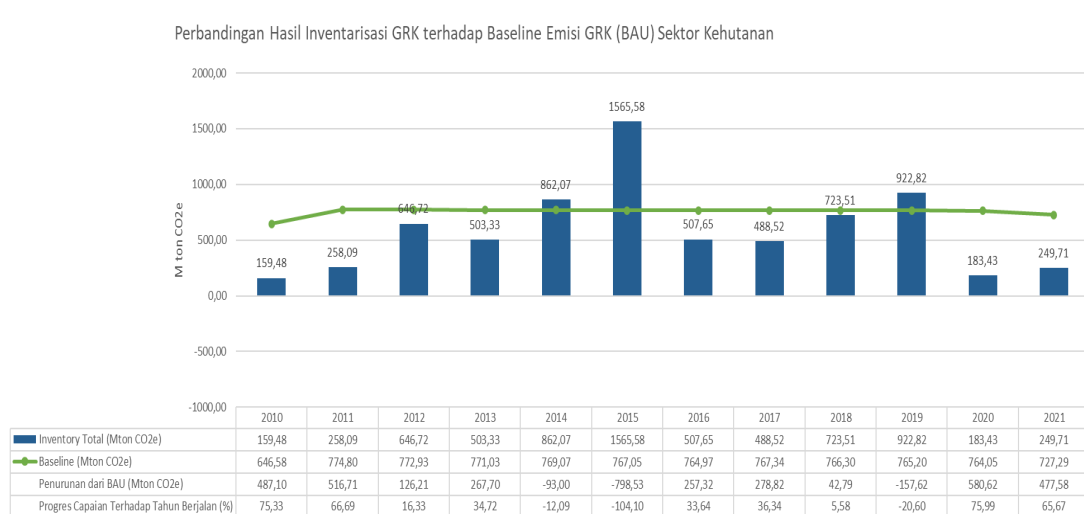
Hasil ini lebih kecil dari pengurangan emisi terhadap CM1 Tahun 2020 yang sebesar 12,06% yang disebabkan mitigasi emisi tahun 2021 lebih kecil dari mitigasi tahun 2020 akibat berkurangnya pengurangan emisi dari aksi Mitigasi Emisi CH₄ dari Pengelolaan Lahan Sawah melalui Pengaturan Rezim Air dan Varietas Rendah Emisi Tahun 2021 menjadi sebesar 5,6237 juta ton CO₂e.

Tabel 53 Kontribusi Sektor Pertanian terhadap NDC Tahun 2010 – 2021

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Baseline Gg CO₂e	110.510	111.128	111.773	112.446	113.149	113.881	114.650	114.924	115.234	115.578	115.961	115.686
CM 1 Gg CO₂e	110.510	110.941	111.371	111.802	112.233	112.665	113.092	113.013	112.929	112.842	112.750	112.359
ER CM 1 Gg CO₂e	0,0000	187,2075	401,6539	644,1393	915,4990	1.216,6054	1.558,0394	1.910,1594	2.305,6737	2.735,9725	3.211,8133	3.327,1608
ER CM 1 %	0,00	0,17	0,36	0,57	0,81	1,07	1,36	1,66	2,00	2,37	2,77	2,87602497
Hasil Inventory Gg CO₂e	96.955,06	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
ER Inventory	13.555,06	8.149,15	10.079,71	15.400,12	13.056,70	13.196,78	12.009,97	9.560,28	11.180,83	10.277,34	13.979,62	9.809,44
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

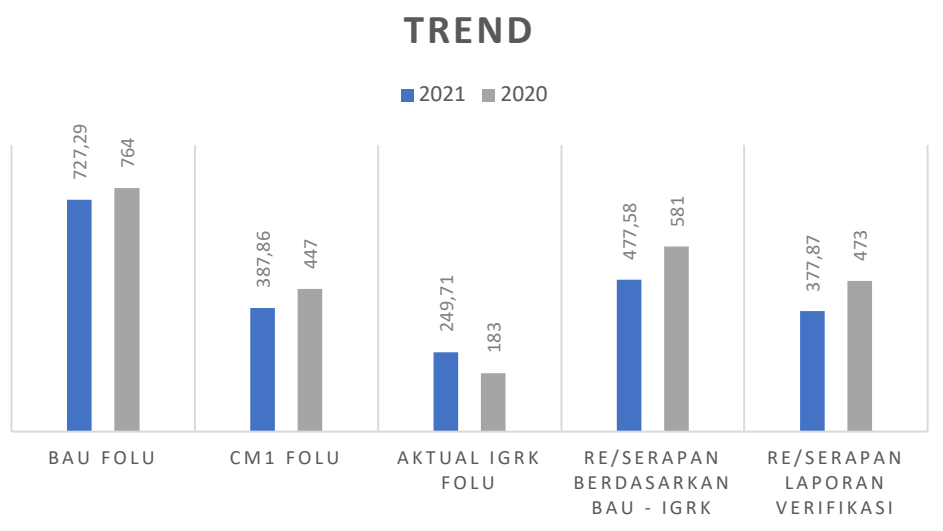
D. Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

Berdasarkan target *Nationally Determined Contribution* (NDC), sektor kehutanan memiliki target *unconditional* (CM1) dalam pengurangan emisi GRK sebesar 17,2% atau 497 Juta ton CO₂e dibandingkan skenario BAU pada tahun 2030 (Tabel 51) dan pada tahun 2020 sektor kehutanan memiliki target tingkat emisi CM1 sebesar 447,07 Juta ton CO₂e (Tabel 50).

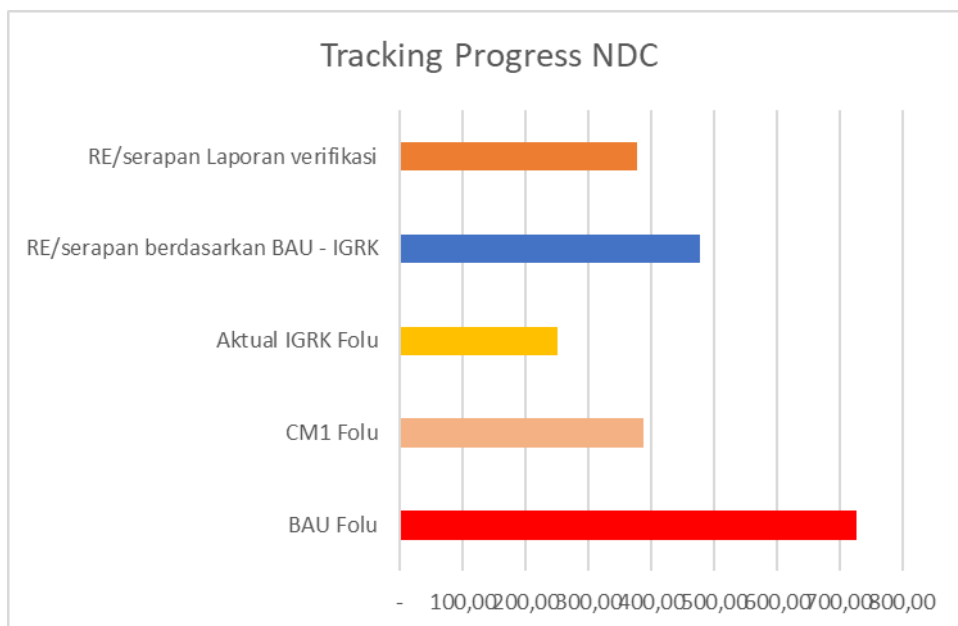


Gambar 82. Perbandingan Hasil Inventarisasi GRK terhadap *Baseline* Emisi GRK (BAU) Sektor Kehutanan

Diketahui bahwa hasil perhitungan inventarisasi GRK sektor kehutanan tahun 2021 adalah sebesar 249,71 Juta ton CO₂e, sedangkan emisi baseline NDC (BAU) sektor kehutanan pada tahun 2021 adalah sebesar 727,29 Juta ton CO₂e. Sehingga capaian pengurangan emisi GRK sektor kehutanan pada tahun 2021 berdasarkan perbandingan antara emisi aktual hasil inventarisasi GRK sektor kehutanan dengan emisi baseline NDC (BAU) sektor kehutanan adalah sebesar 477,58 Juta ton CO₂e atau 65,67%. Adapun target pengurangan emisi GRK sektor kehutanan pada CM1 tahun 2020 adalah sebesar 387,86 Juta ton CO₂e, sehingga capaian pengurangan emisi GRK sektor kehutanan telah melebihi target pengurangan emisi GRK pada CM1 tahun 2021. Kecenderungan (*trend*) perubahan capaian dari tahun sebelumnya dapat dilihat pada Gambar 83.



Gambar 83. *Trend* Perubahan Capaian dari Tahun Sebelumnya

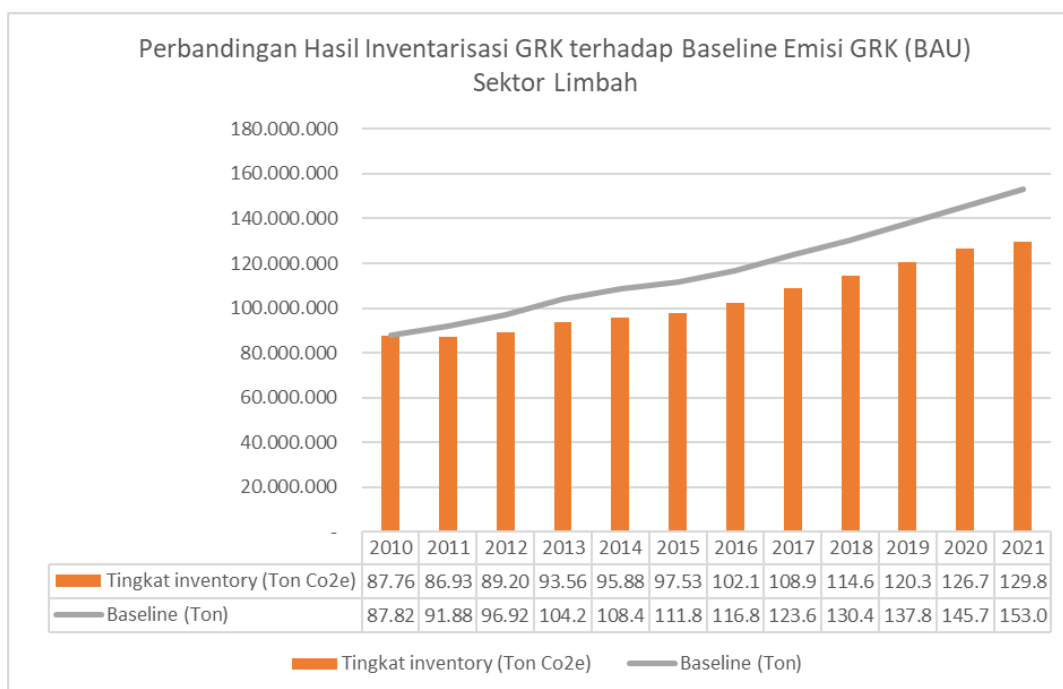


Gambar 84. *Tracking progress* NDC

Perlu diingat kembali bahwa pencapaian target pengurangan emisi GRK dan/atau serapan dari sektor kehutanan, bukanlah kinerja atas satu atau dua aksi mitigasi yang terpisah. Emisi GRK dan atau serapan emisi GRK sektor kehutanan secara nasional diperoleh atas upaya pengendalian terhadap laju degradasi, laju deforestasi, pengendalian kebakaran hutan dan gambut, serta pengendalian terhadap dekomposisi gambut. Untuk itu penggunaan baseline NDC yang telah ditetapkan untuk menangkap kuantifikasi dari seluruh upaya pengendalian emisi GRK dan peningkatan cadangan karbon tersebut menjadi faktor penting.

E. Sektor Limbah

Capaian pengurangan emisi GRK sektor limbah dapat dilihat dari dua sisi, yaitu dari *tracking progress* Capaian pengurangan emisi dari aksi mitigasi, maupun dari tingkat emisi GRK actual yang terukur dibandingkan dengan tingkat emisi *Business As Usual* (BAU).



Gambar 85. Perbandingan Hasil Inventarisasi GRK terhadap *Baseline* Emisi GRK (BAU) Sektor Limbah

Berdasarkan target pengurangan emisi GRK dari *baseline* terhadap kondisi CM1 aksi mitigasi yang sesuai dengan target NDC pada tahun 2021 adalah sebesar 2,48 Juta Ton CO₂e. Angka pengurangan ini diperoleh dari perbandingan *baseline* sektor limbah tahun 2021 sebesar 152,04 Juta Ton CO₂e dan Tingkat emisi CM1 sebesar 149,56 Juta Ton CO₂e.

Namun terjadi anomali ketika melihat perbandingan antara *baseline* dengan tingkat emisi GRK aktual (129,84 Juta Ton CO₂e). Pengurangan emisi berdasarkan tingkat inventarisasi GRK actual adalah sebesar 22,20 Juta Ton CO₂e. hal ini menunjukkan bahwa seolah-olah pengurangan emisi GRK pada sektor limbah telah dua puluh kali lipat dari yang ditargetkan. Namun hal ini merupakan bias, yang mungkin terjadi akibat efek pandemi COVID, sehingga banyak usaha yang belum memulai kegiatannya, baik kegiatan produksi maupun kegiatan konsumsi. Untuk mengatasi ini maka alternatif yang dapat digunakan untuk menjelaskan kondisi anomaly ini adalah dengan dihitungnya uncertainty terhadap data aktivitas yang digunakan dalam proses inventarisasi GRK serta intensitas emisi yang dihasilkan dari tiap kegiatan produksi.

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 2020), 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 2021, 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
 - Dalam pelaksanaan MPV di Sektor Energi, Subsektor Energi di Transportasi dan Subsektor Energi di Industri telah disepakati bentuk koordinasi dimana KESDM selaku koordinator/Penanggung Jawab aksi di Sektor Energi sehingga proses pelaporan, pemantauan dan dokumentasi diharapkan dapat sesuai SOP yang telah terbangun.

- Sampai dengan pelaporan tahun 2021, Kementerian Perindustrian selaku Penanggung Jawab Aksi di Sektor IPPU baru dapat melaporkan capaian pengurangan emisi GRK dari industri semen 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 disagregasi pada subsektor 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 CH₄ dan N₂O, 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 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. Dari sisi kelembagaan pelaksanaan inventarisasi GRK masih diperlukan peningkatan dan penyempurnaan penyelenggaraan inventarisasi GRK sektor pertanian model II antara lain perbaikan mekanisme penyediaan data aktivitas, koordinasi dengan instansi teknis, format dan mekanisme penyampaian laporan serta tata waktu pelaksanaan. Hal ini disebabkan adanya perubahan struktur kelembagaan baik di Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan maupun di Kementerian Pertanian.

2. Dari sisi penyediaan data aktivitas, masih diperlukan peningkatan koordinasi yang lebih intensif dengan instansi teknis (Ditjen teknis lingkup Kementan) dan lembaga terkait (APPI, BPS, Kementerian ATR/BPN) dalam penyediaan data asli/primer atau data hasil dari pengukuran/perhitungan.
3. 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 N₂O langsung dari pengelolaan tanah dan budidaya pada sawah.
4. 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 manur *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, dimana 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/roset 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 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 pertama 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 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 75%).
 - 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*) data aktivitas sektor limbah industri subsektor limbah cair industri melalui ekspansi sumber data aktivitas dilakukan pada data biogas paper merupakan hasil update data APP *Sustainability Report* 2014 – 2020.

Sedangkan untuk monitoring, pelaporan, dan verifikasi aksi mitigasi yang telah dilakukan sepanjang tahun 2021, 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 dimana 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 dan studi di tingkat tapak.
3. Ekspansi/perluasan sumber data aktivitas.
Khusus pada limbah industri, data aktivitas yang tersedia masih minim, selanjutnya dibutuhkan koordinasi teknis baik dengan kemenperin, 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. Untuk meningkatkan kemampuan teknis pengampu data aktivitas dalam menghitung capaian mitigasi, maka diperlukan peningkatan kapasitas teknis dalam penggunaan metodologi IPCC 2006.

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.
4. Peningkatan kapasitas para pihak dalam teknis penggunaan aplikasi SIGN SMART dan SRN.



BAB VII PENUTUP



BAB VII PENUTUP

Sebagai output/keluaran dari tugas pokok dan fungsi Direktorat Inventarisasi GRK dan MPV, untuk tahun 2022 telah tersusun Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV) yang menggambarkan hasil kegiatan tahun 2021. 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 2022, menunjukkan emisi GRK aktual sebesar **1.140,67 Juta ton CO₂e** dengan persentase capaian pengurangan emisi GRK Nasional terhadap nilai *baseline* sebesar **43,82%**. Berdasarkan hitungan tersebut, diketahui bahwa sebesar **889,78 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 limbah yang dilaporkan ke KLHK untuk tahun kegiatan 2021 yaitu sebesar **487,90 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 **889,78 Juta Ton CO₂e** atau baru sekitar **54,83%** 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., Hergoual'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. (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