

ISSN 2830-2923

LAPORAN

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

2021

Volume 7, Maret 2022



KEMENTERIAN LINGKUNGAN DAN KEHUTANAN
DIREKTORAT JENDERAL PENGENDALIAN PERUBAHAN IKLIM
DIREKTORAT INVENTARISASI GRK DAN MPV
TAHUN 2022



LAPORAN

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

2021



KEMENTERIAN LINGKUNGAN DAN KEHUTANAN
DIREKTORAT JENDERAL PENGENDALIAN PERUBAHAN IKLIM
DIREKTORAT INVENTARISASI GRK DAN MPV
TAHUN 2022

RINGKASAN EKSEKUTIF

Sebagai upaya dalam mewujudkan percepatan kontribusi pengurangan emisi gas rumah kaca, pemerintah telah melahirkan kebijakan melalui penetapan 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.

Dalam mewujudkan kewajiban kontribusi pengurangan emisi gas rumah kaca tersebut, Pemerintah telah memiliki modalitas yang baik dalam menyelenggarakan pengendalian perubahan iklim antara lain berupa dokumen peta jalan *National Determined Contribution (NDC)*, dokumen Updated NDC 2021 dan Strategi Jangka Panjang Rendah Karbon dan Ketahanan Iklim melalui dokumen *Long-Term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience (LTS-LCCR)* 2050.

Melalui visi yang ditetapkan dalam dokumen LTS-LCCR, Indonesia akan meningkatkan ambisi pengurangan GRK melalui pencapaian puncak emisi GRK nasional tahun 2030, dimana sektor *Forestry and Other Land Use (FOLU)* sudah mencapai kondisi *net sink* dan menuju emisi *net-sink* dari seluruh sektor pada tahun 2060 atau lebih awal.

Kondisi ini mendorong upaya percepatan dalam melakukan pemantauan dan evaluasi terhadap capaian yang telah ditetapkan melalui penyediaan data dan informasi tingkat emisi beserta capaian target pengurangan emisi GRK yang dikemas dalam Laporan Inventarisasi GRK (IGRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV).

Hasil perhitungan inventarisasi GRK nasional menunjukkan tingkat emisi GRK di tahun 2020 masing-masing kategori/sektor adalah: Energi sebesar 584.284 Gg CO₂e, Proses Industri dan Penggunaan Produk sebesar 57.194 Gg CO₂e, Pertanian sebesar 98.703 Gg CO₂e, Kehutanan dan Kebakaran Gambut sebesar 183.435 Gg CO₂e dan Limbah sebesar 126.797 Gg CO₂e.

Mengacu pada Hasil perhitungan inventarisasi GRK nasional menunjukkan bahwa **Tingkat emisi aktual GRK di tahun 2020 adalah sebesar 1.050,4 juta Ton CO₂e**, dan ini menunjukkan adanya pengurangan emisi dari baseline/BAU sebesar 948,4 juta Ton CO₂e atau 47,5 %. Emisi GRK di semua sektor **menunjukkan adanya trend pengurangan dibanding tahun sebelumnya**.

Dari sisi pelaksanaan aksi mitigasi perubahan iklim yang terverifikasi menunjukkan bahwa pada tahun 2019 terjadi pengurangan emisi GRK sebesar 68.986.099 ton CO₂e dan pada tahun 2020 terjadi **pengurangan emisi GRK sebesar 573,95 juta ton CO₂e**.

Dari total angka pengurangan sebesar 573.951.814 ton CO₂e pada tahun 2020 tersebut, secara terperinci di masing-masing kategori/sektor adalah: (1) Energi sebesar 75.522.359 ton CO₂e, (2) Proses Industri dan Penggunaan Produk sebesar 2.730.564

ton CO₂e, (3) Pertanian sebesar 20.982.200 ton CO₂e, (4) Kehutanan sebesar 473.357.044 ton CO₂e, dan (5) Limbah sebesar 1.359.647 ton CO₂e.

Tantangan nyata yang harus dihadapi pada tahun selanjutnya adalah bagaimana mendorong para pemangku kepentingan dapat melaporkan aksi mitigasi perubahan iklim berikut angka capaian pengurangan emisi GRK *melalui **Sistem Registri Nasional Pengendalian Perubahan iklim (SRN PPI)***. Diharapkan dengan diterbitkannya Perpres 98 Tahun 2021 dapat mendorong semua pihak untuk melaporkan dan meningkatkan pelaksanaan aksi mitigasi perubahan iklim ke dalam SRN PPI.

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 IGRK dan MPV yang secara umum adalah sebagai berikut:

1. Peningkatan **kualitas data aktifitas, faktor emisi** dan **tingkat ketelitian (tier)**.
2. Untuk peningkatan **sistem kendali mutu**, maka perlu dilakukan Penerapan sistem penjaminan dan pengendalian mutu (QA/QC) di semua level baik level sub sektor, sektor dan nasional.
3. Pengembangan **sistem pengarsipan (*archiving*)**, **sistem keamanan (*security*)** serta **sistem dokumentasi** data dan informasi. Sistem-sistem tersebut mendukung penyelenggaraan inventarisasi GRK dalam pelaksanaan verifikasi, menjamin transparansi serta merupakan bagian dari sistem penjaminan dan pengendalian mutu (QA/QC);
4. Peningkatan **kegiatan monitoring aksi mitigasi** serta pengembangan metodologi penghitungan emisi GRK terhadap berbagai aksi mitigasi/kegiatan.

SAMBUTAN



Tahun 2021 ditandai dengan dua momentum penting dan menjadi fokus perhatian semua pihak terkait pengendalian perubahan iklim. Momentum pertama, **KTT G20 Roma 2021** yang diselenggarakan pada tanggal 30-31 Oktober 2021. Para pemimpin negara-negara anggota G20 membuat kemajuan penting dalam mengatasi ancaman pemanasan global yang meningkat. Presiden Republik Indonesia, menyampaikan bahwa Penanganan perubahan iklim harus bergerak maju seiring dengan penanganan berbagai tantangan global lainnya seperti pengentasan kemiskinan dan pencapaian target SDGs. Selain itu, penanganan perubahan iklim harus diletakkan dalam kerangka besar pembangunan berkelanjutan.

Momentum Kedua, pada tanggal 31 Oktober – 12 November 2021 telah diadakan **COP 26 UN Framework on Climate Change Conference** di Glasgow. Dalam pertemuan tersebut **Presiden RI** menyampaikan **pengesahan Peraturan Presiden (Perpres) 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 ini dimaksudkan sebagai dasar penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon (NEK) dan sebagai pedoman pengurangan Emisi GRK melalui kebijakan, langkah, serta kegiatan untuk pencapaian target NDC dan mengendalikan Emisi GRK dalam pembangunan nasional.

Kebijakan, langkah serta kegiatan yang dilakukan dalam Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (IGRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV) adalah **pengembangan sistem Inventarisasi GRK dan pelaksanaan Kerangka Transparansi** melalui pengembangan skema *Measurement, Reporting and Verification* (MRV), Sistem Registri Nasional Pengendalian Perubahan Iklim (SRN PPI) dan Sertifikat Pengurangan Emisi (SPE).

Guna monitoring dan evaluasi terhadap progress capaian pengurangan emisi GRK, secara rutin telah dilakukan proses pengumpulan, pengolahan dan analisis data dan informasi berupa **profil emisi GRK dan capaian target emisi GRK terverifikasi** yang dijadikan sebagai dasar dalam penyusunan Laporan Tahunan Inventarisasi GRK dan Monitoring, Pelaporan dan Verifikasi (MPV).

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. Hal ini akan memudahkan dalam memberikan informasi kepada para pengambil keputusan dan masyarakat serta memudahkan dalam penyiapan bahan pelaporan internasional (*Biennial Update Report / Biennial Transparency Report dan National Communication*).

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang tinggi kepada semua pihak atas kontribusi dalam penyediaan data hingga tersusunnya Laporan Inventarisasi GRK dan Monitoring Pelaporan Verifikasi Tahun 2021 ini. Semoga dokumen ini dapat menjadi rujukan bersama guna mewujudkan komitmen **Indonesia menuju pencapaian NDC 2030 dan Komitmen Pencapaian Target *Net Zero Emission* tahun 2060 atau lebih awal.**

Jakarta, April 2022

Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan,



Dr. Ir. Siti Nurbaya, M.Sc.

KATA PENGANTAR



Pemerintah berupaya meningkatkan ambisi pengurangan GRK melalui dokumen Updated NDC 2021 dan dokumen LTS-LCCR. Kondisi faktual ini mengantarkan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan serta kementerian/Lembaga terkait lainnya untuk melahirkan skema percepatan pencapaian target pengurangan emisi GRK dan peningkatan partisipasi para pemangku kepentingan dalam pelaksanaan aksi mitigasi perubahan iklim yang dituangkan dalam bentuk penetapan Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang

Ditetapkan Secara Nasional.

Hal ini tentunya memunculkan tantangan dan peluang yang dihadapi dalam penyelenggaraan Inventarisasi GRK dan Monitoring, Pelaporan dan Verifikasi khususnya terkait kerangka transparansi yang antara lain menyangkut masalah tata kelola waktu penyediaan data dan informasi, pengembangan instrumen satu data GRK serta peningkatan kualitas data yang kredibel dan *traceable*.

Guna mewujudkan tantangan dan peluang tersebut, Ditjen Pengendalian Perubahan Iklim setiap tahun berkoordinasi dengan kementerian/ lembaga terkait guna pengumpulan, pengolahan data dan informasi, dan upaya *improvement* penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (IGRK) dan Monitoring Pelaporan Verifikasi (MPV) yang dituangkan dalam Laporan IGRK dan MPV.

Mengacu pada Laporan Inventarisasi GRK dan Monitoring, Pelaporan Verifikasi (IGRK dan MPV) tahun sebelumnya, secara garis besar Laporan IGRK dan MPV tahun 2021 mencakup data dan informasi yang meliputi:

1. Data penghitungan inventarisasi GRK tahun 2010-2020 dengan hasil rekalkulasi. Pada **tahun 2020 emisi GRK adalah sebesar 1.050,41 Juta ton CO₂e**;
2. **Capaian angka pengurangan emisi GRK** yang diperoleh dari pengurangan angka emisi baseline tahun 2020 dan penghitungan inventarisasi GRK tahun 2020 yakni sebesar **948,39 Juta ton CO₂e**;
3. **Capaian pengurangan emisi GRK terverifikasi** dari aksi mitigasi yang dilakukan oleh setiap sektor/Kementerian/Lembaga pada tahun 2020 sebesar **573,95 Juta ton CO₂e**;
4. 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 dan rujukan dalam mempercepat upaya pencapaian target NDC yang merupakan komitmen Indonesia di tataran global.

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

Jakarta, April 2022

Direktur Jenderal
Pengendalian Perubahan Iklim,


Ir. Laksmi Dhewanthi, M.A., IPU.

Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV) Tahun 2021

Volume 7, Maret 2022

TIM PENYUSUN

Pengarah : Laksmi Dewanthi

Penanggungjawab : Syaiful Anwar

Penyusun:

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

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 2021.

Diterbitkan oleh:

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

DAFTAR ISI

	Hal
RINGKASAN EKSEKUTIF	iii
SAMBUTAN	viii
KATA PENGANTAR	viii
TIM PENYUSUN	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
BAB II.....	4
METODOLOGI	4
2.1. METODOLOGI INVENTARISASI GRK	4
2.1.1. Kelembagaan Inventarisasi GRK.....	4
2.1.2. Metodologi Perhitungan Inventarisasi GRK.....	7
2.2. METODOLOGI PENGHITUNGAN CAPAIAN PENGURANGAN EMISI	
DAN/ATAU PENINGKATAN SERAPAN GRK	36
2.2.1. Kelembagaan Verifikasi Capaian Pengurangan Emisi dan/atau	
Peningkatan Serapan GRK	36
2.2.2. Metodologi Penghitungan Pengurangan Emisi GRK dan/atau	
Peningkatan Serapan GRK	37
BAB III.....	58
HASIL INVENTARISASI GRK NASIONAL	58
3.1. PROFIL EMISI GRK NASIONAL.....	58
3.2. PROFIL EMISI SEKTORAL.....	64
3.2.1. Sektor Energi	64
3.2.2. Sektor IPPU	74
3.2.3. Sektor AFOLU	85
3.2.4. Sektor Limbah.....	115
BAB IV.....	124
HASIL CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK.....	124
4.1. PENGURANGAN EMISI GRK NASIONAL TERVERIFIKASI	124
4.2. PENGURANGAN EMISI GRK SEKTORAL TERVERIFIKASI	125
4.2.1. Sektor Energi	125
4.2.2. Sektor IPPU	131
4.2.3. Sektor Pertanian	132
4.2.4. Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya.....	136
4.2.5. Sektor Limbah.....	138
4.3. PROFIL CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK NASIONAL TERHADAP	
TARGET <i>NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTION</i> (NDC).....	142

4.3.1. Capaian Pengurangan Emisi GRK Nasional	142
4.3.2. Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektor.....	144
BAB V.....	148
RENCANA PERBAIKAN (<i>PLAN OF IMPROVEMENT</i>)	148
5.1. Rencana Perbaikan Laporan.....	148
5.2. Rencana Pengembangan Kapasitas	153
BAB VI.....	154
PENUTUP.....	154
DAFTAR PUSTAKA.....	155

DAFTAR GAMBAR

	Hal
GAMBAR 1. KELEMBAGAAN INVENTARISASI GRK NASIONAL MENURUT PERPRES 71 TAHUN 2011 DAN PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN (LHK) NOMOR P.73/MENLHK/SETJEN/KUM.1/12/2017.....	6
GAMBAR 2. ALUR DATA DAN PELAPORAN SERTA UPAYA PENGEMBANGAN INVENTARISASI GRK.....	7
GAMBAR 3. SKEMA MRV NASIONAL.....	37
GAMBAR 4. PROSES VERIFIKASI.....	38
GAMBAR 5. PROFIL EMISI GRK NASIONAL TAHUN 2000-2020	58
GAMBAR 6. PROFIL EMISI GRK NASIONAL TAHUN 2000-2020 (TANPA KEHUTANAN DAN KEBAKARAN GAMBUT)	59
GAMBAR 7. KONTRIBUSI EMISI GRK SEKTORAL TERHADAP EMISI GRK NASIONAL	61
GAMBAR 8. KATEGORI UTAMA SUMBER EMISI GRK.....	64
GAMBAR 9. SUMBER EMISI GRK DARI SEKTOR ENERGI	65
GAMBAR 10. SUB KATEGORI SUMBER EMISI GRK DARI KATEGORI PEMBAKARAN BAHAN BAKAR	65
GAMBAR 11. CAKUPAN SUMBER EMISI GRK DARI PEMBAKARAN BAHAN BAKAR DI INDUSTRI ENERGI	66
GAMBAR 12. SUMBER EMISI GRK DARI PEMBAKARAN BAHAN BAKAR PADA INDUSTRI MANUFAKTUR.....	66
GAMBAR 13. CAKUPAN SUMBER EMISI GRK DARI PEMBAKARAN BAHAN BAKAR TRANSPORTASI	67
GAMBAR 14. CAKUPAN EMISI FUGITIVE DARI PRODUKSI BAHAN BAKAR	68
GAMBAR 15. TINGKAT EMISI GRK SEKTOR ENERGI BERDASARKAN SUB-KATEGORI SUMBER EMISI TAHUN 2000-2020.....	69
GAMBAR 16. KECENDERUNGAN EMISI GRK SEKTOR ENERGI TAHUN 2000-2020	70
GAMBAR 17. TINGKAT EMISI GRK SEKTOR ENERGI BERDASARKAN JENIS GAS.....	70
GAMBAR 18. PERBANDINGAN PERHITUNGAN EMISI DENGAN MENGGUNAKAN <i>REFERENCE</i> DAN <i>SECTORAL APPROACH</i> TAHUN 2000-2020	73
GAMBAR 19. SUMBER EMISI DARI SEKTOR IPPU.....	75
GAMBAR 20. CAKUPAN SUMBER EMISI SEKTOR IPPU DARI INDUSTRI MINERAL	76
GAMBAR 21. CAKUPAN SUMBER EMISI SEKTOR IPPU DARI INDUSTRI KIMIA.....	76
GAMBAR 22. CAKUPAN SUMBER EMISI SEKTOR IPPU DARI PRODUKSI PETROKIMIA DAN CARBON BLACK	77
GAMBAR 23. CAKUPAN SUMBER EMISI SEKTOR IPPU DARI INDUSTRI LOGAM.....	77
GAMBAR 24. CAKUPAN SUMBER EMISI SEKTOR IPPU DARI PRODUK NON-ENERGI DAN PELARUT	78
GAMBAR 25. CAKUPAN EMISI GRK DARI KATEGORI INDUSTRI LAIN.....	78
GAMBAR 26. TINGKAT EMISI GRK SEKTOR IPPU TAHUN 2000-2020	83
GAMBAR 27. KONTRIBUSI EMISI GRK BERDASARKAN KATEGORI SEKTOR IPPU TAHUN 2020.....	83
GAMBAR 28. CAKUPAN SUMBER EMISI GRK DARI SEKTOR AFOLU	85

GAMBAR 29.	KATEGORI SUMBER EMISI DALAM IPCC <i>GUIDELINES</i> SEKTOR PERTANIAN	86
GAMBAR 30.	CAKUPAN SUMBER EMISI GRK DARI SEKTOR PETERNAKAN	87
GAMBAR 31.	CAKUPAN SUMBER EMISI GRK DARI FERMENTASI ENTERIK DAN PENGELOLAAN KOTORAN TERNAK BERDASARKAN JENIS TERNAK.....	87
GAMBAR 32.	CAKUPAN SUMBER EMISI GRK DARI PENGELOLAAN KOTORAN TERNAK.....	88
GAMBAR 33.	CAKUPAN SUMBER EMISI GRK DARI SUMBER AGREGAT DAN SUMBER EMISI NON-CO ₂ PADA LAHAN.....	89
GAMBAR 34.	EMISI DARI SEKTOR PERTANIAN MENURUT KATEGORI TAHUN 2000-2020	96
GAMBAR 35.	TREND EMISI CO ₂ E DARI SEKTOR PETERNAKAN TAHUN 2000-2020	97
GAMBAR 36.	PERSENTASE GAS METHANE DARI FERMENTASI ENTERIK JENIS TERNAK TAHUN 2020.....	98
GAMBAR 37.	PERSENTASE GAS METHANE DARI PENGELOLAAN KOTORAN JENIS TERNAK TAHUN 2020	98
GAMBAR 38.	EMISI N ₂ O LANGSUNG DAN TIDAK LANGSUNG DARI PENGELOLAAN KOTORAN TERNAK PADA PERIODE 2000-2020.....	99
GAMBAR 39.	EMISI DARI PEMBAKARAN BIOMASSA PADA PERIODE 2000-2020.....	100
GAMBAR 40.	EMISI CO ₂ DARI APLIKASI KAPUR DI BIDANG PERTANIAN TAHUN 2000-2020	101
GAMBAR 41.	EMISI CO ₂ DARI APLIKASI PUPUK UREA DI TAHUN 2000-2020	102
GAMBAR 42.	EMISI N ₂ O DARI TANAH YANG DIKELOLA TAHUN 2000-2020	103
GAMBAR 43.	EMISI METANE DARI BUDIDAYA PADI TAHUN 2000-2020	104
GAMBAR 44.	CAKUPAN SUMBER EMISI GRK DARI SEKTOR KEHUTANAN DAN PENGGUNAAN LAHAN LAINNYA.....	106
GAMBAR 45.	EMISI DARI SEKTOR KEHUTANAN DAN PENGGUNAAN LAHAN LAINNYA TAHUN 2000-2020 (DENGAN <i>PEAT FIRE</i>)	108
GAMBAR 46.	EMISI DARI SEKTOR KEHUTANAN DAN PENGGUNAAN LAHAN LAINNYA TAHUN 2000-2020 (TANPA <i>PEAT FIRE</i>)	108
GAMBAR 47.	EMISI DARI KEBAKARAN GAMBUT 2000-2020	109
GAMBAR 48.	EMISI KARBON DI ATAS PERMUKAAN TANAH DARI KEHUTANAN DAN PENGGUNAAN LAHAN LAINNYA 2000-2020.....	110
GAMBAR 49.	EMISI DEKOMPOSISI GAMBUT 2000-2020.....	110
GAMBAR 50.	EMISI GRK DARI KEGIATAN PENGELOLAAN LIMBAH 2000-2020	121
GAMBAR 51.	DISTRIBUSI EMISI GRK SEKTOR LIMBAH TAHUN 2020	122
GAMBAR 52.	CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI SEKTOR ENERGI TAHUN 2010-2020	131
GAMBAR 53.	CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI SEKTOR IPPU TAHUN 2010-2020	132
GAMBAR 54.	CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI SEKTOR PERTANIAN TAHUN 2010-2020	134
GAMBAR 55.	PENURUNAN EMISI TOTAL SEKTOR PERTANIAN TAHUN 2020.....	135
GAMBAR 56.	PROPORSI PENGURANGAN EMISI PADA PENGOLAHAN LIMBAH PADAT DOMESTIK	141
GAMBAR 57.	PROPORSI PENGURANGAN EMISI PADA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR DOMESTIK	141

GAMBAR 58	PROPORSI PENGURANGAN EMISI PADA PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI	142
GAMBAR 59	PROFIL CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK NASIONAL (2010-2020) TERHADAP BAU, CM1 DAN CM2	143

DAFTAR TABEL

	Hal
TABEL 1. NILAI GWP PADA <i>SECOND ASSESSMENT REPORT</i> (SAR) YANG DIGUNAKAN PADA PERHITUNGAN INVENTARISASI GRK.....	9
TABEL 2. PENGKLASIFIKASIAN KATEGORI ANTARA IPCC GL 2006 DAN TABEL KESETIMBANGAN ENERGI	9
TABEL 3. PEMBAGIAN KELAS UMUR, FAKTOR EMISI SERTA BOBOT TERNAK LOKAL .	11
TABEL 4. REVISI FAKTOR SKALA JENIS TANAH YANG BERBEDA DARI INDONESIA....	18
TABEL 5. FAKTOR SKALA YANG DISESUAIKAN DENGAN EKOSISTEM PADI DAN TATA AIR INDONESIA	19
TABEL 6. FAKTOR SKALA UNTUK VARIETAS PADI YANG BERBEDA DI INDONESIA	19
TABEL 7. PENYESUAIAN KATEGORI TUTUPAN LAHAN KLHK DENGAN KELAS PENGGUNAAN LAHAN IPCC	22
TABEL 8. RERATA PERTUMBUHAN TAHUNAN PADA BERBAGAI KATEGORI PENGGUNAAN LAHAN	23
TABEL 9. KARBON STOK DARI BIOMASSA DI ATAS PERMUKAAN (AGB) UNTUK BERBAGAI TIPE PENUTUPAN LAHAN	24
TABEL 10. FAKTOR EMISI UNTUK DEKOMPOSISI GAMBUT DARI BERBAGAI PENUTUPAN LAHAN.....	26
TABEL 11 KATEGORI AKSI MITIGASI SEKTOR ENERGI DAN SUMER DATANYA	40
TABEL 12 EMISI GRK NASIONAL TAHUN 2000-2020	59
TABEL 13 ANALISIS KATEGORI KUNCI TAHUN 2020 (DENGAN FOLU DAN KEBAKARAN GAMBUT).....	62
TABEL 14 ANALISIS KATEGORI KUNCI TAHUN 2020 (TANPA FOLU DAN KEBAKARAN GAMBUT).....	63
TABEL 15 EMISI GRK DARI KEGIATAN ENERGI TAHUN 2000-2020	71
TABEL 16 PERHITUNGAN EMISI GRK SEKTOR ENERGI MENGGUNAKAN METODE <i>REFERENCE</i> DAN <i>SECTORAL APPROACH</i> , GG CO ₂ -EMISI GRK DARI KEGIATAN ENERGI TAHUN 2020	72
TABEL 17 SUMBER EMISI KUNCI SEKTOR ENERGI TAHUN 2020.....	74
TABEL 18 EMISI GRK DARI SEKTOR IPPU TAHUN 2000-2020	80
TABEL 19 EMISI GRK PER SUB KATEGORI SEKTOR IPPU TAHUN 2020	82
TABEL 20 SUMBER EMISI KUNCI SEKTOR IPPU TAHUN 2020	84
TABEL 21 POPULASI TERNAK NASIONAL TAHUN 2000-2020 DALAM SATUAN EKOR...	90
TABEL 22 DATA DAN SUMBER DATA PERHITUNGAN EMISI AGREGAT DAN SUMBER EMISI NON-CO ₂ TAHUN 2020	91
TABEL 23 DATA KONSUMSI PUPUK NASIONAL TAHUN 2000-2020.....	92
TABEL 24 DATA LUAS SAWAH NASIONAL TAHUN 2000-2020	93
TABEL 25 TATA LUAS TANAMAN PANGAN NASIONAL TAHUN 2000-2020	93
TABEL 26 DATA LUAS AREAL PERKEBUNAN NASIONAL 2000-2020	94
TABEL 27 REKAPITULASI EMISI SEKTOR PERTANIAN TAHUN 2000-2020.....	97
TABEL 28 ANALISIS KATEGORI KUNCI SEKTOR PERTANIAN TAHUN 2020	105
TABEL 29 EMISI BIOMASS BURNING GAS NON-CO ₂	109

TABEL 30 EMISI DARI SEKTOR KEHUTANAN DAN PENGGUNAAN LAINNYA TAHUN 2000-2020 (GG CO ₂ E).....	112
TABEL 31 ANALISIS KATEGORI KUNCI SEKTOR KEHUTANAN DAN PENGGUNAAN LAHAN LAINNYA	114
TABEL 32 KOMPOSISI SAMPAH DI TPA.....	116
TABEL 33 DRY MATTER CONTENT SAMPAH DI TPA	117
TABEL 34 PARAMETER DAN FAKTOR EMISI LIMBAH CAIR DOMESTIK.....	118
TABEL 35 PARAMETER FRAKSI POPULASI DAN DERAJAT PENGGUNAAN PADA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR DOMESTIK	119
TABEL 36 EMISI GRK DARI SEKTOR LIMBAH TAHUN 2000-2020	121
TABEL 37 COMMON REPORTING FORMAT OF THE GHG EMISSION FROM WASTE CATEGORY IN 2020	122
TABEL 38 ANALISIS KATEGORI KUNCI SEKTOR LIMBAH TAHUN 2020	123
TABEL 39 CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK NASIONAL TERVERIFIKASI TAHUN 2019-2020	124
TABEL 40 CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI SEKTOR ENERGI TAHUN 2020	126
TABEL 41 CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI SEKTOR ENERGI TAHUN 2020	126
TABEL 42 CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI SUB SEKTOR ENERGI DI INDUSTRI TAHUN 2020	129
TABEL 43 CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI SUB SEKTOR ENERGI DI TRANSPORTASI TAHUN 2020	129
TABEL 44 CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI SEKTOR IPPU TAHUN 2020	132
TABEL 45 DATA AKTIVITAS SEKTOR PERTANIAN TAHUN 2020	133
TABEL 46 CAPAIAN PENGURANGAN EMISI AKSI MITIGASI TERVERIFIKASI SEKTOR PERTANIAN TAHUN 2010-2020.....	134
TABEL 47 CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK DAN/ATAU PENINGKATAN SERAPAN GRK TERVERIFIKASI SEKTOR KEHUTANAN TAHUN 2020.....	138
TABEL 48 CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI SEKTOR LIMBAH TAHUN 2020	140
TABEL 49 PROFIL CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK NASIONAL TERHADAP TARGET PENGURANGAN EMISI GRK PADA CM1 DI TAHUN 2010-2020.....	143
TABEL 50 TARGET <i>NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTION (NDC)</i> TAHUN 2030.....	144
TABEL 51 CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK SEKTORAL TERHADAP TARGET CM1 DI TAHUN 2020	144

BAB I

PENDAHULUAN

Perubahan iklim menjadi perhatian global, karena dampak yang ditimbulkan mengganggu berbagai aspek kehidupan manusia (sosial, ekonomi, budaya, kesehatan) serta keberlanjutan ekosistem. Laporan-laporan terkini oleh **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)**, mulai dari *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* (SROCC - 2019), *Special Report on Climate Change and Land* (SRCL - 2019) serta *The Sixth Assessment Report (AR6) of the Climate Change (The Physical Science Basis, the Impacts, Adaptation and Vulnerability, and the Mitigation)* memberikan bukti dan data ilmiah, bahwa perubahan iklim mempengaruhi pola iklim global sehingga meningkatkan intensitas dan frekuensi bencana hidrometeorologis, kekeringan, cuaca ekstrem, kebakaran hutan/lahan, peningkatan muka air laut (*sea level rise*), serta mempengaruhi struktur, fungsi keanekaragaman hayati, serta berbagai jasa ekosistem. Hal ini sedang dan akan berdampak besar bagi sosial-ekonomi, kesehatan, infrastruktur dan seluruh dimensi kehidupan manusia. Dan Indonesia, sebagai negara kepulauan dengan populasi penduduk yang besar, menjadi salah satu negara yang rentan terhadap dampak negatif perubahan iklim.

Sejalan dengan hal tersebut, 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 gas metan. 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.

Hal ini merupakan kelanjutan dari **Paris Agreement to the United Nations 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. Dan sebagai wujud komitmen Indonesia untuk berperan penting dalam upaya pengendalian perubahan iklim, Indonesia meratifikasi *Paris Agreement melalui* Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016.

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 dan sampai dengan 41% 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-target NDC tersebut, Pemerintah Indonesia, telah menetapkan **Peraturan Presiden (PERPRES) No. 98 tahun 2021** tentang *Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional*. Perpres tersebut memberikan mandate 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.

Sehingga sebagai bentuk asas keberlanjutan, penyelenggaran Inventarisasi GRK, saat ini masih mengacu pada **Peraturan Presiden Nomor 71 Tahun 2011** tentang Penyelenggaraan Inventarisasi GRK 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 penyerapnya (sink) termasuk simpanan karbon (*carbon stock*) serta bertujuan untuk memberikan informasi secara berkala mengenai tingkat, status dan kecenderungan perubahan emisi dan serapan GRK termasuk simpanan karbon di tingkat nasional, provinsi dan kabupaten/kota, serta. informasi pencapaian penurunan 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 penyelenggarakan 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* dan *refinements* panduan tersebut. Secara nasional, Panduan tersebut juga telah diadopsi kedalam Peraturan Menteri LHK No. 73 Tahun 2017, 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 penyelenggaran IGRK MPV, maka Inventarisasi GRK dilakukan pada 5 sektor, yaitu sektor Energi, proses industri dan penggunaan produk, Pertanian, Kehutanan dan penggunaan lahan dan pengelolaan limbah. Dan ini telah dilakukan bersama secara berkala setiap tahun, sehingga

menghasilkan laporan nasional IGRK – MPV. Laporan tersebut memuat data dan informasi terkait inventori emisi Gas Rumah Kaca (termasuk tingkat, status dan kecenderungan emisi) serta capaian pengurangan emisi dari aksi mitigasi. Penyusunan pelaporan tersebut menganut prinsip **TACCC (transparan, akurat, konsisten, komprehensif 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 MV 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 the *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 ini, 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 98/2021 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 2021 adalah sebesar **1050,4 juta ton CO₂e**, dan ini menunjukkan adanya pengurangan emisi dari baseline/BAU sebesar **948,4 juta ton CO₂e atau 47,5 %**. Emisi GRK di semua sector menunjukkan adanya trend pengurangan dibanding tahun sebelumnya. Proses rekalkulasi juga dilakukan pada beberapa sektor, karena adanya perbaikan metode, data aktifitas dan faktor emisi. Proses ini dilakukan untuk menjamin 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 dengan harapan dapat dipergunakan sebagai **media dan sumber informasi** tentang hasil inventarisasi (tingkat level dan trend emisi), **capaian pengurangan** emisi GRK, serta **monitoring dan evaluasi progres implementasi NDC** menuju pencapaian komitmen target pengurangan emisi di tingkat nasional maupun global.

BAB II

METODOLOGI

2.1. METODOLOGI INVENTARISASI GRK

2.1.1. Kelembagaan Inventarisasi GRK

Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca mengacu pada Peraturan Presiden (PERPRES) No. 98 tahun 2021 tentang *Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional*. Perpres 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, pada periode pelaporan ini masih mengacu pada **Peraturan Presiden Nomor 71 Tahun 2011** tentang Penyelenggaraan Inventarisasi GRK Nasional. 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 penyerapnya (sink) termasuk simpanan karbon (*carbon stock*) serta bertujuan untuk menyediakan data dan informasi tersebut secara berkala di tingkat nasional, provinsi dan kabupaten/kota, serta informasi pencapaian penurunan emisi GRK dari kegiatan mitigasi perubahan iklim.

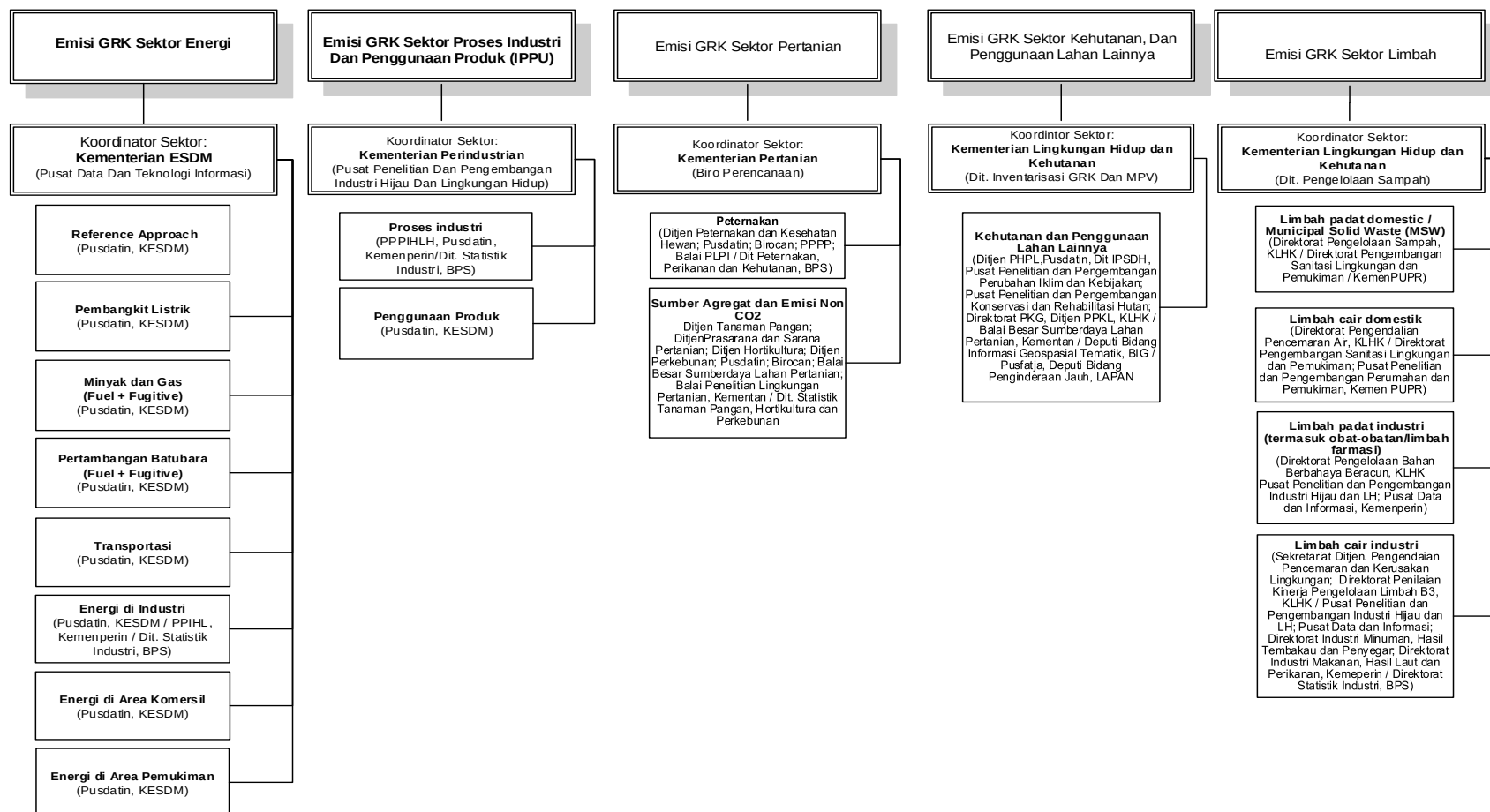
Lebih lanjut, Peraturan Presiden Nomor 92 Tahun 2020 tentang Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, memberikan arahan bahwa salah satu tugas pokok dan fungsi **Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim** adalah pada penyelenggarakan fungsi perumusan kebijakan, pelaksanaan kebijakan dan penyusunan norma, standar, prosedur, dan kriteria di bidang penyelenggaraan inventarisasi gas rumah kaca, monitoring, pelaporan dan verifikasi perubahan iklim.

Mandat yang diberikan dalam Peraturan Presiden tersebut diatas, selanjutnya diatur pelaksanaannya secara detail dalam Peraturan Menteri LHK Nomor P.73/MenLHK/Setjen/Kum.1/12/2017 tanggal 29 Desember 2017 tentang Pedoman Penyelenggaraan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca, termasuk di dalamnya

tata kelembagaan kelembagaan inventarisasi GRK Nasional, sebagaimana diilustrasikan dalam **Gambar 1**.

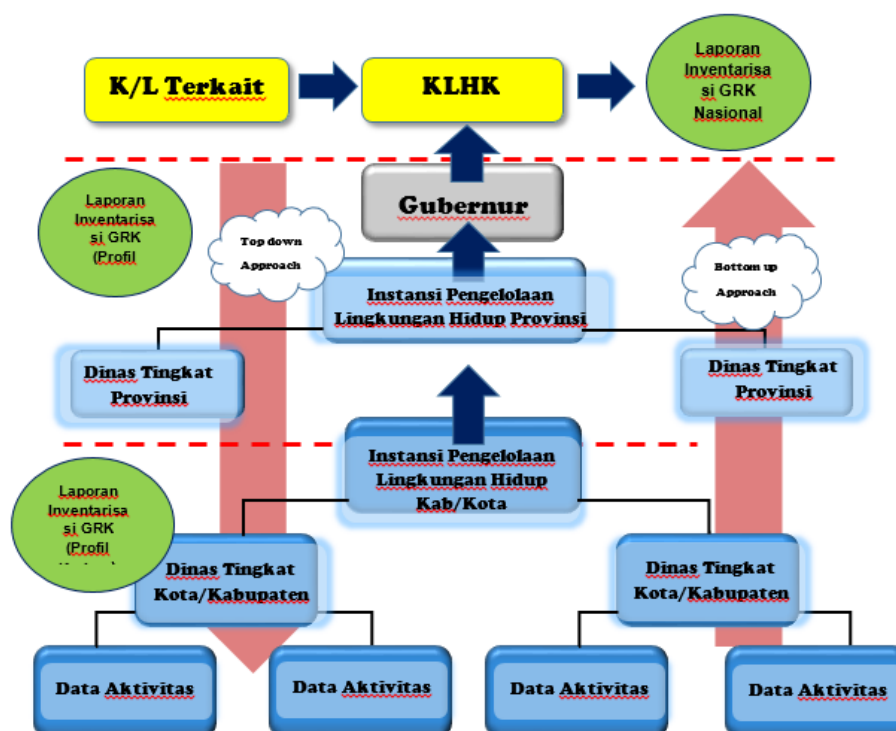
Dalam kelembagaan tersebut, seluruh sektor dan pemerintah daerah dibawah koordinasi KLHK untuk mengembangkan laporan pelaksanaan Inventarisasi GRK yang dapat digunakan dalam penyusunan Laporan Inventarisasi GRK di tingkat Nasional dan Internasional seperti *National Communication* (komunikasi nasional) dan *Biennial Update Report/Biennial Transparency Report* (BUR/BTR). Hasil inventarisasi GRK tersebut juga akan dipergunakan untuk pengembangan kebijakan dan evaluasi pencapaian aksi mitigasi pengurangan emisi 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 1. KELEMBAGAAN INVENTARISASI GRK NASIONAL MENURUT PERPRES 71 TAHUN 2011 DAN PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN (LHK) NOMOR P.73/MENLHK/SETJEN/KUM.1/12/2017

Dalam penyusunan laporan inventarisasi GRK nasional melibatkan partisipasi aktif pemerintah sub-nasional (provinsi, kabupaten dan kota). Namun demikian dalam pengembangan inventarisasi GRK nasional saat ini hanya melibatkan K/L pusat. Dalam pengembangan inventarisasi GRK nasional, peran pemerintah daerah diperkuat secara berkelanjutan. Sehingga di masa depan, pengembangan inventarisasi GRK akan dilengkapi melalui pendekatan *top-down* dan *bottom-up*, agar dapat dibandingkan perhitungan yang dilakukan di tingkat nasional dengan agregasi hasil perhitungan yang dilakukan pemerintah daerah. Alur data dan pelaporan beserta upaya pengembangan inventarisasi GRK secara *top-down* dan *bottom-up* diilustrasikan pada **Gambar 2**.



GAMBAR 2. ALUR DATA DAN PELAPORAN SERTA UPAYA PENGEMBANGAN INVENTARISASI GRK

2.1.2. 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 tanggal 29 Desember 2017 tentang Pedoman Penyelenggaraan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca.

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

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

1. Data Aktivitas (AD)

Penyelenggara Inventarisasi GRK mengembangkan mekanisme kelembagaan dalam pengumpulan data aktivitas yang diperlukan pada perhitungan sebagaimana rumus di atas. Lembaga dan divisi yang ditunjuk pada Kementerian/Lembaga dan Pemerintah Daerah untuk melakukan pengumpulan data aktivitas mengidentifikasi jenis data dan tahun ketersediaannya 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:

- a. *Tier 1*: metode perhitungan emisi dan serapan menggunakan persamaan dasar (*basic equation*), data aktivitas yang digunakan sebagian bersumber dari sumber data global, dan menggunakan faktor emisi *default* (nilai faktor emisi yang disediakan dalam IPCC *Guideline*)
- b. *Tier 2*: metode perhitungan emisi dan serapan menggunakan persamaan yang lebih rinci, data aktivitas berasal dari sumber data nasional dan/atau daerah, dan menggunakan faktor emisi lokal yang diperoleh dari hasil pengukuran langsung.
- c. *Tier 3*: metode perhitungan emisi dan serapan menggunakan persamaan 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 Energi

Tingkat emisi GRK yang tercantum dalam inventarisasi sektor energi dihitung menggunakan *Tier 1* dan *Tier 2* metode IPCC 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 GL 2006 maka dilakukan pengklasifikasian sebagaimana tersaji dalam **Tabel 2**.

TABEL 2. PENGKLASIFIKASIAN KATEGORI ANTARA IPCC GL 2006 DAN TABEL KESETIMBANGAN ENERGI

Kategori IPCC 2006		Tabel Kesetimbangan Energi (<i>Energy Balance Table</i>)	
1A1a	<i>Main activity electricity and heat production</i>	2 e.	<i>Power plant</i>
			<i>PLN</i>
			<i>Non-PLN</i>
1A1b	<i>Petroleum refining</i>	2 a.	<i>Refinery</i>
		2 b.	<i>LPG Plant</i>
		2 c.	<i>LNG Plant</i>
		3 a.	<i>During Transformation</i>
		3 b.	<i>Energy use / own use</i>
1A1c	<i>Manufacture of solid fuels and other energy industries</i>	2 d.	<i>Coal Processing Plant</i>
1A2	<i>Manufacturing Industries and Construction</i>	6 a.	<i>Industry</i>
1A3	<i>Transport</i>	6 b.	<i>Transportation</i>
1A4a	<i>Commercial/institutional</i>	6 d.	<i>Commercial</i>
1A4b	<i>Residential</i>	6 c.	<i>Household</i>
1A4c	<i>Other Sector</i>	6 e.	<i>Other sector</i>
1B1	<i>Solid Fuel</i>	1 a.	<i>Production/Coal</i>
1B2a	<i>Oil</i>	1 a.	<i>Production/Crude Oil</i>
		4	<i>Final Energy Supply / LPG</i>
1B2b	<i>Natural Gas</i>	1 a.	<i>Production/Natural Gas</i>
		4	<i>Final Energy Supply / LPG</i>

Upaya *improvement* yang dilakukan pada pelaporan ini adalah: Penggunaan *Tier 2* untuk kategori *energy industries* (1A1), *Manufacturing Industries* (1A2), *Transportation* (1A3), dan *Other Sectors* (1A4), khusus untuk penggunaan BBM (Ron 88, Ron 92, Ron 95, dan Solar) merujuk pada faktor emisi yang dilaporkan oleh LEMIGAS (Lembaga Minyak dan Gas Bumi, Kementerian ESDM), serta batu bara (*sub-bituminous coal dan lignite*) merujuk pada faktor emisi yang dilaporkan oleh TEKMIRA (Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara, Kementerian ESDM).

Seperti yang tercantum dalam IPCC 2006 *Guideline*, 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.

C. Metodologi 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 2006. *Tier 1* memerlukan data aktivitas berupa data agregat statistik produksi produk industri, jumlah penggunaan karbon, pelumas, lilin dan lain-lain secara aktual dalam skala nasional. Pengumpulan data berdasarkan pada jenis industri pada salah satu proses atau keseluruhan proses pembuatan produk mengemisikan atau berpotensi mengemisikan gas rumah kaca.

Pengembangan menuju *Tier 2* sudah dilakukan untuk industri semen, ammonia dan alumunium. Ketiga industri tersebut sudah mengembangkan faktor emisi lokal spesifik untuk industri mesin melalui penelitian dan proyek *Clean Mechanism Development* (CDM). Adanya pengembangan nilai faktor emisi ini akan mengakibatkan kualitas perhitungan emisi semakin baik, disamping menurunkan nilai *uncertainty*.

D. Metodologi Sektor Pertanian

1. Peternakan

Perhitungan emisi GRK dari sub sektor peternakan yang disajikan dalam inventarisasi emisi GRK ini menggunakan *Tier 2* metode IPCC-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 2020 (Data Tahun 2019) pada sub sektor 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 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:

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

dimana:

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

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

N_(T) = Jumlah populasi jenis/kategori ternak tertentu, Animal Unit

T = Jenis/kategori ternak

Adapun pembagian kelas umur, faktor emisi dan bobot ternak lokal yang digunakan dalam perhitungan seperti pada **Tabel 3**.

TABEL 3. PEMBAGIAN KELAS UMUR, FAKTOR EMISI SERTA BOBOT TERNAK LOKAL

Jenis Ternak	Sub Kategori	Jenis Kelamin	Persentase (%)	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	Jantan	12,25	25,4879	7,9662	500
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
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 (2006), sebagai berikut:

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

dimana:

- $CH_4 \text{ manure}$ = Emisi metana dari pengelolaan kotoran ternak, Gg CH_4 yr-1
 $EF_{(T)}$ = Faktor emisi populasi jenis ternak tertentu, kg CH_4 head-1 yr-1
 $N_{(T)}$ = Jumlah populasi jenis/kategori ternak tertentu, Animal Unit
 T = Jenis/kategori ternak

Perhitungan emisi terhadap kategori Emisi N_2O langsung dan tidak langsung juga menggunakan metodologi *Tier2* dengan data aktivitas populasi ternak berdasarkan kelas umur, bobot ternak lokal, 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 survey 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 N_2O dari pengelolaan kotoran ternak dilakukan dengan persamaan berikut:

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

dimana:

- $N_2O_{D(mm)}$ = Emisi langsung N_2O dari pengelolaan kotoran ternak, kg N_2O 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 N_2O dari sistem pengelolaan kotoran tertentu S, kg N_2O -N/kgN
- S = Sistem pengelolaan kotoran ternak
- T = Jenis/kategori ternak
- 44/28 = Konversi emisi (N_2O)-N_(mm) kedalam bentuk $N_2O_{(mm)}$

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

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

dimana:

- $N_2O_{G(mm)}$ = 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 NOx, kgN per tahun.
- 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

2. 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 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 (*grassland*) dan perhitungannya dilakukan terpisah dengan menggunakan nilai faktor emisi *default* dari IPCC (*Tier 1*). Persamaan untuk menghitung emisi non- CO_2 dari biomassa, baik untuk lahan pertanian (*cropland*) maupun padang rumput (*grass land*) yang dibakar adalah:

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

dimana:

- L_{fire} = Jumlah emisi GRK dari pembakaran, ton CH₄, N₂O, CO dan NO_x.
 A = Luas area yang dibakar, Ha
 M_B = Massa bahan yang tersedia untuk pembakaran, ton/ha (termasuk 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 aktifitas 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 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 kedalam tanah dapat diperkirakan dengan persamaan berikut:

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

dimana:

- $CO_2\text{-Emission}$ = 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 (Tier1) 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 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:

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

dimana:

CO₂-C_{Emission} = Emisi C tahunan dari aplikasi pemupukan, ton C per tahun
M = Jumlah atau berat dari Urea yang diaplikasikan, ton per 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. 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 praktek-praktek pengelolaan yang menyebabkan mineralisasi N organik tanah. Persamaan untuk menduga emisi N₂O langsung dari tanah yang dikelola adalah sebagaimana berikut ini:

$$N_2O\text{-Direct} = N_2O\text{-N}_{N\text{ input}} + N_2O\text{-N}_{OS} + N_2O\text{-N}_{PRP}$$

dimana:

$N_2O\text{-N}_{N\text{ input}}$ = $\{[(FSN+FON+FCR+FSOM) \times EF1] + [(FSN+FON+FCR+FSOM) \times EF1FR]\}$
 $N_2O\text{-N}_{OS}$ = $\{(FOS_{CG,Temp} \times EF2_{CG,Temp}) + (FOS_{CG,Trop} \times EF2_{CG,Trop}) + (FOS_{F,Temp,NR} \times EF_{F,Temp,NR}) + (FOS_{CG,Temp,NP} \times EF2_{F,Temp,NP}) + (FOS_{F,Trop} \times EF2_{F,Trop})\}$
 $N_2O\text{-N}_{PRP}$ = $[(FPRP_{CPP} \times EF3_{PRP, CPP}) + (FPRP_{SO} \times EF3_{PRP, SO})]$
 $N_2O\text{-Direct}$ = Emisi tahunan N₂O langsung dari tanah yang dikelola, kg N₂O-N per tahun
 $N_2O\text{-N}_{N\text{ input}}$ = Emisi tahunan N₂O langsung dari input N ke tanah yang dikelola, kg N₂O-N per tahun
 $N_2O\text{-N}_{OS}$ = Emisi tahunan N₂O langsung dari pengelolaan tanah organik, kg N₂O-N per tahun
 $N_2O\text{-N}_{PRP}$ = Emisi tahunan N₂O langsung dari input urin atau kotoran ternak ke padang rumput atau pengembalaan, kg N₂O-N per tahun
FSN = Jumlah tahunan pupuk sintetis N yang diaplikasikan ke tanah, kg N per tahun
FON = Jumlah tahunan dari pupuk kandang, kompos, urin dan kotoran ternak, dan N organik lainnya yang diaplikasikan ke tanah, kg N per tahun

<i>FCR</i>	= Jumlah tahunan dari sisa tanaman (di atas tanah dan di bawah tanah), termasuk tanaman yang memfiksasi N dan dari pembaharuan hijauan atau padang rumput, <i>kg N per tahun</i>
<i>FSOM</i>	= 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> .
<i>FPRP</i>	= Jumlah tahunan dari input urin dan kotoran N yang dideposit di padang rumput atau padang penggembalaan, <i>Kg N pertahun</i> (CPP: Sapi, Unggas, dan Babi, dan SO: domba, dan ternak lain)
<i>FOS</i>	= 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>Nutrient Rich</i>], dan miskin hara [<i>Nutrient Poor</i>])
<i>EF1</i>	= Faktor emisi untuk emisi N_2O dari input N untuk lahan kering, <i>kgN₂O-N per (kg N input)</i>
<i>EF1FR</i>	= Faktor emisi untuk emisi N_2O dari input N untuk sawah irigasi, <i>kgN₂O-N per (kg N input)</i>
<i>EF2CG,F, Temp,Trop,R,P</i>	= Faktor emisi untuk emisi N_2O dari tanah organik yang dikelola/didrainase input N untuk sawah irigasi, <i>kgN₂O-N per (ha/tahun)</i> ; (CG, F, Temp, Trop, R dan P adalah kependekan dari <i>Crop Land</i> dan <i>Grass Land</i> , <i>Forest Land</i> , <i>Temperate</i> , <i>Tropical</i> , Kaya Hara (<i>Nutrient Rich</i>), dan Miskin Hara (<i>Nutrient Poor</i>))
<i>EF3PRP</i>	= Faktor emisi untuk emisi N_2O dari urin dan kotoran yang dideposit di padang rumput atau padang penggembalaan, <i>kg N₂O-N per (kg N input)</i> ; (CPP: sapi, unggas dan babi, dan SO: domba, dan ternak lain).

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

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

dimana:

N_2O_{Indirect}	= Emisi tahunan N_2O langsung dari tanah yang dikelola, <i>kg N₂O-N per tahun</i>
$N_2O_{\text{(ATD)}} - N$	= $[(FSN \times \text{FracGASF}) + ((FON + FPRP) \times \text{FracGASM})] \times EF4$.
$N_2O_{\text{(I.)}} - N$	= $(FSN + FON + FPRP + FCR + FSOM) \times \text{FracLEACH-(H)} \times EF5$.
$N_2O_{\text{(ATD)}} - N$	= Jumlah tahunan N_2O-N yang dihasilkan volatilisasi N ke atmosfer dari tanah yang dikelola, <i>kg N₂O-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 bervolatisasi sebagai NH_3 dan NO_x , <i>kg N tervolatisasi per kg N</i> yang digunakan.
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 tervolatisasi sebagai NH_3 dan NO_x , <i>kg N tervolatisasi per kg N</i> yang diaplikasikan/dideposit
EF ₄	=	Faktor emisi N_2O dari deposit N pada tanah dan permukaan air, [$\text{kg N} - \text{N}_2\text{O}$ per ($\text{kgNH}_3\text{-N} + \text{NO}_x\text{-N volatilised}$)]
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_2O dari deposit N di atmosfer akibat pencucian dan aliran permukaan N, <i>kg $\text{N}_2\text{O-N}$</i>

Emisi CH_4 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 CH_4 dihitung dengan mengalikan faktor emisi harian dengan lama budidaya padi sawah dan luas panen dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

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

dimana:

- $CH_4 \text{ Rice}$ = Emisi metan dari budidaya padi sawah, Gg CH_4 per tahun
 $EF_{i,j,k}$ = Faktor emisi untuk kondisi I, j, dan k; kg CH_4 per hari
 $t_{i,j,k}$ = Lama budidaya padi sawah untuk kondisi I, j, dan k; hari
 $A_{i,j,k}$ = Luas panen padi sawah untuk kondisi I, j, dan k; ha per tahun
 i, j, dan k = Mewakili ekosistem berbeda: i: rezim air, j: jenis dan jumlah pengembalian bahan organik tanah, dan k: kondisi lain di mana emisi CH_4 dari padi sawah dapat bervariasi.

Emisi metana dari budidaya padi dihitung dengan menggunakan faktor emisi yang dirangkum dari nilai-nilai lokal sawah di Indonesia. Faktor emisi dari sawah Indonesia berkisar antara 0,67-79,86 g CH_4/m_2 /musim dengan nilai *default* rata-rata 160.9 kg CH_4/ha /musim. Faktor skala tanah dimodifikasi, karena beberapa penelitian yang dilakukan di Indonesia menemukan bahwa sifat-sifat tanah yang berbeda diperoleh potensi yang berbeda produksi CH_4 (**Tabel 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	Scaling Factor 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	Sub Kategori		SF (IPCC Guidelines 1996)	Adjusted SF (based on current studies in Indonesia)
Upland	None		0	
Lowland	Irrigated	Continuously Flooded	1,0	1,00
		Intermittently Flooded	0,5 (0,2-0,7)	0,46 (0,38-0,53)
			0,2 (0,1-0,3)	
	Rainfed	Flood Prone	0,8 (0,5-1,0)	0,49 (0,19-0,75)
		Drought Prone	0,4 (0-0,5)	
	Deep Water	Water Depth 50-100 cm	0,8 (0,6-1,0)	
		Water Depth < 50 cm	0,6 (0,5-0,8)	

TABEL 6. FAKTOR SKALA UNTUK VARIETAS PADI YANG BERBEDA DI INDONESIA

No	Variety	Average emission (kg/ha/session)	Scaling Factor
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	Wayrarem	91,6	0,45
21	Maros	73,9	0,37

22	Mendawak	255	1,26
23	Mekongga	234	1,16
24	IR42	269	1,33
25	Fatmawati	245	1,21
26	BP360	215	1,06
27	BP205	196	0,97
28	Hipa4	197	0,98
29	Hipa6	219	1,08
30	Rokan	308	1,52
31	Hipa 5 Ceva	323	1,60
32	Hipa 6 Jete	301	1,49
33	Inpari 1	271	1,34
34	Inpari 6 Jete	272	1,34
35	Inpari 9 Elo	359	1,77
36	Banyuasin	584,8	2,49
37	Batanghari	517,8	2,20
38	Siak Raya	235,2	1,00
39	Sei Lalan	152,6	0,65
40	Punggur	144,2	0,61
41	Indragiri	141,1	0,60
42	Air Tenggulang	140,0	0,60
43	Martapura	125,7	0,53

Berdasarkan berbagai data 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 1,0, 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 1,0 untuk daerah non-irigasi (Kementerian Lingkungan Hidup, 2010).

E. Metodologi Sektor Kehutanan

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.

1. Pendugaan emisi/serapan dari perubahan stok karbon

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

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

Dimana ΔC = perubahan stok karbon; AFOLU = *Agriculture, Forestry and Other Land Use*; FL = *Forest Land*; CL = *Crop Land*; GL = *Grassland*; WL = *Wetlands*; SL = *Settlements*; dan OL = *Other Land*.

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

$$\Delta C_{LU} = \sum \Delta C_{Lui}$$

Dimana ΔC_{LU} = perubahan stok karbon untuk sebuah kategori penggunaan lahan/*land-use (LU)* seperti dijelaskan pada persamaan diatas; I = denotasi dari stratum spesifik atau subdivisi dalam kategori penggunaan lahan (dengan kombinasi species, zona iklim, *ecotype, management regime* dll.); dan 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 dibawah:

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

Dimana ΔC_{Lui} = perubahan stok karbon untuk sebuah stratum dari sebuah kategori penggunaan lahan; AB = *aboveground biomass*; BB = *belowground biomass*; SO = *soil organic matter*.

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 dan 2020.

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

Klasifikasi kategori penggunaan lahan dalam *IPCC Guideline* 2006 terbagi menjadi 6 kategori penggunaan lahan utama, sehingga kategori tutupan lahan yang digunakan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dikelompokkan mengikuti kategori penggunaan lahan IPCC 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	2006 IPCC GL	Singkatan	Keterangan
	Forest			
1.	Primary dryland forest	Forest	FL	Natural forest
2.	Secondary dryland forest	Forest	FL	Natural forest
3.	Primary mangrove forest	Forest	FL	Natural forest
4.	Secondary mangrove forest	Forest	FL	Natural forest
5.	Primary swamp forest	Forest	FL	Natural forest
6.	Secondary swamp forest	Forest	FL	Natural forest
7.	Plantation forest	Forest	FL	Plantation forest
	Other Land Use			
8.	Estate crop	Crop land	CL	Non-forest
9.	Pure dry agriculture	Crop land	CL	Non-forest
10.	Mixed dry agriculture	Crop land	CL	Non-forest
11.	Dry shrub	Grassland	GL	Non-forest
12.	Wet shrub	Grassland	GL	Non-forest
13.	Savanna and Grasses	Grassland	GL	Non-forest
14.	Paddy Field	Crop land	CL	Non-forest
15.	Open swamp	Wetland	WL	Non-forest
16.	Fish pond/aquaculture	Wetland	WL	Non-forest

17.	<i>Transmigration areas</i>	<i>Settlement</i>	<i>ST</i>	<i>Non-forest</i>
18.	<i>Settlement areas</i>	<i>Settlement</i>	<i>ST</i>	<i>Non-forest</i>
19.	<i>Port and harbor</i>	<i>Other land</i>	<i>OL</i>	<i>Non-forest</i>
20.	<i>Mining areas</i>	<i>Other land</i>	<i>OL</i>	<i>Non-forest</i>
21.	<i>Bare ground</i>	<i>Other land</i>	<i>OL</i>	<i>Non-forest</i>
22.	<i>Open water</i>	<i>Wetland</i>	<i>WL</i>	<i>Non-forest</i>
23.	<i>Clouds and no-data</i>	<i>No data</i>	-	<i>Non-forest</i>

Faktor emisi/serapan karbon yang digunakan dalam inventarisasi GRK diambil dari beberapa studi spesifik di Indonesia. Rerata pertumbuhan tahunan dari kategori penutupan lahan yang berbeda mengacu pada beberapa referensi, laporan dan literature (**Tabel 8**).

Pada penyelenggaraan inventarisasi GRK tahun 2018, dilakukan rekalkulasi karena adanya perubahan data aktivitas perubahan tutupan lahan tahun 2012-2018. Pada tahun tersebut juga terdapat perubahan angka rerata pertumbuhan untuk kelas hutan. Asumsi yang digunakan bahwa pada setiap kelas hutan primer dan sekunder tetap memiliki pertumbuhan meskipun kecil. Nilai pertumbuhan pada kelas hutan (hutan lahan kering primer, hutan lahan kering sekunder, hutan mangrove primer, hutan rawa primer, dan hutan rawa sekunder) sebesar 1,075 tC/ha/tahun, sesuai dengan rerata MAI pada IPCC 2006. Sebagai bentuk konsistensi dan kontinuitas pelaporan, pelaporan Inventarisasi GRK tahun 2019 adalah melanjutkan laporan tahun 2018 dan mempergunakan data aktifitas 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
<i>Ponds</i>	<i>OL</i>	0	Bappenas, 2010
<i>Open land</i>	<i>OL</i>	0,1	Bappenas, 2010
<i>Transmigration</i>	<i>CL</i>	1,32	Bappenas, 2010
<i>* Mean Annual Increment</i>			

Stok karbon untuk semua kategori penutupan lahan terutama dari lahan hutan, didapat dari pengukuran pada plot sampling permanen (PSP) dari *National Forest Inventory* (NFI). Untuk itu, data kemudian distratifikasikan kedalam 7 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 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 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	NE	NE	NE	NE
	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	NE	NE	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
<i>Primary Swamp Forest</i>	Bali Nusa Tenggara	NE	NE	NE	NE
	Jawa	NE	NE	NE	NE
	Kalimantan	274,8	269,2	281,9	3
	Maluku	NE	NE	NE	NE
	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
<i>Secondary Swamp Forest</i>	Bali Nusa Tenggara	NE	NE	NE	NE
	Jawa	NE	NE	NE	NE
	Kalimantan	170,5	158,6	182,5	166
	Maluku	NE	NE	NE	NE
	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
<i>Primary Mangrove Forest^{a,b,c}</i>	Kalimantan	263,9	209,0	318,8	8
<i>Secondary Mangrove Forest^{b,c}</i>	Kalimantan dan Sulawesi	201,7	134,5	244,0	12

Keterangan: ^aMurdiyarso *et al.* (2009); ^bKrisnawati *et al.* (2014); ^cDonato *et al.* (2011);
NE = *Not Estimated*

2. 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.

$$L_{LU\ Organic} = \Sigma(A \bullet EF)$$

Dimana $\Delta C_{LU\ organic}$ = Emisi CO₂ dari dekomposisi gambut dari suatu kategori penggunaan lahan di lahan gambut; A = Luas area dari suatu kategori penggunaan lahan; dan 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, 2014) 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).

3. 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, 2014):

$$L_{fire} = A \times MB \times CF \times G_{ef} \times 10^{-3}$$

Dimana 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); dan 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, dimana luasan area terbakar diestimasi berdasarkan data hotspot MODIS, hotspot NOAA, data spasial laporan penanggulangan kebakaran, dan digitasi secara manual visual pada citra landsat 8. Metode ini menghasilkan informasi yang lebih detil, antara lain luas area yang terbakar pada lahan gambut dan mineral, kelas tutupan lahan yang terbakar, wilayah administrasi, maupun fungsi kewasannya. Dengan tersedianya informasi luas yang terbakar pada jenis tanah dan kelas tutupan lahan, maka dapat dilakukan estimasi emisi non- 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, dilakukan proses rekalkulasi penyeragaman metodologi dalam mengestimasi luas kebakaran hutan dan lahan periode 2000 – 2014 dan 2015 – 2020 yang dilaksanakan oleh walidata dan direktorat teknis terkait. Dengan informasi luasan area terbakar terbaru ini, ditindaklanjuti dengan proses rekalkulasi penghitungan emisi dari kebakaran hutan dan lahan.

Untuk kebakaran biomassa (*Biomass Burning*), MB, CF dan G_{ef} nya menggunakan default IPCC (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/m³ (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 CO₂e/Ha**.

F. Metodologi Sektor Limbah

Emisi GRK dari sektor limbah yang disajikan dalam laporan inventarisasi emisi GRK ini menggunakan Tier 2 metode IPCC-2006 pada kategori limbah padat domestik dan Tier-1 IPCC-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-2006. Meskipun menggunakan Tier-1, namun beberapa jenis industri sudah menggunakan parameter yang didapatkan dari industri secara langsung seperti debit air limbah, COD dan tipe pengolahan limbah yang digunakan.

2.2.1 Metodologi Perhitungan Tingkat Emisi GRK Dari Tumpukan Sampah di TPA

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

- **Tier 1:** penghitungan berdasarkan metoda *First Order Decay* (FOD) yang sebagian besar menggunakan angka *default* untuk data aktivitas dan faktor emisi (FE);
- **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;
- **Tier 3:** penghitungan berdasarkan metoda FOD yang didasari data-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;

- 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).^[1]

Penghitungan emisi CH₄ 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 2006 Guideline. Penghitungan emisi CH₄ dengan Tier 2 dan Tier 3 membutuhkan data-data aktivitas dan parameter emisi spesifik negara dan model spreadsheet maupun software yang dimodifikasi.

CH₄ terbentuk akibat terdegradasinya material organik yang terdapat pada sampah pada kondisi anaerobik. Sebagian gas CH₄ yang terbentuk ini akan teroksidasi di permukaan timbunan sampah, diambil (*recovery*) untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi, atau dibakar (*flaring*). Dengan demikian, gas CH₄ yang diemisikan sesungguhnya lebih kecil dibandingkan jumlah yang terbentuk. CH₄ yang diemisikan dari limbah padat domestik yang ditimbun di (landfill) TPA untuk satu tahun dapat diperkirakan, sbb:

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

dimana:

T	=	Tahun inventarisasi
X	=	Tipe atau jenis limbah
R _T	=	CH ₄ yang di <i>recovery</i> untuk dimanfaatkan atau di <i>flare</i> pada tahun T, Ggram
OXT	=	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 DDOCm (massa decomposable degradable organic compound) yaitu massa komponen organik dalam sampah yang terdegradasi dan terdekomposisi, sbb:

$$\text{DDOCm}(T) = W(T) * \text{DOC} * \text{DOCf} * \text{MCF}$$

Dimana:

DDOCm(T)	=	Massa DOC yang tersimpan pada sampah di TPA pada tahun T, Ggram
W(T)	=	Massa limbah padat ditimbun pada tahun T, Ggram
DOC	=	Fraksi degradable karbon organik pada tahun deposisi sampah, Ggram C / Ggram limbah
DOCf	=	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. DDOCm yang terakumulasi dan terdekomposisi di TPA pada akhir tahun T, dihitung dengan:

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

Dimana:

$\text{DDOC}_{\text{ma}(T)}$	=	massa DDOCm terakumulasi di SWDS pada akhir tahun T, Ggram
$\text{DDOC}_{\text{md}(T)}$	=	massa DDOC masuk (deposit) ke (landfill) TPA di tahun T, Ggram
$\text{DDOC}_{\text{ma}(T-1)}$	=	massa DDOCm terakumulasi di SWDS pada akhir tahun T-1, Ggram
K	=	konstanta reaksi, $k = \ln(2)/t_{1/2}$, tahun ⁻¹

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

Dimana:

$\text{DDOC}_{\text{mdcomp}(T)}$ = 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 , sbb:

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

Dimana:

$\text{CH}_4_{\text{generated}(T)}$	=	CH_4 yang terbentuk pada tahun T hasil dekomposisi komponen organik yang tersimpah di dalam sampah (DDOC)
$\text{DDOC}_{\text{mdcomp}(T)}$	=	Massa DDOC yang terdekomposisi pada tahun T, Gg
F	=	Fraksi CH_4 dalam landfill gas (default = 0,5).
16/12	=	Rasio berat molekul CH_4/C (ratio)

2.2.2 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:

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

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

dimana:

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 $\text{N}_2\text{O}/\text{kg}$ 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 CH₄ dan N₂O:

1. Tier-1: EF default IPCC 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*).

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

2.2.2.1 Tingkat Emisi GRK dari Proses Insinerasi/Pembakaran Limbah

Berdasarkan IPCC 2006 *Guidelines*, jenis GRK (dominan) yang diemisikan dalam pembakaran limbah padat domestik (MSW), dengan insinerator dan/atau pembakaran terbuka, adalah CO₂, dengan tingkat emisi sbb:

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

dimana:

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	=	$\sum_j \text{WF}_j$
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, sbb:

$$\text{Emisi CH}_4 = \sum_i (\text{IW}_i * \text{EF}_i) * 10^{-6}$$

Dimana:

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 N_2O juga didasarkan pada input limbah ke insinerator, atau jumlah limbah yang dibakar secara terbuka, dan faktor emisi default, sbb:

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

Dimana:

- Emisi N_2O = Emisi N_2O 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_2O , kg N_2O /Gg limbah.
- i = kategori atau jenis sampah yang di-insinerasi/dibakar terbuka

2.2.2.2 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 2006 dan menggunakan faktor emisi *default*. Perhitungan tingkat emisi GRK insinerasi limbah padat menggunakan persamaan berikut:

$$Emisi CO_2, \text{ Ggram/tahun} = \sum_i (SW_i * dmi * FCF_i * OF_i) * 44/12$$

dimana:

- SW_i = total berat (basah) limbah padat yang dibakar, Ggram/tahun
- dmi = fraksi *dry matter* di dalam limbah (basis berat basah)
- CF_i = fraksi karbon di dalam *dry matter* (kandungan karbon total)
- FCF_i = fraksi karbon fosil di dalam karbon total
- OF_i = faktor oksidasi (fraksi)
- $44/12$ = faktor konversi dari C menjadi CO_2
- i = jenis limbah, yaitu ISW (*industrial solid waste*) yang meliputi limbah B3, *clinical waste*, dan lain-lain (limbah padat domestik tidak diinsinerasi tetapi di *landfill*)

2.2.3 Metodologi Penghitungan Emisi Metana (CH_4) dari Kegiatan Pengolahan/ Pembuangan Limbah Cair

Emisi CH_4 dari Pengolahan dan Pembuangan Limbah Cair Domestik, dihitung dengan menggunakan formula berikut.

$$Emisi CH_4 = \left[\sum_{i,j} (U_i T_{i,j} EF_j) \right] (TOW - S) - R$$

dengan faktor emisi:

$$EF_j = B_o * MCF_j$$

dimana:

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 income <i>i</i> dalam tahun inventori
T _{i,j}	=	derajat pemanfaatan dari saluran atau sistem pengolahan/pembuan, <i>j</i> , untuk tiap fraksi grup pendapatan <i>i</i> dalam tahun inventori.
<i>i</i>	=	grup pendapatan, yang terdiri dari: (a) pedesaan, (b) perkotaan dengan pendapatan tinggi, dan (c) perkotaan pendapatan rendah.
<i>j</i>	=	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
Bo	=	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:

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

dimana:

P	=	populasi dalam tahun inventori
BOD	=	Biological oxygen demand (<i>country specific</i>), 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 un-collected 1.00
MCF _j	=	Faktor koreksi metana, fraksi
Bo	=	Kapasitas produksi maksimum CH ₄ (kg CH ₄ /kg BOD), default kapasitas produksi CH ₄ maksimum limbah cair perkotaan 0.6 kg CH ₄ /kg BOD atau 0.25 kg CH ₄ /kg CO

2.2.4 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:

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

dimana:

Emisi CH ₄	=	CH ₄ yang diemisikan dalam tahun inventori, kg CH ₄ /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 CH ₄ yang dipulihkan (<i>recovered CH₄</i>) pada tahun inventori, kg CH ₄ /tahun
EF _j	=	Faktor emisi per jenis system/saluranpembuangan/pengolahan, kg CH ₄ /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.

$$EF_j = B_o * MCF_j$$

dimana:

EF _j	=	Faktor emisi per jenis system/saluranpembuangan/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:

$$TOW_i = P_i * W_i * COD_i$$

dimana:

P _i	=	Produk industri total untuk sektor industry i, ton/tahun
W _i	=	Jumlah limbah cair yang dihasilkan, m ³ /ton produk
COD _i	=	Chemical oxygen demand (plant specific), kg COD/m ³
i	=	Sektor industri

2.2.5 Metodologi Penghitungan Emisi Nitrous Oxide (N₂O) dari Pengolahan dan Pembuangan Limbah Cair

Emisi nitrous oxide (N₂O) 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, sbb:

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

dimana:

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
E_{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, sbb:

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

dengan:

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 (co-discharged) 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:

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

dengan:

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

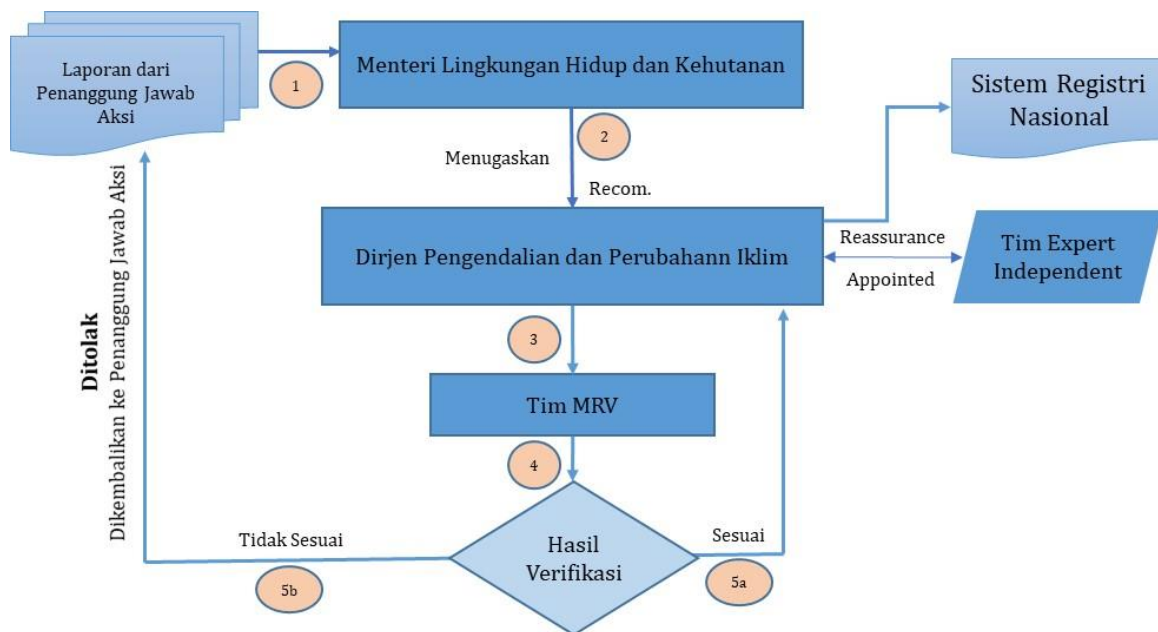
2.2. METODOLOGI PENGHITUNGAN CAPAIAN PENGURANGAN EMISI DAN/ATAU PENINGKATAN SERAPAN GRK

2.2.1. Kelembagaan Verifikasi Capaian Pengurangan Emisi dan/atau Peningkatan Serapan GRK

Sesuai mandat Peraturan Menteri LHK Nomor 72/MenLHK/Setjen/Kum.1/12/2017 tanggal 29 Desember 2017 tentang Pedoman Pelaksanaan Pengukuran, Pelaporan, dan Verifikasi Aksi dan Sumberdaya Pengendalian Perubahan Iklim pada Bab II Pasal 8 ayat (5), Ditjen PPI telah membentuk Tim MRV melalui Surat Keputusan Nomor SK.8/PPI-IGAS/2015 tanggal 16 Oktober 2015 sebagai pelaksana verifikasi capaian pengurangan emisi dan/atau peningkatan serapan GRK. Tim MRV terdiri atas Tim Teknis yang merupakan perwakilan dari unit kerja di Ditjen PPI dan Tenaga Ahli dari Perguruan Tinggi maupun Lembaga Penelitian.

Dalam pelaksanaan verifikasi tersebut, Tim MRV akan melibatkan sektor selaku penanggung jawab aksi dalam wadah *Focus Group Discussion* guna mendapatkan hasil verifikasi yang akurat, transparan dan dapat di pertanggungjawabkan.

Adapun skema MRV Nasional sebagaimana skema berikut:



GAMBAR 3. SKEMA MRV NASIONAL

2.2.2. Metodologi Penghitungan Pengurangan Emisi GRK dan/atau Peningkatan Serapan GRK

A. Metodologi Umum

Dalam melakukan verifikasi atas perhitungan capaian pengurangan emisi dan/atau peningkatan serapan GRK, Tim MRV berpedoman pada Peraturan Dirjen PPI Nomor 9 Tahun 2018 tentang Pedoman Penyusunan Metodologi Penghitungan Pengurangan emisi dan/atau Peningkatan Serapan GRK dalam kerangka Verifikasi Aksi Mitigasi. Pedoman tersebut bertujuan untuk:

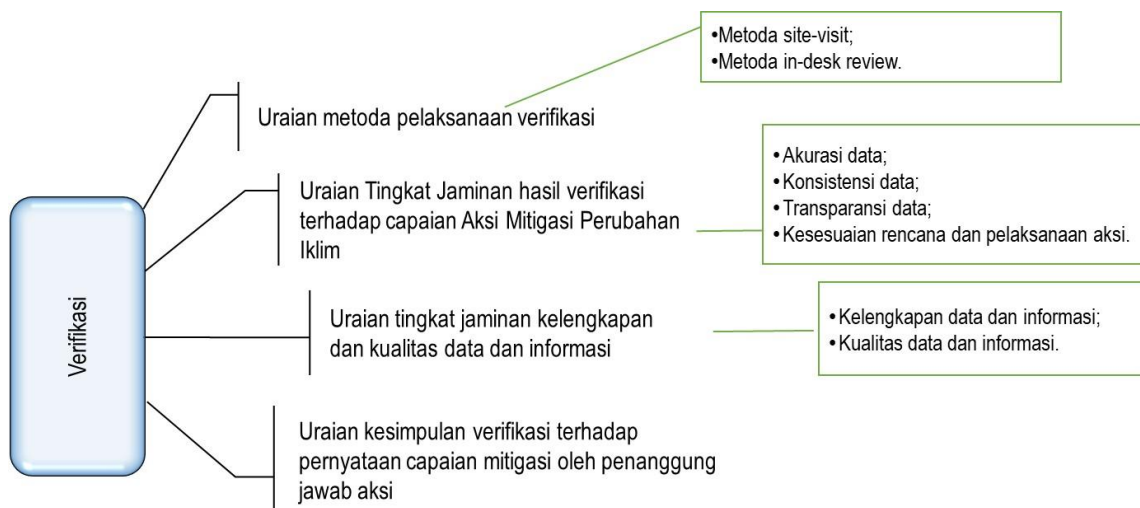
1. Menyediakan rujukan penghitungan capaian pengurangan emisi dan/atau peningkatan serapan GRK di tingkat kegiatan pada sektor energi, transportasi, proses industri dan penggunaan produk (IPPU), Kehutanan, Pertanian, dan Limbah.
2. Menyeragamkan kualitas penghitungan capaian penurunan dan/atau serapan GRK dari aksi mitigasi yang dilakukan oleh masing-masing stakeholder dalam rangka verifikasi dan sertifikasi capaian pengurangan emisi GRK dari implementasi aksi mitigasi.

Pelaksanaan verifikasi atas capaian pengurangan emisi dan/atau peningkatan serapan GRK dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu:

1. Pemetaan data aksi mitigasi yang berkontribusi dalam pengurangan emisi dan/atau peningkatan serapan GRK berdasarkan laporan kinerja aksi mitigasi yang disampaikan oleh sektor selaku penanggung jawab aksi

2. Pengkajian atas dokumen data capaian pengurangan emisi dan/atau peningkatan serapan GRK. Kaji dokumen/*desk review* ini dilakukan dengan melibatkan tenaga ahli sesuai bidang keahliannya. Aspek yang dicermati pada saat *desk review* yaitu:
 - a. Cakupan verifikasi (baseline, data aktivitas, metode pemantauan, kuantitas pengurangan emisi/naiknya serapan emisi, kesesuaian dengan rencana mitigasi, sistem manajerial dan pendanaan)
 - b. Penilaian kelengkapan data (struktur pelaksana aksi mitigasi, ketersediaan SOP, ketersediaan dokumentasi)
 - c. Penilaian konsistensi, transparansi data
 - d. Penilaian akurasi data (penelusuran sumber data aktivitas, sumber data faktor emisi dan paramater pendukung serta metodologi penghitungan pengurangan emisi dan/atau peningkatan serapan GRK).
3. Klarifikasi dengan sektor selaku penanggung jawab aksi guna mendapatkan tanggapan teknis yang signifikan atas hasil desk review.
4. Uji petik dilakukan ke lokasi aksi mitigasi apabila memerlukan klarifikasi data realisasi di lapangan.
5. Hasil klarifikasi dan uji petik ke lokasi aksi mitigasi menjadi bahan rujukan untuk laporan capaian pengurangan emisi dan/atau peningkatan GRK nasional sehingga diperoleh laporan hasil verifikasi yang akurat, konsisten, transparan dan dapat dipertanggungjawabkan.

Secara garis besar, penggambaran proses verifikasi sesuai Peraturan Menteri LHK Nomor 72 Tahun 2017 sebagaimana terlihat pada **Gambar 4** dibawah ini.



GAMBAR 4. PROSES VERIFIKASI

Dalam pelaksanaan metodologi telah dibentuk Tim Panel Metodologi Penurunan Emisi dan/atau Peningkatan Serapan Gas Rumah Kaca melalui Keputusan Direktur Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim Nomor: SK.22/PPI/IGAS/PPI.2/6/2017 tanggal

13 Juni 2017. Tim Panel Metodologi ini akan mengidentifikasi, menghimpun dan mengkaji metodologi yang berkaitan dengan pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK) dan/atau peningkatan serapan karbon dari berbagai inisiatif lokal, individu, instansi atau lembaga dan sektor swasta.

Sebagai hasil rekomendasi Tim Panel Metodologi GRK telah ditetapkan sebanyak 44 (empat puluh empat) metodologi penghitungan pengurangan emisi dan/atau peningkatan serapan GRK dari sektor kehutanan, pertanian, energi (sub sektor transportasi dan sub sektor industri), IPPU dan limbah. Penyusunan metodologi GRK tersebut didasarkan atas ketersediaan data aktivitas dan faktor emisi lokal/nasional, sehingga metodologi tersebut dapat dijadikan acuan dalam penghitungan pengurangan emisi GRK bagi pelaksana aksi sampai dengan tingkat tapak.

Dalam hal tersebut, penanggung jawab aksi telah menyusun metodologi untuk aksi mitigasi yang dilakukan sesuai ketersediaan data aktivitas sebagai berikut:

1. Sektor Energi

Data capaian pengurangan emisi GRK di sektor Energi didasarkan atas data capaian pengurangan emisi GRK dari Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral (KESDM), Kementerian Perhubungan (Kemenhub) dan Kementerian Perindustrian (Kemenperin). Untuk sektor energi, verifikasi dilakukan untuk aksi mitigasi yang berkontribusi dalam pengurangan emisi GRK dari 5 (lima) kategori aksi dan sumber datanya, yaitu:

TABEL 11 KATEGORI AKSI MITIGASI SEKTOR ENERGI DAN SUMER DATANYA

NO	AKSI MITIGASI	SUMBER DATA
I	EFISIENSI ENERGI	
1	Penerapan mandatori manajemen energi untuk pengguna padat energi	Data POME (aplikasi)
2	Peningkatan efisiensi peralatan rumah tangga	
	-Lampu <i>Compact Fluorescent Lamp</i> (CFL)	Data Konservasi
	-Piranti Pengkondisi Udara (<i>Air Conditioning</i>)	Data Konservasi
3	Penggantian (<i>Retrofitting</i>) Lampu LED	Data Infrastruktur
4	Implementasi Joint Crediting Mechanism (JCM) di Indonesia	Data Sekretariat JCM
II	ENERGI BARU DAN TERBARUKAN	
5	Pembangkit Energi Baru Terbarukan	
	- PLTP	Data Panas Bumi
	- PLTMH	
	a. PLTMH off grid	Data Aneka EBT
	b. PLTMH on grid	Data DJK
	- PLTM	
	- PLTS	
	a. PLTS off grid	Data Aneka EBT
	b. PLTS on grid	Data DJK
	- PLTS Rooftop	
	a. PLTS Rooftop (APBN)	Data Aneka EBT
	b. PLTS Rooftop (IPP)	Data Aneka EBT
	- PLTBayu	
	a. PLT Bayu off grid	Data Aneka EBT
	b. PLT Bayu on grid	Data Aneka EBT
	- PLT Hybrid	Data Aneka EBT
	- PLT Biomassa	Data Bioenergi
	- Pembangunan PLTA	Data DJK
6	Lampu Tenaga Surya Hemat Energi (LTSHE)	
	- FotoVoltaik (PV)	Data Aneka EBT
	- Lampu LED	Data Aneka EBT
7	Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya	Data Infrastruktur
8	Pemanfaatan Biogas	Data Bioenergi
9	Pemanfaatan Biodiesel	Data Bioenergi
III	BAHAN BAKAR RENDAH KARBON	
10	<i>Fuel Switching</i> BBM Transportasi (RON 88 ke RON 92)	Pusdatin / Data HEESI
11	Program Konversi Minyak Tanah ke LPG	Pusdatin /Data HEESI
12	Penggunaan Gas Alam sebagai Bahan Bakar Angkutan Umum Perkotaan	Pusdatin / Data HEESI
13	Peningkatan Sambungan Rumah yang Teraliri Gas Bumi melalui Pipa	Pusdatin / Data HEESI
IV	PENGUNAAN TEKNOLOGI PEMBANGKIT BERSIH	
14	Aksi Mitigasi Sektor Ketenagalistrikan	
	- Penggunaan <i>Clean Coal Technology</i> pada PLTU Batubara (<i>Supercritical</i>)	Data DJK
	- Penggunaan <i>Combine Cycle Technology</i> pada PLTGU	Data DJK
	- Pengoperasian Pembangkit Listrik Gas Baru	Data DJK
V	KEGIATAN LAIN	
15	Reklamasi Lahan Pasca Tambang	Data Minerba

Direktorat Konservasi Energi, Ditjen Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE) telah mempublikasi buku metodologi penghitungan capaian pengurangan emisi GRK sebagai acuan penghitungan pengurangan emisi GRK terutama untuk aksi mitigasi yang dilaksanakan oleh Ditjen EBTKE dan DJK. Sedangkan aksi mitigasi yang dilaksanakan oleh unit kerjanya lainnya didasarkan atas metodologi IPPC dengan melihat ketersediaan data di tingkat tapak.

a. **Sub-sektor Energi di Transportasi**

Kementerian Perhubungan selaku penanggung jawab aksi sub sektor energi di transportasi telah melakukan aksi mitigasi dari 4 kelompok aksi yaitu transportasi darat, laut, udara dan perkeretaapian. Untuk metodologi pada aksi mitigasi transportasi darat

khususnya untuk aksi mitigasi pembangunan ATCS/ITS, reformasi sistem transit-BRT pada Petunjuk Teknis Pengukuran, Evaluasi dan Pelaporan (PEP) Pelaksanaan RAD GRK kelompok bidang energi yang diterbitkan Bappenas. Tetapi selanjutnya menggunakan metodologi dengan menggunakan asumsi berdasarkan referensi.

Untuk aksi mitigasi perkereta-apian, Kementerian Perhubungan telah mengembangkan metode tersendiri. Metode tersebut ditetapkan oleh Ditjen Perkereta-apian tahun 2011. Ada kajian yang mendukung perhitungan tersebut. Metodologi di transportasi KA telah disusun atas referensi Anggota Tenaga Tim Panel.

Sedangkan untuk aksi mitigasi di transportasi udara, telah mengacu pada metodologi yang dibangun oleh KESDM yang diacu sesuai dengan aksi mitigasinya

b. Sub-sektor Energi di Industri

Aksi mitigasi yang dilakukan pada sub sektor energi di Industri yaitu Efisiensi Energi melalui Pemanfaatan Bahan Bakar Alternatif di Industri Semen dengan menggunakan metodologi penghitungan emisi GRK yang dibangun oleh Kemenperin dimana untuk pengkategorian data aktivitas serta faktor emisi yang digunakan mengacu pada *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) CSI Protokol CO₂ and Energy* versi 3 yang kompatibel dengan IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories yang telah diakui di tingkat nasional maupun internasional (UNFCCC) dan telah disepakati oleh Tim Panel Metodologi GRK.

2. Sektor IPPU

Aksi mitigasi yang dilakukan pada sektor *Industrial Processes and Product Use (IPPU)* yang dilakukan oleh Kemenperin yaitu Penurunan Ratio Clinker pada Industri Semen dengan menggunakan metodologi penghitungan pengurangan emisi GRK sesuai Petunjuk Teknis Perhitungan dan Pelaporan emisi CO₂ di industri semen, yang mengacu pada *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) CSI Protokol CO₂ and Energy* versi 3 yang kompatibel dengan IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories yang telah diakui di tingkat nasional maupun internasional (UNFCCC) dan telah disepakati oleh Tim Panel Metodologi GRK.

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 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

Verifikasi sektor kehutanan dilakukan terhadap aksi/kegiatan mitigasi pengurangan emisi GRK dan/atau peningkatan serapan GRK yang dilakukan oleh Penanggung Jawab Aksi (Ditjen teknis lingkup KLHK) yang dilaporkan melalui unit pelaksana pemantauan aksi mitigasi (Subdit Pemantauan Aksi Mitigasi Berbasis Lahan, Direktorat Mitigasi Perubahan Iklim, Ditjen PPI). Aksi/kegiatan mitigasi yang diverifikasi meliputi kegiatan: (1) penurunan deforestasi, (2) penurunan degradasi hutan, (3) rehabilitasi hutan dan lahan, (4) pengurangan emisi dekomposisi gambut (*peat decomposition*), dan (5) pengendalian kebakaran gambut (*peat fire*). Perhitungan capaian pengurangan emisi dan/atau serapan GRK sektor kehutanan mengacu pada metode IPCC 2006 melalui pendekatan penghitungan emisi baseline (emisi sebelum dilakukan aksi/kegiatan mitigasi) dikurangi dengan emisi aktualnya (emisi setelah dilakukan aksi/kegiatan mitigasi).

5. Sektor Limbah

Perhitungan terhadap pengurangan emisi GRK sektor limbah mengacu pada metode IPCC 2006, dengan pendekatan sebagai berikut:

- a. Penentuan baseline, adalah kondisi pada saat sebelum dilaksanakan mitigasi (*business as usual*). Kondisi tanpa mitigasi pada pengelolaan limbah adalah pada saat gas rumah kaca (karbondioksida, metan dan dinitro-oksida) dihasilkan dari limbah, dan tidak dilakukan pemanfaatan GRK tersebut atau tidak dilakukan pencegahan lepasnya GRK ke atmosfer.
- b. Aktivitas aksi mitigasi pada bidang pengelolaan limbah dibagi ke dalam 2 kelompok, yaitu: aksi mitigasi yang bersifat mencegah pembentukan methan, dan aksi mitigasi yang mengurangi emisi GRK yang ditimbulkan.
- c. Aksi mitigasi yang diukur bersumber dari 4 (empat) sub-sektor pengolahan limbah: limbah padat domestik (di TPA), limbah cair domestik, limbah padat industri dan limbah cair industri.

B. Metodologi Sektoral

1. Metodologi Sektor Energi

Secara detail metodologi penghitungan untuk setiap aksi mitigasi di sektor energi yaitu:

- a. 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 2021 jumlah perusahaan padat energi (konsumsi

energi diatas 6000 TOE) yang telah melapor sebanyak 114 perusahaan. Penginputan data ke POME dilakukan oleh manajer energi yang tersertifikasi. Jumlah ini menurun dari tahun sebelumnya karena perusahaan yang sudah tidak masuk dalam kategori perusahaan padat energi.

Metodologi penghitungan pengurangan emisi GRK didapat dari penghematan penggunaan energi yang merupakan emiter GRK per tahun (kWh) x faktor emisi grid (kg CO₂/kWh) dan penghitungannya secara otomatis oleh sistem POME.

b. Peningkatan Efisiensi Peralatan Rumah Tangga

Untuk metodologi penghitungan pengurangan emisi GRK pada aksi mitigasi yang masuk dalam efisiensi peralatan rumah tangga, KESDM mengacu pada IPPC-GL 2006 dengan memperhatikan *Clean Development Mechanism* (CDM) methodology. Aksi mitigasi untuk efisiensi peralatan rumah tangga ini terdiri atas Pemanfaatan Lampu Swaballast (CFL) dan pengkondisi udara (AC) Hemat Energi.

Metodologi untuk Lampu Swaballast (CFL) menggunakan referensi CDM – AMS.II.J versi 04 dan metodologi untuk pengkondisi udara (AC) menggunakan referensi CDM – AM-0120 versi 01 dan AMS.II.J versi 04 dengan memperhatikan Permen ESDM nomor 57 tahun 2017 tentang Penerapan Standar Kinerja Energi Minimum dan Pencantuman Label Tanda Hemat Energi untuk Peralatan Pengkondisi Udara.

c. Penyediaan dan Pengelolaan Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi

Dilakukan melalui pembangunan PLTMH (Mikrohidro), PLTM (Minihidro), PLTS (Surya), PLT Hybrid dan PLT Biomassa melalui penyediaan oleh Kementerian ESDM serta pembangunan PLTP oleh swasta.

Metodologi penghitungan pengurangan emisi GRK dengan memperhatikan unit pembangkit, konsumsi bahan bakar dan factor emisi jaringan listrik apabila terhubung dengan PLN (on-grid).

d. 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.

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

Penghitungan pengurangan emisi GRK didapat dari:

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

f. Pemanfaatan Biodiesel

Dilaksanakan melalui implementasi mandatori pemanfaatan biodiesel oleh Pertamina (sumber: DJEBTKE).

Pengurangan emisi GRK dari pemanfaatan Biodiesel, dalam pelaporan tidak bisa diakumulasi 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).

g. 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.

h. Ketenagalistrikan

Meliputi Pembangunan PLTA, Penggunaan Clean Coal Technology pada PLTU Batubara (Supercritical), Penggunaan Combine Cycle Technology pada PLTGU dan Pengoperasian Pembangkit Listrik Gas Baru.

Metodologi penghitungan yaitu:

Pembangunan PLTA : produksi listrik tahunan x faktor emisi pembangkitan pada lokasi

PLTU CCT : penghematan batubara x faktor emisi batubara x NCV (nilai kalor batubara)

i. Program Konversi Minyak Tanah ke LPG

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

Metodologi penghitungan didapatkan melalui:

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

j. Pembangunan Penerangan Jalan Umum Cerdas (PJU Cerdas)

Merupakan program Ditjen EBTKE KESDM yang dilaksanakan di beberapa provinsi termasuk di pesantren

Metodologi penghitungan didapatkan melalui:

- Mitigasi : selisih produksi x faktor emisi listrik
- Selisih produksi listrik : jumlah unit x (daya lampu terpasang baru-daya lampu terpasang lama) x lama pemakaian setahun x losses

1) **Sub Sektor 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

c. Efisiensi Manajemen Operasional Pelabuhan (Pemanfaatan Shore Connecting)

Metode perhitungan pengurangan emisi GRK:

$$RE_y = BE_y [(Total \text{ konsumsi BBM} \times Faktor \text{ Emisi BBM}] - PE_y [(Total \text{ pembelian listrik dalam setahun pada tahun } y \times Faktor \text{ Emisi Listrik}) / (1 - Losses \text{ transmisi dan distribusi listrik dalam setahun pada tahun } y) \times 100] - LE_y (Leakage \text{ emisi pada tahun } y)$$

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:

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

dimana:

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 = Penurunan emisi akibat hemat waktu perjalanan OD pada tahun y (ton CO₂)

LE_y = Leakage emisi pada tahun y (ton CO₂)

2) Sub Sektor 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:

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

Dimana 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:

$$Ea = Ik \times Pk$$

Dimana 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:

$$PE = Eb - Ea$$

Dimana PE = Penurunan Emisi; Eb = Emisi baseline; Ea = Emisi actual

2. Metodologi Sektor IPPU

Metodologi penghitungan pengurangan emisi GRK untuk sektor IPPU dengan memperhatikan:

- a) Data Aktivitas didapat dari Produksi Cementitius dalam Ton
- b) Faktor Emisi yang digunakan yaitu *Emission Intensity Calcination*
- c) Perhitungan baseline per aksi per tahun dilakukan dengan cara memperhatikan nilai *Emission Intensity Calcination*(ton CO₂/TJ), dengan persamaan sebagai berikut:

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

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

- d) 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:

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

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

- e) Perhitungan Pengurangan emisi GRK dilakukan dengan:

$$PE = Eb - Ea$$

Dimana PE = Penurunan emisi (ton CO₂)

3. Metodologi Sektor Pertanian

Metoda Penghitungan upaya mitigasi terverifikasi Sektor Pertanian tahun 2019 menggunakan pedoman sesuai buku Metode Perhitungan Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Pertanian oleh Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian Tahun 2020 Nomor ISBN: 978-602-1327-17-3.

Metoda perhitungan pengurangan emisi 7 (tujuh) aksi mitigasi Sektor Pertanian Tahun 2019 adalah sebagai berikut:

1. Mitigasi emisi CH₄ melalui pemanfaatan biogas kotoran ternak (BATAMAS)

Data aktivitas yang digunakan adalah data pembuatan biogas yang didanai oleh APBN. Pada tahun 2019, pembuatan biogas dengan sumber dana dari APBN adalah

berjumlah 2 buah (sumber Ditjen Peternakan dan Kesehatan Hewan). Oleh karena BATAMAS merupakan bangunan yang bisa digunakan dalam jangka waktu tertentu maka penulis menggunakan expert judgement (yang merupakan kesepakatan bersama) bahwa setengah dari BATAMAS ini masih bertahan pada tahun berikutnya. Dengan asumsi tersebut, jumlah Batamas pada tahun 2019 adalah 62 yang terdiri dari 50% BATAMAS tahun 2018 ditambah 2 buah pembangunan BATAMAS pada tahun 2019. Populasi sapi yang terlibat dalam program Batamas adalah sesuai dengan pedum yang dikeluarkan oleh Ditjen PKH yaitu 75 ekor per unit BATAMAS.

Persamaan yang digunakan:

$$\text{Pengurangan emisi} = \text{Methane avoidance aksi Batamas} + \text{substitusi energi}$$

Methane avoidance aksi Batamas = Jumlah pengadaan biodigester x jumlah sapi yang terlibat dalam pengadaan biogas x volume gas dari kotoran sapi per hari dalam biodigester x tekanan biodigester x 365 hari x konversi CH_4 ke CO_2e

Substitusi energi = substitusi ke LPG + substitusi ke minyak tanah.

Asumsi yang digunakan dalam perhitungan bahwa biogas yang dihasilkan 90%-nya digunakan untuk substitusi LPG dan 10%-nya digunakan untuk substitusi minyak tanah (emisi LPG dan minyak tanah digantikan oleh biogas)

➤ Emisi LPG (digantikan oleh biogas)

$$\text{Energi LPG (ton CO}_2\text{)} = \text{volume biogas (m}^3\text{/thn)} \times \% \text{ penggunaan LPG} \times 0,46 \times \text{heating value LPG (GJ/kg)} \times 10^{-3} \times \text{faktor emisi LPG (ton CO}_2\text{/TJ)}$$

dimana:

1 m^3 CH_4 dari digester pada tekanan 3 atm dapat menggantikan 0,46 kg LPG

Heating value (HV) LPG = 0,052 GJ/ m^3 (pada tekanan 3 atm)

Faktor emisi (FE) LPG = 63,1 ton CO_2 /TJ (IPCC, 2006)

- Emisi Kerosene (minyak tanah) (digantikan oleh biogas)

Energi Minyak tanah (ton CO₂) = volume biogas (m³/thn) x % penggunaan minyak tanah x 0,62 x heating value minyak tanah (GJ/liter) x 10⁻³ x faktor emisi tanah (ton CO₂/TJ).

dimana:

1 m³ CH₄ dari digester pada tekanan 3 atm dapat menggantikan 0,62 Liter minyak tanah

HV minyak tanah = 0,0362 GJ/liter

FE minyak tanah = 71,9 ton CO₂/TJ (IPCC, 2006)

2. Peningkatan cadangan karbon tanah melalui penggunaan pupuk organik sebagai dampak penggunaan UPPO dan pengelolaan bahan organik

Data aktivitas program UPPO ataupun alat pengolah pupuk organik (APPO) pada tahun 2019 yang diperoleh dari Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan (Ditjen PKH) tertera pada. Data jumlah pupuk organik bersubsidi diperoleh dari Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia (APPI) dan data jumlah Desa Organik diperoleh dari Biro Perencanaan Kementan.

Perhitungan emisi GRK mengikuti panduan dalam buku IPCC (2006, 2019 refinement). Rumus-rumus yang digunakan untuk menghitung baseline Program UPPO adalah sebagai berikut:

$$\text{CH}_4 \text{ Manure} = N_{(T)} * EF_{(T)} * 10^{-6} \quad (\text{Persamaan 10.22 IPCC, 2006})$$

$$\text{Direct N}_2\text{O}_{(mm)} = NE_{MMS} * EF_{3(S)} * 44/28 \quad (\text{Persamaan 10.25 IPCC, 2006})$$

$$\text{Indirect N}_2\text{O}_{(mm)} = NE_{\text{volatilization-MMS}} * EF_4 * 44/28 \quad (\text{Persamaan 10.27 IPCC, 2006})$$

Keterangan:

$N_{(T)}$ = Populasi berdasarkan jenis ternak T [ekor]

NE_{MMS} = total N yang diekskresikan [kg N thn⁻¹]

NE = Nitrogen excretion (ekskresi nitrogen)

MMS = Manure management system (sistem pengelolaan kotoran)

$EF_{3(s)}$ = Faktor emisi untuk N₂O-N secara langsung dari sistem pengelolaan kotoran

$NE_{\text{volatilization-MMS}}$ = Jumlah N yang hilang karena volatilisasi menjadi NH₃ dan NO_x (kg N thn⁻¹)

EF_4 = Faktor emisi N_2O dari deposisi atmosferik N pada tanah dan permukaan air.

Rumus perhitungannya adalah sebagai berikut:

Emisi Baseline = emisi CH_4 dari pengelolaan kotoran + emisi langsung N_2O dari pengelolaan kotoran + emisi tidak langsung N_2O dari pengelolaan kotoran

Emisi Aksi Mitigasi = emisi CH_4 dari pengelolaan kotoran + emisi langsung N_2O dari pengelolaan kotoran + emisi tidak langsung N_2O dari pengelolaan kotoran sapi yang tidak terlibat dalam aksi UPPO.

Pengurangan emisi = (emisi baseline – emisi aksi mitigasi) + sekuestrasi karbon dari pupuk organik

Sekuestrasi karbon dari pupuk organik = jumlah pengadaan UPPO x jumlah sapi yang terlibat x berat kohe dan jerami (pupuk kandang) ($ton\ thn^{-1}$) x kandungan C pupuk kandang ($ton\ thn^{-1}$) x C yang tertinggal di tanah x 44/12

Asumsi yang digunakan adalah:

- Jumlah sapi yang terlibat dalam 1 unit UPPO adalah 10 ekor (Ditjen Tanaman Pangan, 2018)
- Rata-rata kadar air pupuk organik 20%
- Rata-rata kandungan C dalam kompos pupuk kandang 39,3% (Hartatik dan Widowati, 2006)
- Peningkatan kandungan C tanah dengan pemberian pupuk kandang adalah sekitar 12% dalam 18 tahun atau 0,67% per tahun dari C yang dikandung oleh pupuk kandang (Mailard dan Angers, 2014).

3. Desa Organik

Perhitungan emisi GRK mengikuti panduan dalam buku IPCC (2006, 2019 refinement). Rumus-rumus yang digunakan untuk menghitung baseline program Desa Organik adalah sebagai berikut:

CH_4 Manure = $N_{(T)} * EF_{(T)} * 10^{-6}$ (Persamaan 10.22 IPCC, 2006)

Direct $N_2O_{(mm)}$ = $NE_{MMS} * EF_{3(s)} * 44/28$ (Persamaan 10.25 IPCC, 2006)

Indirect $N_2O_{(mm)}$ = $NE_{volatilization-MMS} * EF_4 * 44/28$ (Persamaan 10.27 IPCC, 2006)

Keterangan:

$N_{(T)}$ = Populasi berdasarkan jenis ternak T [ekor]

NE_{MMS} = total N yang diekskresikan [$kg\ N\ thn^{-1}$]

NE = Nitrogen excretion (ekskresi nitrogen)

MMS = Manure management system (sistem pengelolaan kotoran)

$EF_{3(s)}$ = Faktor emisi untuk N_2O-N secara langsung dari sistem pengelolaan kotoran

$NE_{volatilization-MMS}$ = Jumlah N yang hilang karena volatilisasi menjadi NH_3 dan NO_x ($kg\ N\ thn^{-1}$)

EF_4 = Faktor emisi N_2O dari deposisi atmosferik N pada tanah dan permukaan air.

Rumus perhitungannya adalah sebagai berikut:

Emisi Baseline = emisi CH₄ dari pengelolaan kotoran + emisi langsung N₂O dari pengelolaan kotoran + emisi tidak langsung N₂O dari pengelolaan kotoran

Emisi Aksi Mitigasi = emisi CH₄ dari pengelolaan kotoran + emisi langsung N₂O dari pengelolaan kotoran + emisi tidak langsung N₂O dari pengelolaan kotoran sapi yang tidak terlibat dalam aksi Desa Organik.

Pengurangan emisi = (emisi baseline – emisi aksi mitigasi) + sekuestrasi karbon dari pupuk organik

Sekuestrasi karbon dari pupuk organik = jumlah pengadaan Desa Organik x jumlah sapi yang terlibat x berat kohe dan jerami (pupuk kandang) (ton thn⁻¹) x kandungan C pupuk kandang (ton thn⁻¹) x C yang tertinggal di tanah x 44/12

Asumsi yang digunakan adalah:

- Jumlah sapi yang terlibat dalam 1 unit Desa Organik adalah 6 ekor (Ditjen Tanaman Pangan, 2015)
- Rata-rata kadar air pupuk organik 20%
- Rata-rata kandungan C dalam kompos pupuk kandang 39,3% (Hartatik dan Widowati, 2006)
- Peningkatan kandungan C tanah dengan pemberian pupuk kandang adalah sekitar 12% dalam 18 tahun atau 0,67% per tahun dari C yang dikandung oleh pupuk kandang (Mailard dan Angers, 2014).

4. Penerapan Teknologi Budidaya Tanaman melalui Penanaman Padi Varietas Rendah Emisi

Data aktivitas yang digunakan dalam perhitungan mitigasi GRK dari lahan sawah adalah (1) Luas panen padi, (2) Luas lahan sawah irigasi dan non irigasi dan (3) Sebaran varietas.

Metodologi perhitungan yang digunakan untuk menghitung emisi CH₄ dari budidaya padi sawah 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 dan 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.

Faktor emisi CH₄ harian sebesar 1,61 kg CH₄/ha/hari dengan asumsi tidak digenangi selama 180 hari sebelum tanam, dan penggenangan padi selama musim tanam padi tanpa penambahan bahan organik.

Terdapat dua langkah dalam menghitung emisi aksi mitigasi gas rumah kaca dari lahan sawah:

Langkah 1

Menghitung emisi CH₄ sebelum aksi mitigasi (baseline) dengan rumus:

$$\text{CH}_4 \text{ padi} = \sum_{i,j,k} (\text{FE}_{i,j,k} \times t_{i,j,k} \times A_{i,j,k} \times 10^{-6}) \quad (\text{Persamaan 5.1 IPCC 2019})$$

Menggunakan data luas panen padi dengan irigasi terus-menerus dan tanpa pengembalian bahan organik

Langkah 2

Emisi setelah adanya aksi mitigasi dari lahan sawah.

Perhitungan sama dengan langkah 1 tetapi menggunakan data sebaran varietas varietas padi unggul yang rendah emisi.

Maka perhitungan Pengurangan emisi:

Pengurangan emisi = Langkah 1 – Langkah 2

Konversi satuan dari CH₄ ke CO₂ adalah 21 (sesuai angka *global warming potential*, GWP, yang digunakan oleh sektor lainnya).

5. Perbaikan Kualitas Pakan Sapi Perah

Data populasi ternak bersumber dari Statistik Peternakan, Ditjen PKH (2019), sedangkan persentase kelompok umur menggunakan persentase kelompok umur ternak Ditjen Peternakan dan Kesehatan Hewan tahun 2017. Faktor emisi menggunakan faktor emisi *Tier 2* untuk emisi fermentasi enterik menurut jenis dan kelompok ternak.

Metode estimasi emisi metana dari subsektor peternakan dilakukan menggunakan beberapa metode estimasi yang disarankan oleh IPCC (2006). Metode tersebut membutuhkan definisi dan kategori/subkategori jenis ternak, data populasi, konsumsi pakan dan karakteristiknya menggunakan metode *Tier* yang berjenjang (*Tier 1*, *Tier 2* dan *Tier 3*). Metode yang digunakan dalam perhitungan inventarisasi dan mitigasi Indonesia menggunakan *Tier 2*, yaitu perhitungan yang menggunakan faktor emisi yang sesuai dengan kondisi Indonesia dan telah dibedakan menurut jenis dan kelompok umur ternak.

Perhitungan estimasi emisi CH₄ enterik (baseline) menggunakan *Tier 2* mengacu pada rumus IPCC (2006), yaitu:

Emisi CH₄ enterik = FE_(T) x (N_(T))

Emisi CH₄ enterik : Emisi CH₄ dari fermentasi enterik (kg CH₄ /tahun)

FE_(T) : Faktor emisi untuk *Tier 2* digunakan faktor emisi lokal Indonesia untuk setiap jenis ternak dan kelompok umurnya (kg CH₄/ekor/tahun)

N_(T) : Populasi berdasarkan jenis ternak T (ekor)

Perhitungan emisi mitigasi melalui pemberian pakan suplemen berupa tanaman leguminosa atau konsentrat dihitung dengan persamaan:

Emisi CH₄ Mitigasi = FE_(T) x (N_(TP)) x (1-Faktor Koreksi) [Persamaan 3.2.]

Emisi CH₄ Mitigasi : Emisi CH₄ dari fermentasi enterik setelah aksi mitigasi (kg CH₄/tahun)

N_(TP) : Populasi berdasarkan jenis ternak T yang diberi Pakan suplemen perlakuan pakan (ekor)

Faktor koreksi : Faktor koreksi (faktor pengurangan emisi) untuk ternak yang mengkonsumsi hijauan pakan yang dicampur tanaman leguminosa adalah 0,045, dan faktor koreksi untuk pemanfaatan konsentrat adalah 0,035

Perhitungan capaian pengurangan emisi setelah aksi mitigasi dihitung dengan persamaan:

$$PE = (\text{Emisi baseline} - \text{Emisi mitigasi}) \times 21$$

PE = pengurangan emisi dari perbaikan kualitas pakan, dari perbaikan kualitas hijauan pakan dan/atau pemberian konsentrat (kg CO₂e)

21 = Global Warming Potential (GWP) CH₄ terhadap CO₂

6. Pemupukan Berimbang

Data aktivitas untuk perhitungan mitigasi emisi N₂O melalui pemupukan berimbang yaitu data luas panen padi yang diterbitkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) Nasional. Meski demikian, data panen yang disajikan oleh Badan Pusat Statistik merupakan data yang didukung dan disediakan oleh Direktorat Jenderal teknis di Kementerian Pertanian atau juga dapat bersumber dari Pemerintah Daerah melalui Dinas Pertanian yang datanya dapat dipertanggungjawabkan.

Persamaan yang digunakan:

Langkah 1

Menghitung Emisi dan efisiensi pemupukan berimbang (CO₂e) =

emisi N_{N₂O} secara langsung dari tanah yang diolah + emisi N_{N₂O} tidak langsung dari tanah yang diolah + emisi CO₂ dari fertilisasi urea

Efisiensi N-N₂O direct =

Luas lahan panen padi sawah x 50% x konversi pupuk N x ambang tertinggi pemupukan dan efisiensi dalam pemberian pemupukan N pada lahan sawah x Faktor Emisi x 310 (CO₂e)

Efisiensi N-N₂O indirect =

Luas lahan panen padi sawah x 50% x konversi pupuk N x ambang tertinggi dan efisiensi dalam pemberian pemupukan N pada lahan sawah x Faktor Emisi x 310 (CO₂e)

Efisiensi N-urea =

Luas lahan panen padi sawah x 50% x Jumlah Urea yang diberikan/ha x Faktor Emisi x 44/12 (CO₂e)

Langkah 2

Menghitung Nilai pengurangan emisi (CO₂e) = Emisi BAU – Emisi aksi mitigasi

7. Pengelolaan muka air tanah (MAT) lahan gambut

Data aktivitas yang digunakan untuk menghitung pengurangan emisi adalah luas lahan gambut yang direstorasi selama tahun 2019 melalui pembangunan sekat kanal yang berasal dari Badan Restorasi Gambut (BRG).

Faktor emisi yang digunakan adalah perbedaan factor jumlah emisi sebagai fungsi linear dari perubahan kedalaman muka air tanah menggunakan persamaan yang diturunkan dari Wakhid et al. (2017).

$$Y = -0,723x - 4,25$$

dimana:

Y = jumlah emisi CO₂ (t/(Ha/Tahun))

X = muka air tanah (cm) relative terhadap permukaan tanah

Berdasarkan persamaan di atas, setiap penurunan atau kenaikan muka air tanah 1 cm, terjadi emisi/mitigasi sebesar 0,723 t/Ha/th (Wakhid, et al. 2017).

Emisi dari aksi pengaturan tinggi muka air tanah di lahan gambut dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Em = (MA_{awal} - MA_{akhir}) \times A \times FE$$

dimana:

- E_m = Emisi mitigasi (t CO₂/ha/th)
 MA_{awal} = rata-rata muka air tanah sebelum dibangun sekat kanal
 MA_{akhir} = rata-rata muka air tanah setelah dibangun sekat kanal
 A = luas lahan yang muka air tanahnya dipengaruhi oleh pembangunan sekat kanal
 FE = Faktor emisi yaitu: 0,723 t CO₂/ha/th untuk setiap perubahan 1 cm muka air tanah.

4. Metodologi Sektor Kehutanan

Metodologi perhitungan emisi GRK untuk 5 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 penurunan 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 penurunan 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. Metodologi Sektor Limbah

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

- a. 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).
- b. 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 detil, berikut diuraikan metodologi penghitungan pengurangan emisi GRK untuk proses verifikasi pada aksi mitigasi tiap sub sektor limbah:

(i) Sub sektor limbah padat domestik

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

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.

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 baseline – emisi setelah mitigasi

Emisi baseline:

Berat sampah masuk TPA x komposisi sampah di TPA x *dry matter content* x parameter *default* IPCC

Emisi setelah mitigasi:

Kelompok aksi pengurangan emisi GRK :

[Berat sampah masuk TPA x komposisi sampah di TPA x *dry matter content* x parameter *default* IPCC] - volume LFG yang dimanfaatkan

Kelompok aksi *methane avoidance*:

- a. 3R (kertas);
Berat sampah kertas yang didaur ulang x komposisi sampah kertas di TPA x *dry matter content* kertas x parameter *default* IPCC
 - b. Komposting;
Emisi GRK dari proses komposting + [Berat sampah organik yang dikomposkan x komposisi sampah organik di TPA x *dry matter content* sampah organik x parameter *default* IPCC 2006]
Catatan: sampah organik terdiri dari sisa makanan dan sampah taman
 - c. PLTSA
Penurunan 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* x % CH₄) + (LFG di meter ukur *flaring* x % CH₄) + (produksi listrik netto x EF listrik grid)
Catatan: sampah organik terdiri dari sisa makanan dan sampah taman
 - d. RDF
Project emission = insinerasi sampah + pemakaian listrik sendiri + PS impor (grid) + fuel untuk genset.
Emisi mitigasi = BAU (*unmanaged deep* + konsumsi listrik impor) – [(produksi listrik netto x EF listrik grid) - *project emission*]
- (ii) Sub sektor 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
- 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
 - Pemanfaatan limbah padat industri (*biomass solid waste*) sebagai bahan bakar alternative
 - Pemanfaatan lumpur sebagai kompos
- (iii) Sub sektor limbah cair domestik
- Baseline sektor: Emisi GRK dari pengelolaan limbah cair domestik dalam satuan ton CO₂e di tahun berjalan sampai dengan 2030
- 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
- 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 CH₄ 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 CH₄ yang dimanfaatkan + [Jumlah penduduk x konsumsi protein per kapita x parameter default IPCC 2006 x faktor emisi]

Asumsi:

Untuk penduduk pedesaan penggunaan tangki septic 52% dan non tangki septic 48%; Untuk penduduk perkotaan penggunaan tangki septic 79% dan non tangki septic 21%.

(iv) Sub sektor limbah cair industri

Baseline kegiatan: Emisi GRK dari pengelolaan limbah cair industri dalam satuan ton CO₂e di tahun berjalan sampai dengan 2030.

Data aktivitas baseline: Total Produksi (ton/tahun), Nilai COD INLET & Outlet (mg/l), Debit air limbah (liter/hari)

Data aktivitas mitigasi: Biodigester POME untuk pembangkit listrik maupun suplai panas industri dengan kapasitas ekivalen = ... MWe

Sludge yang dimanfaatkan (ton/tahun) untuk: i) kompos, ii) bahan bakar di boiler, iii) bahan baku

Emisi baseline – emisi setelah mitigasi

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)

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 III

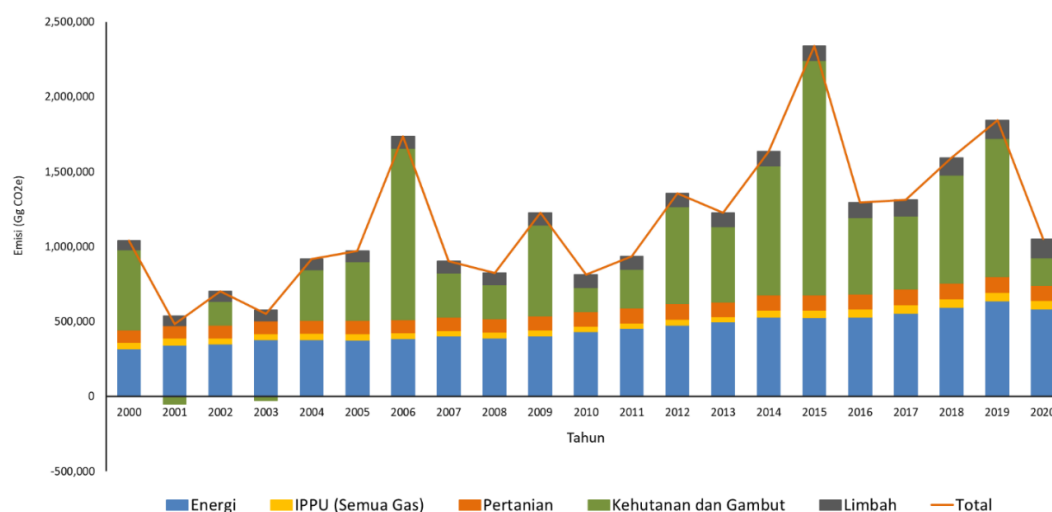
HASIL INVENTARISASI GRK NASIONAL

3.1. PROFIL EMISI GRK NASIONAL

Hasil perhitungan inventarisasi GRK nasional menunjukkan tingkat emisi GRK di tahun 2020 adalah **1.050.413 Gg CO₂e**, meningkat sebesar 10.796 Gg CO₂e dibanding tingkat emisi tahun 2000 sebagai awal inventarisasi GRK dilakukan dan meningkat sebesar 235.769 Gg CO₂e dibanding tingkat emisi tahun 2010 sebagai tahun dasar perhitungan emisi GRK pada NDC. Untuk emisi GRK pada tahun 2020 masing-masing kategori/sektor, adalah sebagai berikut:

1. Energi, sebesar 584.284 Gg CO₂e
2. Proses Industri dan Penggunaan Produk, sebesar 57.194 Gg CO₂e
3. Pertanian, sebesar 98.703 Gg CO₂e
4. Kehutanan dan Kebakaran Gambut, sebesar 183.435 Gg CO₂e
5. Limbah, sebesar 126.797 Gg CO₂e

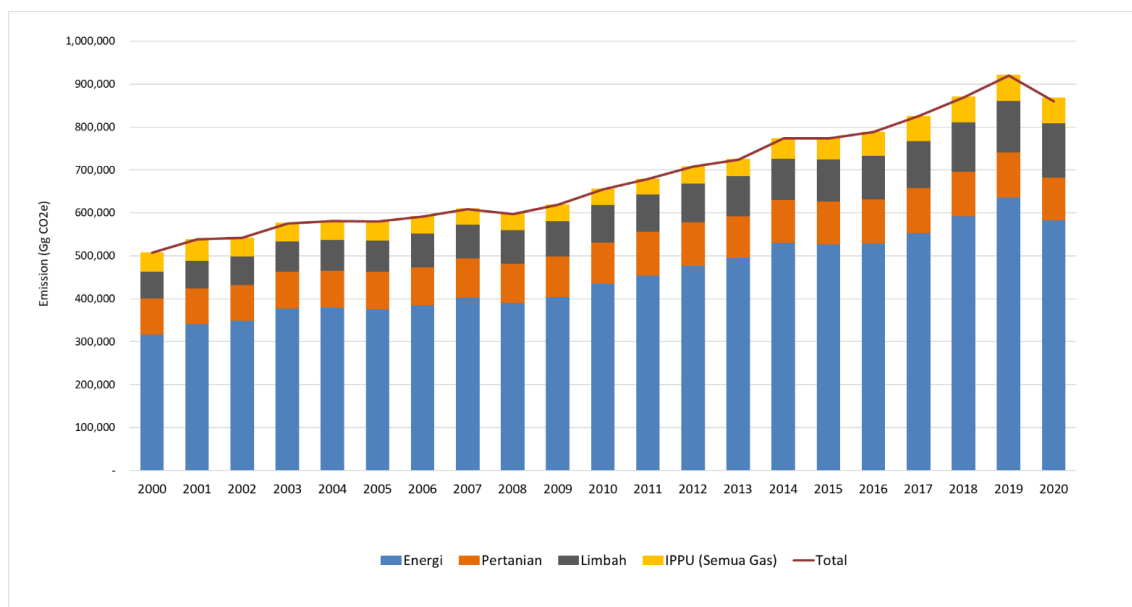
Profil emisi GRK selama periode 2000-2020 secara lebih lengkap digambarkan pada grafik pada **Gambar 5** di bawah ini.



GAMBAR 5. PROFIL EMISI GRK NASIONAL TAHUN 2000-2020

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa selama kurun waktu 2000-2020, 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 1.565.579 Gg CO₂e dari total emisi pada tahun tersebut sebesar 2.339.650 Gg CO₂e. Sedangkan pada tahun 2020, emisi dari FOLU dan

kebakaran gambut dapat ditekan menjadi 183.435 Gg CO₂e. Sedangkan emisi pada sektor lainnya pada tahun 2019 dan 2020 mengalami perubahan (peningkatan/penurunan) yang delta-nya tidak terlalu besar terhadap total emisi pada tahun dimaksud, sebagaimana tergambar pada grafik di bawah ini.



GAMBAR 6. PROFIL EMISI GRK NASIONAL TAHUN 2000-2020 (TANPA KEHUTANAN DAN KEBAKARAN GAMBUT)

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

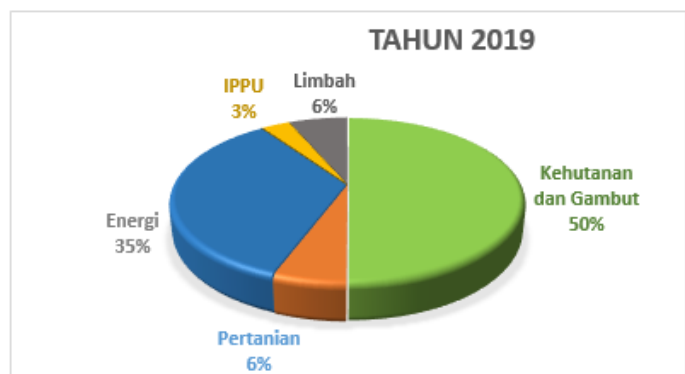
TABEL 12 EMISI GRK NASIONAL TAHUN 2000-2020

Tahun	Energi (Gg CO ₂ e)	IPPU (Gg CO ₂ e)	Pertanian (Gg CO ₂ e)	FOLU (Gg CO ₂ e)	Peat Fire (Gg CO ₂ e)	Limbah (Gg CO ₂ e)	Total (Gg CO ₂ e)
2000	317.609	42.920	84.537	502.564	29.796	62.191	1.039.617
2001	341.919	48.314	82.786	-144.329	91.099	64.857	484.647
2002	349.485	41.711	83.269	-119.030	278.983	67.415	701.833
2003	378.050	41.454	86.166	-120.433	95.689	70.155	551.081
2004	380.434	43.202	85.949	17.062	319.950	71.070	917.668
2005	376.988	42.349	87.411	33.119	360.117	72.871	972.855
2006	386.100	38.680	88.693	92.187	1.053.083	78.373	1.737.116
2007	402.989	35.948	91.756	161.799	133.203	78.329	904.024

2008	391.784	36.526	90.616	157.343	68.261	78.827	823.358
2009	405.653	37.566	93.956	268.549	338.658	81.576	1.225.958
2010	434.715	35.732	96.955	73.343	86.133	87.766	814.643
2011	454.484	34.601	102.979	126.388	131.707	86.936	937.095
2012	477.850	38.843	101.693	259.938	386.787	89.209	1.354.319
2013	496.030	37.874	97.046	381.483	121.851	93.569	1.227.853
2014	531.142	45.996	100.092	231.841	630.231	95.884	1.635.187
2015	527.103	48.745	100.685	742.843	822.736	97.539	2.339.650
2016	529.576	53.766	102.640	417.385	90.267	102.105	1.295.739
2017	553.974	57.085	105.363	476.005	12.512	108.939	1.313.879
2018	593.027	57.481	104.053	602.188	121.322	114.637	1.592.708
2019	636.453	58.173	105.301	466.397	456.427	120.333	1.843.085
2020	584.284	57.194	98.703	164.974	18.460	126.797	1.050.413

Pada tahun 2020, sektor yang memberikan kontribusi terbesar terhadap emisi GRK nasional adalah sektor energi (56 %), diikuti oleh sektor kehutanan dan kebakaran gambut (18 %), limbah (12 %), pertanian (9 %), dan IPPU (5 %) sebagaimana **Gambar 7 (a)**. Sebaran kontribusi pada tahun 2020 menunjukkan pergeseran yang signifikan dibandingkan dengan kontribusi sektoral pada tahun-tahun sebelumnya, hal ini disebabkan karena adanya penurunan emisi yang cukup signifikan pada sektor kehutanan akibat penurunan kebakaran gambut. **Gambar 7 (b)** dan **Gambar 7 (c)** 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 2018 dan 2019 berturut-turut sektor kehutanan dan kebakaran gambut menyumbang emisi sebesar 45 % dan 50 % serta sektor energi menyumbang emisi sebesar 37 % dan 35 %. Dengan demikian, pada tahun 2020 terjadi peningkatan kontribusi emisi sektor energi dan penurunan emisi pada sektor kehutanan dan kebakaran gambut yang signifikan.



GAMBAR 7. KONTRIBUSI EMISI GRK SEKTORAL TERHADAP EMISI GRK NASIONAL

Analisis Kategori Kunci

Analisis kategori kunci (*key category analysis*) yang dilakukan terhadap sub kategori berdasarkan IPCC 2006, diperoleh hasil sebagaimana **Tabel 13**. Terdapat 18 subkategori emisi/serapan yang menjadi kunci utama dan menyumbang hingga 95% dari total emisi dan serapan GRK.

TABEL 13 ANALISIS KATEGORI KUNCI TAHUN 2020 (DENGAN FOLU DAN KEBAKARAN GAMBUT)

NO.	Code	Category	Total GHG Emissions (Gg CO ₂ e)	Absolut Emission (Gg CO ₂ e)	Level /Range (%)	Cumulatif (%)
1	Other	Peat Decomposition	397.422,84	397.423	22,96%	22,96%
2	3B1a.	Forest Remaining Forest	-335.018,10	335.018	19,36%	42,32%
3	1.A.1.a	Main activity electricity and heat production	279.334	279.334	16,14%	58,46%
4	1.A.3	Transport	135.217	135.217	7,81%	66,27%
5	1.A.2	Manufacturing industries and construction	105.641	105.641	6,10%	72,37%
6	4D 2	Industrial Wastewater Treatment and Discharge	57.675	57.675	3,33%	75,70%
7	3B6b.	Non-Otherland to Otherland	52.942,87	52.943	3,06%	78,76%
8	3B2b.	Non-Cropland to Cropland	51.608,25	51.608	2,98%	81,75%
9	4A 2	Unmanaged Solid Waste Disposal	39.183	39.183	2,26%	84,01%
10	2.A.1	Cement	29.083	29.083	1,68%	85,69%
11	3.C4	Direct N ₂ O Manure Management	26.845,84	26.846	1,55%	87,24%
12	1.A.4.b	Residential	26.543	26.543	1,53%	88,77%
13	3.C7	Rice Cultivation	24.863,76	24.864	1,44%	90,21%
14	4D 1	Domestic Wastewater	24.443	24.443	1,41%	91,62%
15	Other:	Peat Fire	18.460,42	18.460	1,07%	92,69%
16	3.A1	Enteric Fermentation	18.174,00	18.174	1,05%	93,74%
17	1.B.2	Fugitive from Oil/Natural Gas	15.883	15.883	0,92%	94,66%
18	1.A.1.b	Petroleum Refining	13.683	13.683	0,79%	95,45%

Sektor kehutanan dan kebakaran gambut secara total menyumbang emisi GRK sebesar (17,59 %) pada tahun 2020, dalam hal ini kategori dekomposisi gambut menyumbang emisi GRK sebesar 22,96 % dan terdapat serapan pada lahan hutan sebesar 19,36 %. Sedangkan pada sektor energi, subkategori penyumbang emisi

terbesar adalah industri energi (termasuk didalamnya pembangkitan listrik), yakni sebesar 16,14 % dari total emisi dan serapan nasional.

Terdapat 18 subkategori yang menyumbang 95 % emisi dan serapan GRK pada tahun 2020 yang selanjutnya disebut sebagai kategori kunci, dengan 5 sub kategori terbesar secara berturut-turut meliputi emisi pada dekomposisi gambut, serapan pada lahan hutan, emisi pada industri energi, transportasi dan emisi dari industri manufaktur dan konstruksi. Dengan mengetahui kategori kunci emisi/serapan GRK ini, maka subkategori inilah yang selanjutnya dijadikan sasaran dalam upaya reduksi emisi, baik dengan mengurangi emisi maupun dengan meningkatkan serapan GRK.

Analisis kategori kunci juga dilakukan terhadap sektor tanpa FOLU dan kebakaran gambut, dengan hasil sebagai berikut:

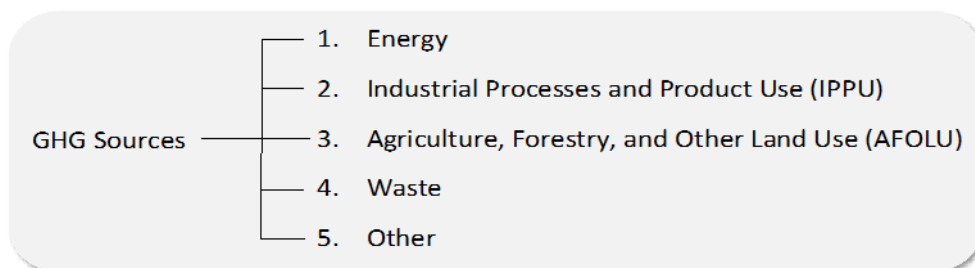
TABEL 14 ANALISIS KATEGORI KUNCI TAHUN 2020 (TANPA FOLU DAN KEBAKARAN GAMBUT)

NO.	Code	Category	Total GHG Emissions (Gg CO ₂ e)	Absolut Emission (Gg CO ₂ e)	Level /Range (%)	Cumulatif (%)
1	1.A.1.a	Main activity electricity and heat production	279.334	279.334	32,22%	32,22%
2	1.A.3	Transport	135.217	135.217	15,60%	47,82%
3	1.A.2	Manufacturing industries and construction	105.641	105.641	12,18%	60,00%
4	4D 2	Industrial Wastewater Treatment and Discharge	57.675	57.675	6,65%	66,65%
5	4A 2	Unmanaged Solid Waste Disposal	39.183	39.183	4,52%	71,17%
6	2.A.1	Cement	29.083	29.083	3,35%	74,53%
7	3.C4	DIRECT N ₂ O MANAGE SOILS	26.845,84	26.846	3,10%	77,62%
8	1.A.4.b	Residential	26.543	26.543	3,06%	80,69%
9	3.C7	RICE CULTIVATIONS	24.863,76	24.864	2,87%	83,55%
10	4D 1	Domestic Wastewater	24.443	24.443	2,82%	86,37%
11	3.A1	ENTERIC FERMENTATION	18.174,00	18.174	2,10%	88,47%
12	1.B.2	Fugitive from Oil/Natural Gas	15.883	15.883	1,83%	90,30%
13	1.A.1.b	Petroleum Refining	13.683	13.683	1,58%	91,88%
14	2.B.1	Ammonia	9.408	9.408	1,09%	92,96%
15	3.A2b	DIRECT N ₂ O MANURE MANAGEMENT	8.220,00	8.220	0,95%	93,91%
16	2.C.1	Iron and Steel	7.307	7.307	0,84%	94,75%
17	3.C5	INDIRECT N ₂ O MANAGE SOILS	6.414,16	6.414	0,74%	95,49%

Terdapat 17 subkategori emisi yang menjadi kunci utama dan menyumbang hingga 95% dari total emisi GRK tanpa sektor FOLU dan kebakaran gambut, dengan 5 subkategori terbesar secara berturut-turut meliputi emisi pada industri energi, transportasi, penggunaan energi di industri, limbah cair industri dan limbah padat.

3.2. PROFIL EMISI SEKTORAL

Bab ini membahas rangkuman Inventarisasi GRK Nasional Indonesia tahun 2019. Inventarisasi GRK Nasional mencakup rincian emisi antropogenik berdasarkan sumber dan resapan, yang dihitung menggunakan IPCC 2006 *Guidelines* (**Gambar 8**). 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 8. KATEGORI UTAMA SUMBER EMISI GRK

3.2.1. Sektor Energi

A. Kategori Sumber Emisi GRK dari Sektor Energi

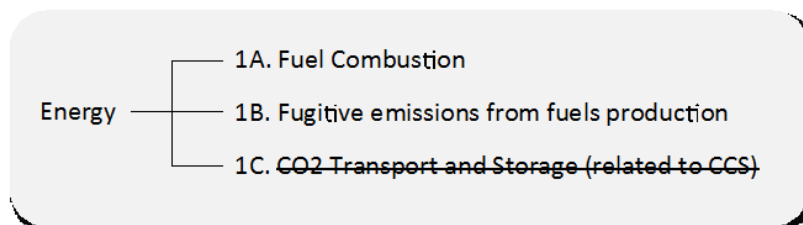
Kegiatan Pengadaan dan Penggunaan Energi merupakan salah satu sektor penting dalam inventarisasi emisi gas rumah kaca (GRK). Cakupan inventarisasi sektor energi meliputi kegiatan pengadaan/penyediaan energi dan penggunaan energi. Pengadaan/penyediaan energi meliputi kegiatan-kegiatan sebagai berikut:

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).

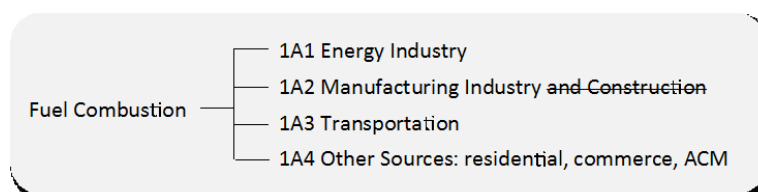
Berdasarkan buku panduan IPCC tahun 2006 sumber emisi sektor energi dikelompokkan ke dalam tiga kategori, yaitu (a) pembakaran bahan bakar, (b) emisi fugitif dari produksi bahan bakar, dan (c) kegiatan transportasi, injeksi, dan penyimpanan CO₂ (terkait *Carbon Capture Storage-CCS*). Oleh karena kegiatan 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 9**.



GAMBAR 9. SUMBER EMISI GRK DARI SEKTOR ENERGI

A.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 10**. Pembakaran bahan bakar dari konstruksi tercakup di dalam sub sektor ACM (1A4 *Other Sources*). Pada sub sektor ACM untuk pelaporan ini masih belum dapat dilakukan disagregasi data untuk masing-masing komponen sub sektor tersebut, dan menjadi bagian dari rencana perbaikan jangka panjang.

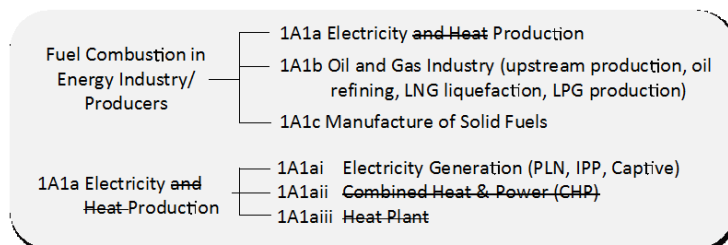


GAMBAR 10. SUB KATEGORI SUMBER EMISI GRK DARI KATEGORI PEMBAKARAN BAHAN BAKAR

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

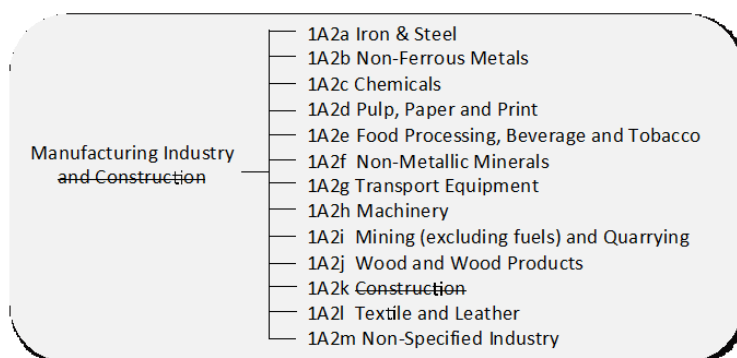
manufaktur. Industri minyak bumi mencakup industri hulu migas, penyulingan minyak, produksi LNG dan LPG.



GAMBAR 11. CAKUPAN SUMBER EMISI GRK DARI PEMBAKARAN BAHAN BAKAR DI INDUSTRI ENERGI

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. Bagaimanapun, GRK dari pembakaran bahan bakar pada kegiatan pertambangan bahan bakar yang tercakup dalam ACM akan dijelaskan pada sub-bab selanjutnya.

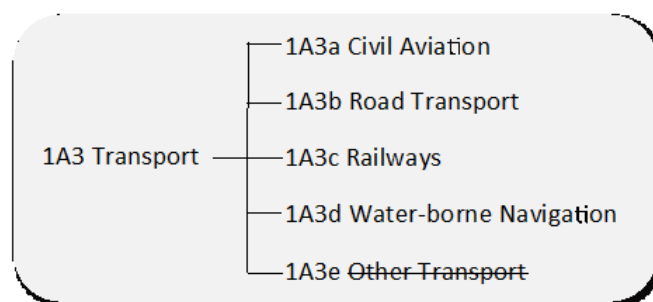


GAMBAR 12. SUMBER EMISI GRK DARI PEMBAKARAN BAHAN BAKAR PADA INDUSTRI MANUFAKTUR

Pembakaran Bahan Bakar Sektor Transportasi

Menurut panduan IPCC 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.



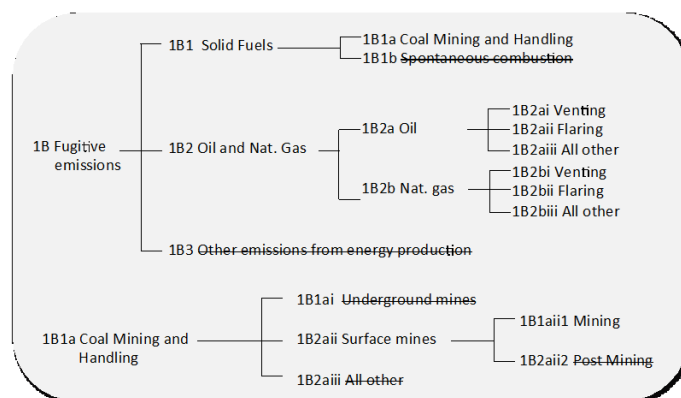
GAMBAR 13. CAKUPAN SUMBER EMISI GRK DARI PEMBAKARAN BAHAN BAKAR TRANSPORTASI

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 sub sektor, 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 digunakan pada aktivitas perikanan. ADO dan IDO digunakan di sub sektor tambang dan konstruksi.

A.2. Emisi Fugitif dari Produksi Bahan Bakar

Emisi *fugitive* dari produksi bahan bakar hanya termasuk 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 14. CAKUPAN EMISI FUGITIVE DARI PRODUKSI BAHAN BAKAR

B. Jenis Gas

Berdasarkan Pedoman IPCC GL 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 2020.

D. Sumber Data

Semua data dan informasi terkait inventarisasi emisi GRK sektor energi dikumpulkan dari satu sumber, yaitu Tabel Keseimbangan Energi dalam *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia* tahun 2019 yang diterbitkan oleh Pusdatin, Kementerian Energi dan Sumber Daya (ESDM). Data dari tabel keseimbangan energi berupa data konsumsi bahan bakar pada suatu kategori, produk yang dihasilkan dari kategori tersebut dan data transformasi energi.

Unit data aktivitas dalam Tabel Keseimbangan Energi adalah BOE sehingga menurut pedoman IPCC GL 2006 perlu dikonversi terlebih dahulu menjadi Kiloliter atau Ton dengan faktor konversi yang tersedia dalam *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia*.

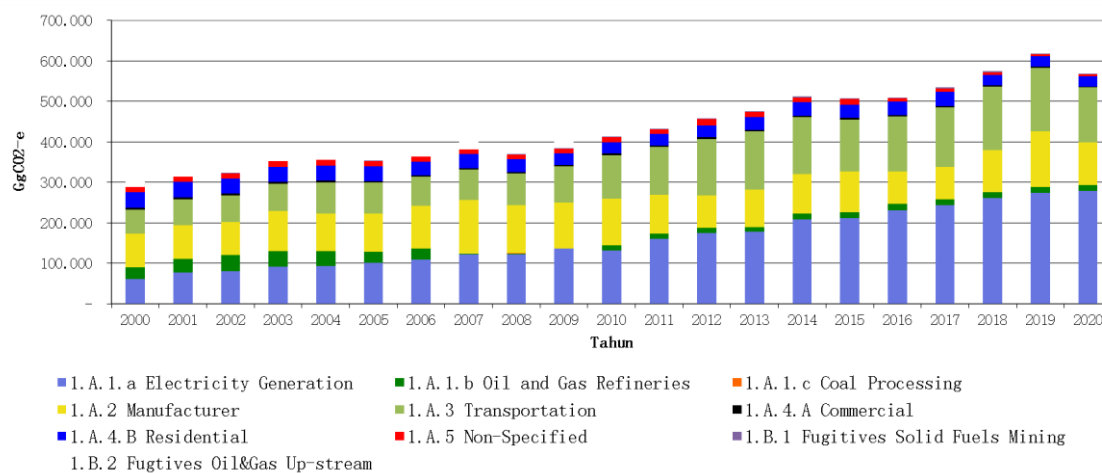
E. Perhitungan Emisi GRK

Emisi pada sektor energi menggunakan 2 pendekatan:

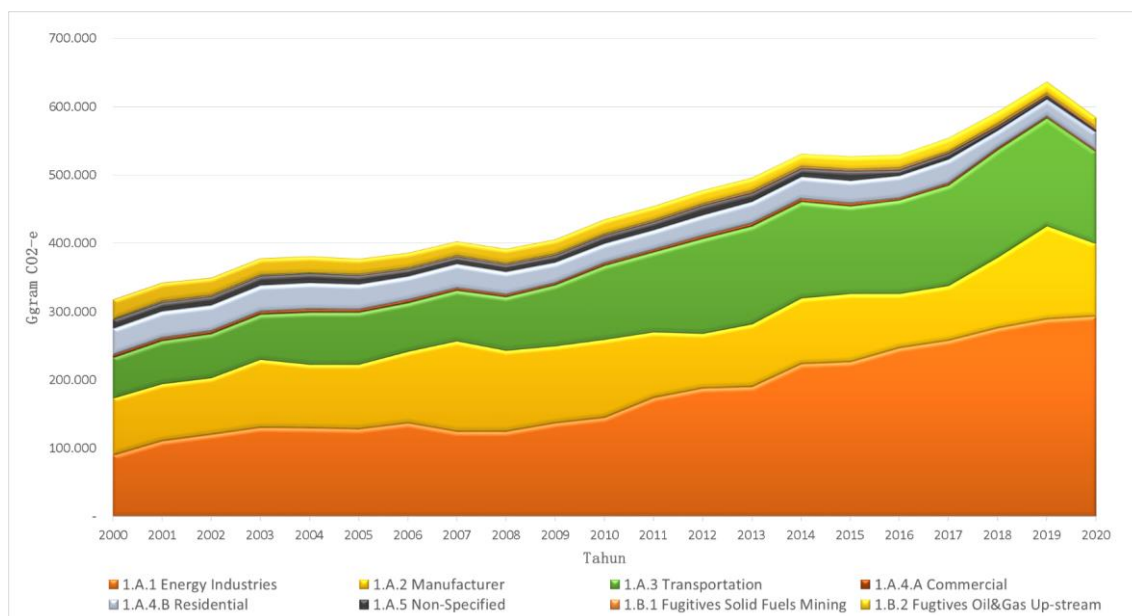
1. Sektoral approach: pendekatan konsumsi energi (berdasarkan data penggunaan energi)
2. Reference approach: pendekatan produksi energi (berdasarkan jenis bahan bakar yang diproduksi dan digunakan)

Sectoral Approach: Tingkat Emisi GRK berdasarkan Sektor

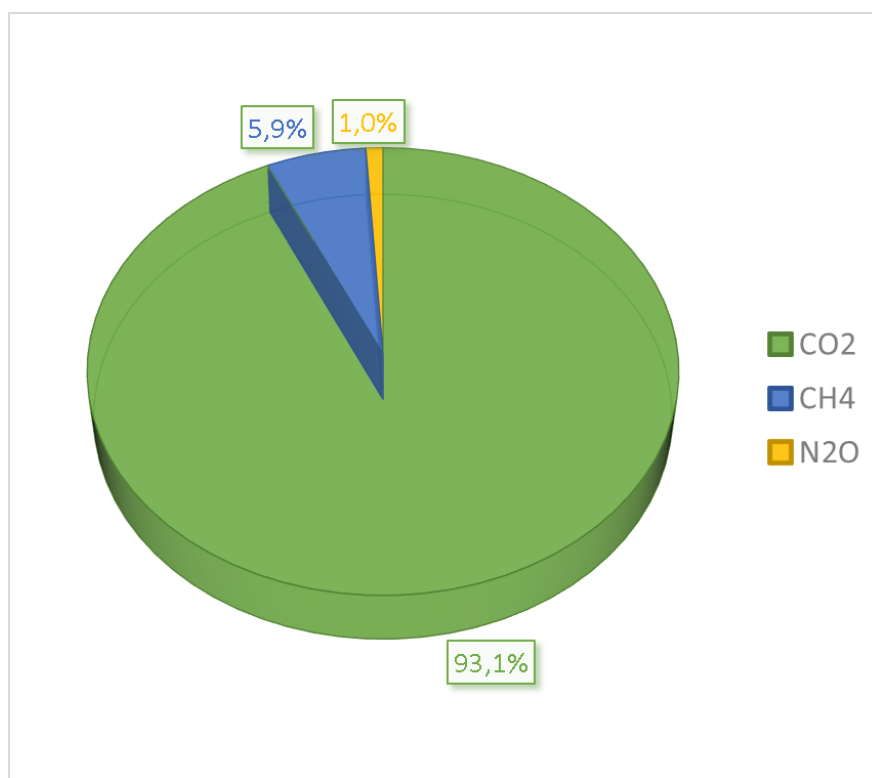
Emisi GRK sektoral dari kegiatan energi selama periode 2000-2020 terangkum pada **Tabel 15**. Adapun emisi per kategori dan sub kategori emisi, kecenderungan emisinya, dan emisi berdasarkan jenis gas tergambar berturut-turut pada **Gambar 15, 16** dan **17**.



GAMBAR 15. TINGKAT EMISI GRK SEKTOR ENERGI BERDASARKAN SUB-KATEGORI SUMBER EMISI TAHUN 2000-2020



GAMBAR 16. KECENDERUNGAN EMISI GRK SEKTOR ENERGI TAHUN 2000-2020



GAMBAR 17. TINGKAT EMISI GRK SEKTOR ENERGI BERDASARKAN JENIS GAS

TABEL 15 EMISI GRK DARI KEGIATAN ENERGI TAHUN 2000-2020

Source of GHG Emissions	Emission (Gg CO2e)																				
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
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
2. Solid Fuels	52.911	67.199	69.334	93.076	85.518	97.997	118.121	145.745	118.057	135.904	150.024	162.633	170.858	154.837	187.476	205.753	214.607	226.794	272.744	328.057	312.577
3. Gas Fuels	83.909	90.847	97.907	104.927	100.795	83.393	87.199	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
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
By Sector/Sorces																					
1.A.1. Energy Industries	89.716	110.764	119.793	130.188	129.518	127.816	137.094	124.026	124.485	136.599	144.526	173.803	187.631	189.860	223.213	226.278	246.851	258.041	276.242	289.001	293.143
1.A.1.a Electricity Generation	62.030	76.614	80.964	90.946	93.516	101.948	108.930	121.696	121.940	136.058	130.886	160.771	174.873	177.294	208.671	211.916	231.370	243.629	261.427	273.523	279.334
1.A.1.b Oil and Gas	27.686	34.151	38.829	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	15.409	14.341	14.791	15.459	13.683
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	79.663	103.167	136.179	105.641
1.A.2.a Iron and Steel																3.591	1.991	1.780	5.241	25.093	32.606
1.A.2.c Chemical																9.716	10.517	10.431	10.557	10.539	9.365
1.A.2.d Pulp, Paper, and Print																12.574	12.735	10.819	12.296	12.910	6.485
Tobacco																25.838	14.223	14.225	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
1.A.2. m Non-specified Industry																33.916	21.398	21.102	39.853	53.056	21.738
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	157.771	135.217
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
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	133.689	143.127	145.116	128.216
1.A.3.c Water-Borne Navigation	384	388	368	309	311	237	195	288	281	234	228	206	197	126	96	86	109	132	116	95	74
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	3.462	4.306	4.103	3.834	4.413	2.918	3.182	2.653	2.163	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	34.863	25.341	25.700	26.543
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	14.258	8.853	9.095	7.031	5.130	3.664
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
1.B Fugitives	29.366	27.984	27.034	25.697	24.630	24.055	23.306	22.267	22.942	22.881	22.786	22.955	22.280	21.938	21.408	21.250	21.901	21.901	21.071	20.508	18.341
1.B.1 Fugitives Solid Fuels Mining	336	404	451	498	577	666	845	946	1.048	1.117	1.200	1.541	1.684	2.069	1.998	2.013	1.990	1.990	2.433	2.688	2.459
1.B.2 Fugitives Oil/Gas	29.030	27.580	26.583	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
1.B.3 Other Emission from Energy Production	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Sectoral	317.609	341.919	349.485	378.050	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	636.453	584.284

Kecenderungan emisi sektor energi meningkat dari tahun ke tahun sejalan dengan peningkatan kebutuhan dan penggunaan energi. Namun di tahun 2020 emisi **menurun** dibanding dua tahun sebelumnya. Sepanjang kurun waktu Tahun 2000-2020 dapat dilihat bahwa penggunaan energi pada industri (termasuk didalamnya penggunaan bahan bakar pada pembangkit listrik dan panas, kilang minyak, dan proses batu bara) merupakan penyumbang emisi terbesar pada sektor energi, yang diikuti oleh penggunaan bahan bakar untuk transportasi, serta energi pada manufaktur pada urutan ketiga.

Reference Approach: Tingkat Emisi GRK berdasarkan Jenis Bahan Bakar

Berdasarkan *reference approach*, inventarisasi emisi GRK dilakukan berdasarkan jenis bahan bakar yang di *supply* pada level nasional. Merujuk pada data trend konsumsi bahan bakar nasional pada periode 2000-2020, konsumsi bahan bakar didominasi oleh batubara (bahan bakar padat), diikuti oleh minyak (bahan bakar cair) dan gas alam (bahan bakar gas).

Pada tahun 2020, *supply* bahan bakar hampir sebagian besar berupa batubara (bahan bakar padat), yakni 51% 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 35% dan 14%. Demikian pula dengan tingkat emisi referensi untuk bahan bakar batubara (bahan bakar padat) lebih tinggi dibandingkan kedua jenis bahan bakar lainnya.

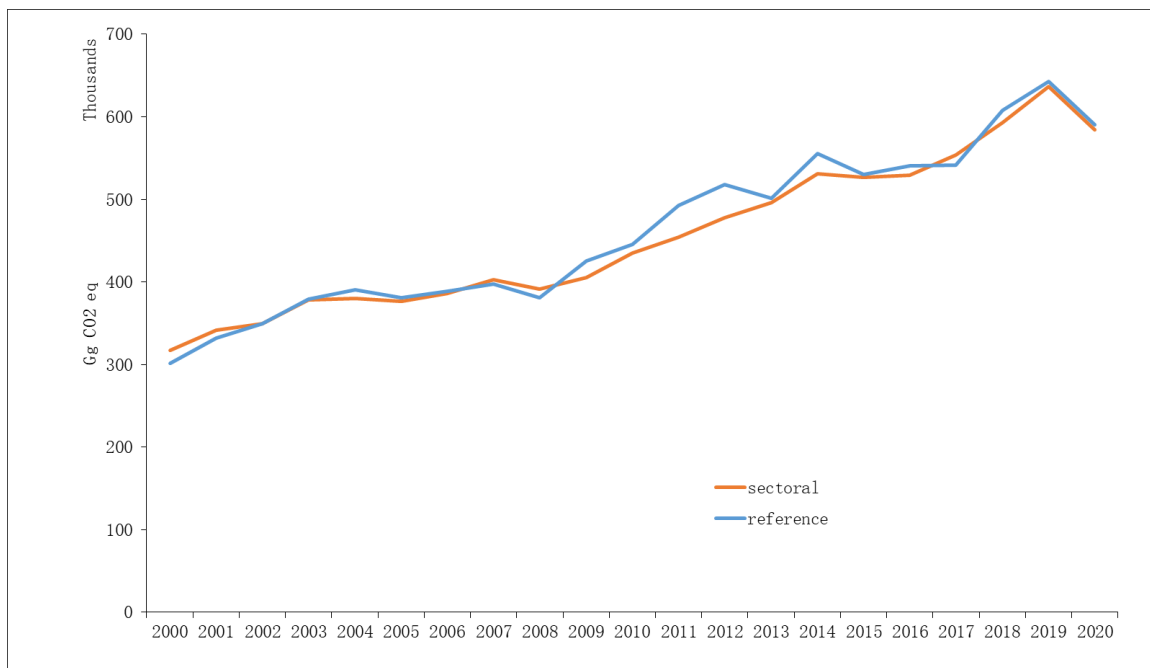
Perbandingan antara *Reference* dan *Sectoral Approaches* dalam Perhitungan Tingkat Emisi CO₂

Hasil perhitungan emisi GRK menunjukkan bahwa perhitungan CO₂e menggunakan *reference approach* 1,04 % lebih tinggi dibandingkan *sectoral approach* (**Tabel 16**). Hal ini disebabkan dalam perhitungan emisi menggunakan *sectoral approach* tergantung kepada data konsumsi bahan bakar, sedangkan supply bahan bakar bisa saja lebih tinggi dari pada yang benar-benar dikonsumsi. IPCC menyebutkan secara umum perbedaan perhitungan dengan menggunakan kedua pendekatan ini adalah berkisar 5%.

TABEL 16 PERHITUNGAN EMISI GRK SEKTOR ENERGI MENGGUNAKAN METODE *REFERENCE* DAN *SECTORAL APPROACH*, GG CO₂-EMISI GRK DARI KEGIATAN ENERGI TAHUN 2020

Metode dan Sumber Emisi	2020 Emission (Gg CO ₂ e)
Metode: Reference Approach	
1. Liquid Fuels	199.590
2. Solid Fuels	312.577
3. Gas Fuels	78.180
Total Reference Approach	590.347

Metode: Sectoral Approach	
1.A Fuel Combustion	565.943
1.B Fugitives Emissions	18.341
Total Sectoral Approach	584.284
Discrepancy	1,04%



GAMBAR 18. PERBANDINGAN PERHITUNGAN EMISI DENGAN MENGGUNAKAN *REFERENCE* DAN *SECTORAL APPROACH* TAHUN 2000-2020

F. Sumber Emisi Kunci

Berdasarkan uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa kategori kunci sumber emisi pada sektor energi pada tahun 2020 adalah energi industri (penggunaan bahan bakar pada pembangkit listrik dan panas, kilang minyak, dan proses batubara), yang diikuti oleh penggunaan bahan bakar pada transportasi, dan selanjutnya manufaktur. Analisis kategori kunci secara detail dapat dilihat pada **Tabel 17**.

TABEL 17 SUMBER EMISI KUNCI SEKTOR ENERGI TAHUN 2020

Code	Category	Total GHG Emissions (Gg CO ₂ e)	Level/Rank (%)	Cumulative (%)
1.A.1.a	Main activity electricity and heat production	279.334	47,81%	47,81%
1.A.3	Transport	135.217	23,14%	70,95%
1.A.2	Manufacturing industries and construction	105.641	18,08%	89,03%
1.A.4.b	Residential	26.543	4,54%	93,57%
1.B.2	Fugitive from Oil/Natural Gas	15.883	2,72%	96,29%
1.A.1.b	Petroleum Refining	13.683	2,34%	98,63%
1.A.5	Other	3.664	0,63%	99,26%
1.B.1	Fugitive from solid fuels	2.459	0,42%	99,68%
1.A.4.a	Commercial/Institutional	1.735	0,30%	99,98%
1.A.1.c	Coal processing	126	0,02%	100,00%
Total		584.284		

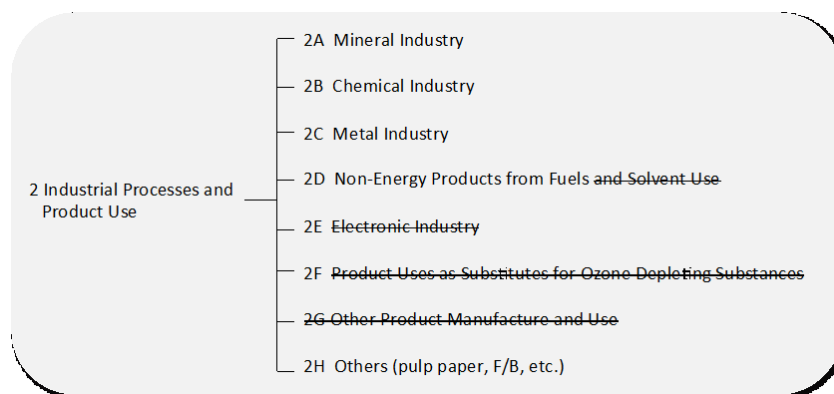
3.2.2. Sektor IPPU

A. Kategori Sumber Emisi

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

Berbagai macam sumber emisi GRK dari industri di Indonesia diklasifikasikan berdasarkan tipe industri. Berdasarkan IPCC GL 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 19**).



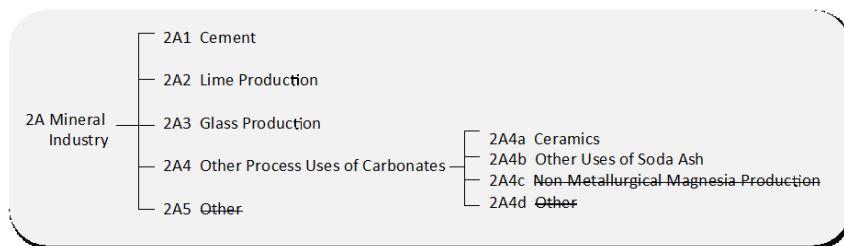
GAMBAR 19. SUMBER EMISI DARI SEKTOR IPPU

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 dimanadata tersebut dapat digunakan sebagai dasar untuk mengestimasi pengurangan emisi GRK tetapi tetap saja tidak dapat digunakan untuk menetapkan inventarisasi GRK.

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 20** 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.

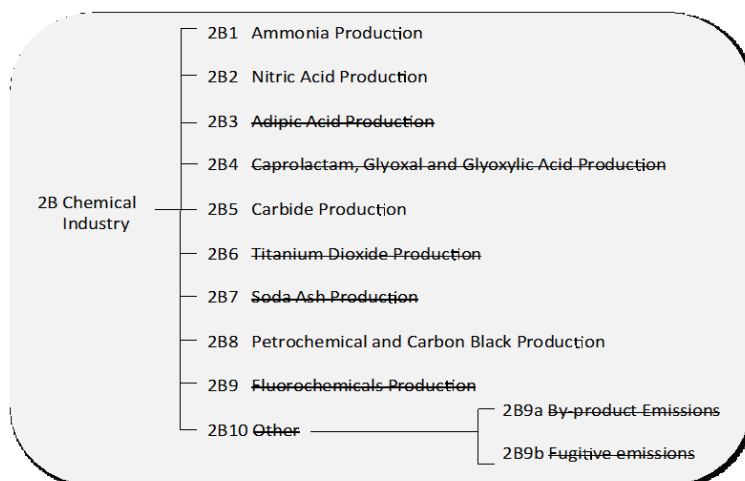


GAMBAR 20. CAKUPAN SUMBER EMISI SEKTOR IPPU DARI INDUSTRI MINERAL

Industri Kimia

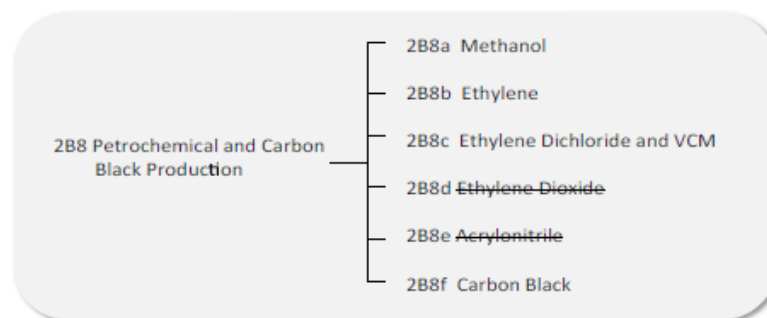
Mengacu kepada Pedoman IPCC 2006, proses produksi di industri kimia yang tercakup dalam inventarisasi GRK adalah amonia, asam nitrat, karbida, asam adipat, kaprolaktam, glioksal, dan asam glioksilat, titaniumdioksida, produksi soda abu alami, dan petrokimia (metanol, etilen, etilen diklorida, dan karbon 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 21. CAKUPAN SUMBER EMISI SEKTOR IPPU DARI INDUSTRI KIMIA

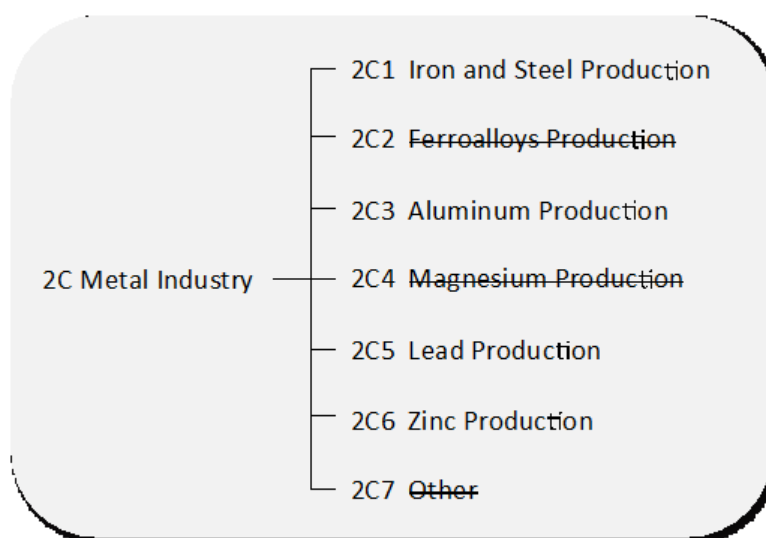
Untuk saat ini keberadaan dan penggunaan produk-produk tersebut berasal dari impor. Estimasi emisi GRK dari jenis industri kimia yang dibahas dalam laporan ini terbatas pada industri yang berada di Indonesia dan ketersediaan data-data yang diperlukan. Industri tersebut antara lain: industri amonia, asam nitrat, karbida, metanol, etilen, etilendiklorida, dan karbon hitam (**Gambar 22 dan 23**).



GAMBAR 22. CAKUPAN SUMBER EMISI SEKTOR IPPU DARI PRODUKSI PETROKIMIA DAN CARBON BLACK

Industri Logam

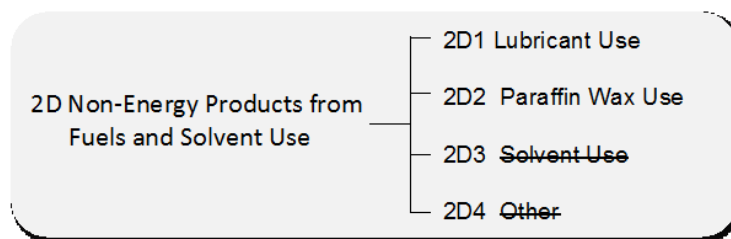
Berdasarkan Pedoman IPCC 2006, industri logam mencakup jenis-jenis industri seperti besi & baja, ferroalloy, aluminium, magnesium, timbal dan seng (**Gambar 23**). Namun dalam laporan ini, estimasi emisi pada inventarisasi GRK dari industri logam hanya kegiatan produksi besi dan baja, aluminium, timbal dan seng. Hal ini dikarenakan belum tersedianya data untuk industri tersebut.



GAMBAR 23. CAKUPAN SUMBER EMISI SEKTOR IPPU DARI INDUSTRI LOGAM

Penggunaan Produk Non-Energi dan Pelarut

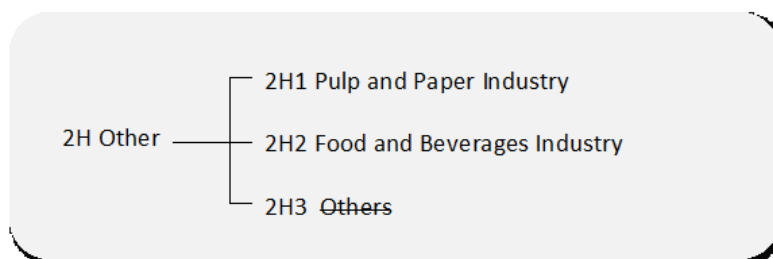
Penggunaan produk yang termasuk dalam kategori ini mencakup pelumas, lilin/parafin dan pelarut. Gambar dibawah memperlihatkan lingkup sumber emisi GRK dari penggunaan produk yang dibahas dalam laporan ini.



GAMBAR 24. CAKUPAN SUMBER EMISI SEKTOR IPPU DARI PRODUK NON-ENERGI DAN PELARUT

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 25. 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 magnesita dan industri lainnya.

B. Jenis Gas

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

Berdasarkan IPCC GL 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 2000-2020.

D. Sumber Data

Data dan informasi terkait inventarisasi GRK sektor IPPU diperoleh dari PPIHLH, 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 dan *carbon black*. Dari Industri logam, data produksi besi dan baja dan alumunium juga diperoleh dari Kementerian Perindustrian.

Untuk kategori penggunaan pelumas dan lilin parafin diperoleh dari *Handbook of Energy* Kementerian ESDM. Sedangkan untuk data lainnya diperoleh dari dokumen Statistik Industri Manufaktur BPS melalui penelusuran kode *Industrial Standard International Classification* (ISIC) untuk semua tipe produksi dari jenis industri yang termasuk diatas.

E. Perhitungan Emisi GRK

Emisi GRK sektoral dari IPPU selama periode 2000-2020 terangkum pada **Tabel 18**. Sedangkan rincian pada masing-masing sub kategori pada sektor IPPU tahun 2020 dapat dilihat pada **Tabel 19**.

TABEL 18 EMISI GRK DARI SEKTOR IPPU TAHUN 2000-2020

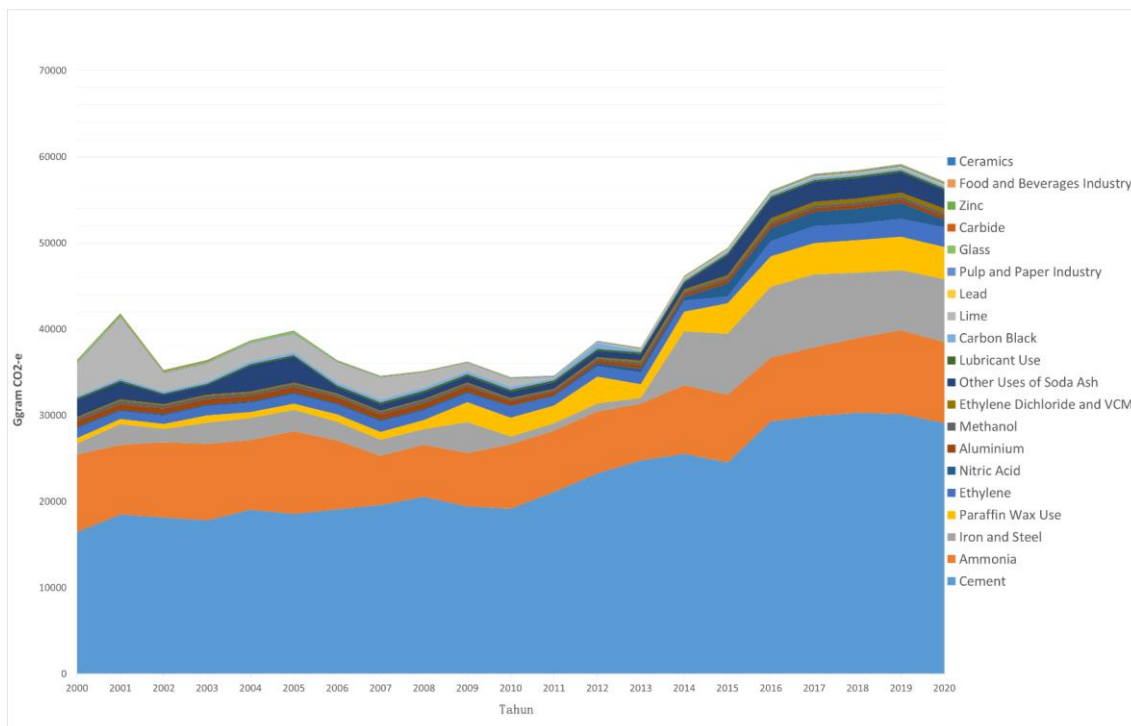
Tahun	Emisi Sektor IPPU untuk 3 gas utama (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O) (Gg CO ₂ e)	Emisi Sektor IPPU untuk seluruh gas (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, CF ₄ , C ₂ F ₆) (Gg CO ₂ e)
2000	42.648	42.920
2001	48.043	48.314
2002	41.439	41.711
2003	41.183	41.454
2004	42.930	43.202
2005	42.078	42.349
2006	38.397	38.680
2007	35.675	35.948
2008	36.252	36.526
2009	37.294	37.566
2010	35.579	35.732
2011	34.555	34.601

2012	38.796	38.843
2013	37.824	37.874
2014	45.957	45.996
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

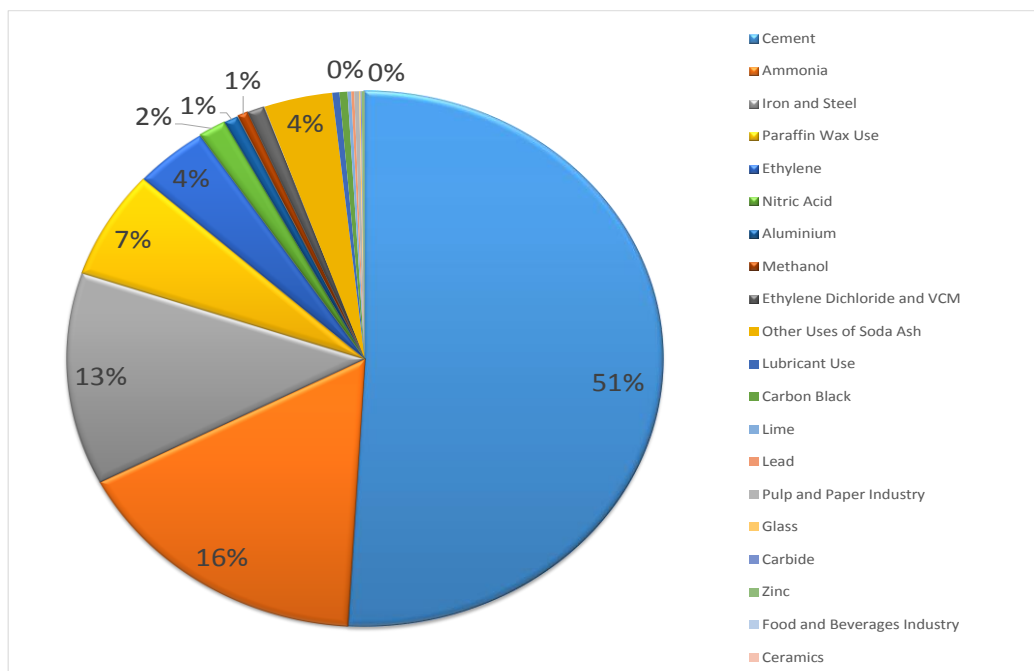
Secara umum, Tabel 18 menunjukkan terjadinya peningkatan emisi secara gradual hingga tahun 2019, namun terjadi sedikit **penurunan** di tahun 2020. Sedangkan Tabel 19 menunjukkan komposisi emisi per sub kategori sektor IPPU pada tahun 2020, lebih dari separuh emisi dari sektor IPPU berasal dari industri semen, yang diikuti oleh industri ammonia dan besi baja. Hal ini dapat dilihat dengan jelas pada **Gambar 26**. Komposisi emisi pada setiap subkategori sektor IPPU (**Gambar 27**) 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 19 EMISI GRK PER SUB KATEGORI SEKTOR IPPU TAHUN 2020

Code	Categories	Emission (Gg CO ₂ e)
Mineral		
2.A.1	Cement	29.083
2.A.2	Lime	114
2.A.3	Glass	46
2.A.4.a	Ceramics	4
2.A.4.b	Other Uses of Soda Ash	2.120
2.A.4.d	Other Uses of Carbonate Consumption	85
Chemical		
2.B.1	Ammonia	9.408
2.B.2	Nitric Acid	881
2.B.5	Carbide	33
2.B.8.a	Methanol	339
2.B.8.b	Ethylene	2.275
2.B.8.c	Ethylene Dichloride and VCM	532
2.B.8.f	Carbon Black	245
Metal		
2.C.1	Iron and Steel	7.307
2.C.3	Aluminium	440
2.C.5	Lead	93
2.C.6	Zinc	87
Non-Energy Products from Fuels and Solvent Use		
2.D.1	Lubricant Use	222
2.D.2	Paraffin Wax Use	3.731
Others		
2.H.1	Pulp and Paper Industry	148
2.H.2	Food and Beverages Industry	2
	Total	57.194



GAMBAR 26. TINGKAT EMISI GRK SEKTOR IPPU TAHUN 2000-2020



GAMBAR 27. KONTRIBUSI EMISI GRK BERDASARKAN KATEGORI SEKTOR IPPU TAHUN 2020

F. Sumber Emisi Kunci

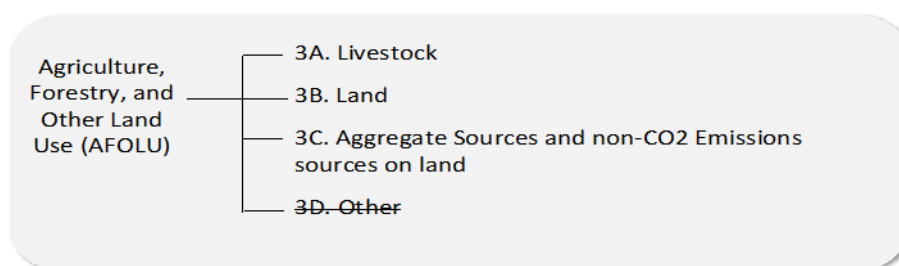
Kategori kunci sumber emisi pada sektor IPPU pada tahun 2020 dapat dilihat pada **Tabel 20**, dimana 3 emisi terbesar pada sektor IPPU berasal dari: semen, ammonia, dan besi dan baja.

TABEL 20 SUMBER EMISI KUNCI SEKTOR IPPU TAHUN 2020

Code	Category	Total GHG Emissions 2019 (Gg CO _{2e})	Level/Rank	Cumulative
2.A.1	Cement	29.083	51%	51%
2.B.1	Ammonia	9.408	16%	67%
2.C.1	Iron and Steel	7.307	13%	80%
2.D.2	Paraffin Wax Use	3.731	7%	87%
2.B.8.b	Ethylene	2.275	4%	91%
2.A.4.b	Other Uses of Soda Ash	2.120	4%	94%
2.B.2	Nitric Acid	881	2%	96%
2.B.8.c	Ethylene Dichloride and VCM	532	1%	97%
2.C.3	Aluminium	440	1%	98%
2.B.8.a	Methanol	339	1%	98%
2.B.8.f	Carbon Black	245	0%	99%
2.D.1	Lubricant Use	222	0%	99%
2.H.1	Pulp and Paper Industry	148	0%	99%
2.A.2	Lime	114	0%	99%
2.C.5	Lead	93	0%	100%
2.C.6	Zinc	87	0%	100%
2.A.4.d	Other Uses of Carbonate Consumption	85	0%	100%
2.A.3	Glass	46	0%	100%
2.B.5	Carbide	33	0%	100%
2.A.4.a	Ceramics	4	0%	100%
2.H.2	Food and Beverages Industry	2	0%	100%
	Total	57.194		

3.2.3. Sektor AFOLU

Berdasarkan IPCC *Guidelines* 2006, sektor pertanian dan peternakan termasuk kedalam sumber emisi dari sector AFOLU (*Agriculture, Forestry and Other Land Use*). AFOLU sendiri dikelompokkan dalam empat kategori, yaitu (a) peternakan (*livestock*), (b) lahan (*land*), (c) sumber agregat dan emisi non-CO₂ dari lahan (*aggregate sources and non-CO₂ emissions sources on land*), (d) *others*. Di Indonesia sektor pertanian dan peternakan biasanya cukup disebut sektor pertanian dengan cakupan sumber emisi GRK (GRK) dari sektor AFOLU disajikan pada **Gambar 28**.



GAMBAR 28. CAKUPAN SUMBER EMISI GRK DARI SEKTOR AFOLU

3.2.3.1. PERTANIAN

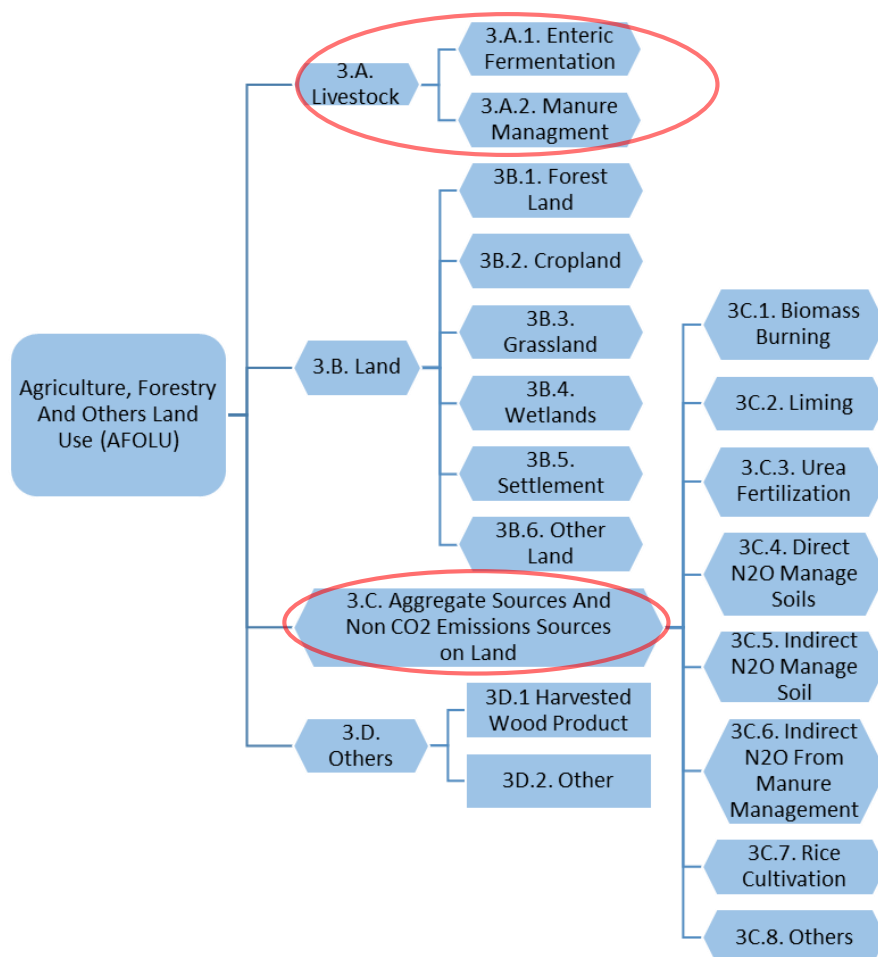
A. Kategori Sumber Emisi

Pelaksanaan Inventarisasi GRK untuk sektor pertanian mengacu pada IPCC *Guidelines* 2006. Dimana pada panduan tersebut, sumber emisi dari sektor pertanian, terdiri atas dua bagian besar yaitu emisi dari *aktivitas peternakan (3A)*, emisi dari *sumber agregat dan sumber emisi Non-CO₂ pada lahan (3C)*. Sumber data untuk pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Sektor Pertanian Tahun 2021 ini berdasarkan data-data inventarisasi gas rumah kaca sektor pertanian periode Tahun 2000-2020, 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 29**, antara lain:

- 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),
- Pembakaran biomassa residu pertanian (3C1b),
- Pembakaran biomassa pertanian berpindah (3C1c),
- Aplikasi kapur pertanian (3C2) dari pengelolaan lahan pertanian (penggunaan limestone dan dolomite),
- Aplikasi pupuk urea (3C3) pada lahan pertanian,

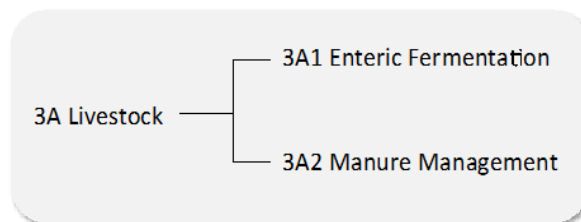
- Emisi langsung N_2O dari tanah terkelola (3C4); aplikasi nitrogen pada tanah terkelola,
- Emisi tidak langsung N_2O dari tanah terkelola (3C5); deposisi atmosferik dari nitrogen volatil pada tanah terkelola,
- Emisi dari budidaya padi sawah (3C7); emisi metana dari budidaya persawahan padi.



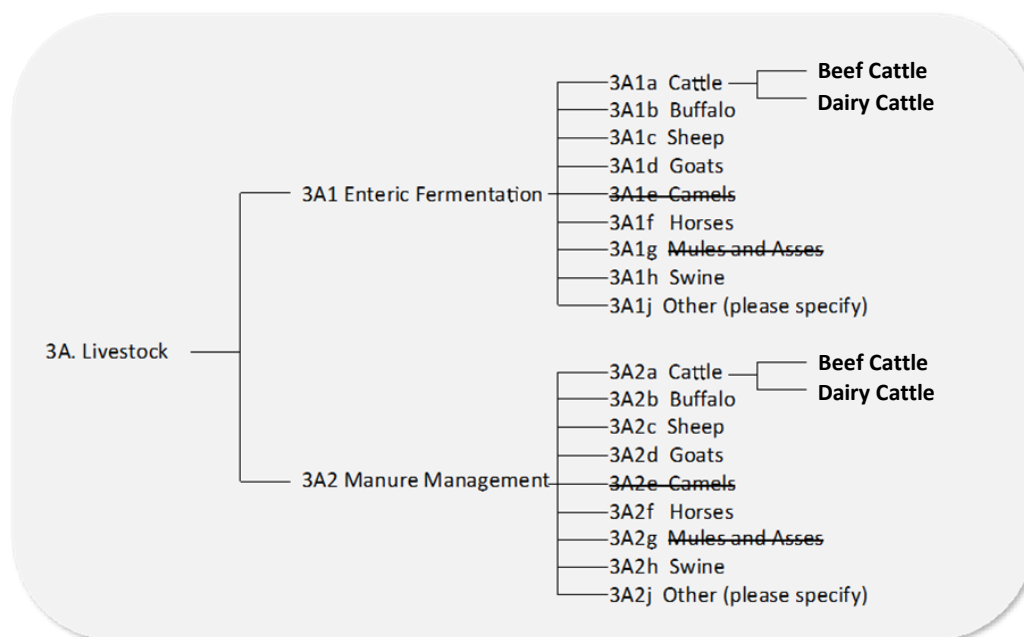
GAMBAR 29. KATEGORI SUMBER EMISI DALAM IPCC *GUIDELINES* SEKTOR PERTANIAN

1. Peternakan

Kategori sumber emisi GRK dari peternakan yaitu emisi GRK dari fermentasi enterik dan pengelolaan kotoran ternak (**Gambar 30**). Emisi dari kedua sumber tersebut dikategorikan berdasarkan populasi ternak, yaitu sapi perah, sapi lainnya, kerbau, domba, kambing, unta, kuda, keledai dan keledai, babi, dan unggas (**Gambar 31**). Emisi metana dari unta dan keledai tidak diperkirakan karena keterbatasan data.



GAMBAR 30. CAKUPAN SUMBER EMISI GRK DARI SEKTOR PETERNAKAN



Catatan: Dicoret berarti tidak dihitung

GAMBAR 31. CAKUPAN SUMBER EMISI GRK DARI FERMENTASI ENTERIK DAN PENGELOLAAN KOTORAN TERNAK BERDASARKAN JENIS TERNAK

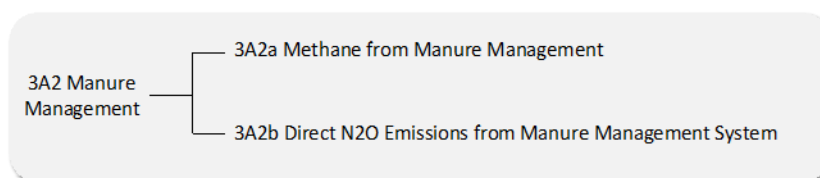
Emisi Metana dari Fermentasi Enterik

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

Pengelolaan Kotoran Ternak

Metana yang dihasilkan selama penyimpanan dan penanganan pupuk, dan dari kotoran disimpan di padang rumput. Dekomposisi pupuk kandang dalam kondisi anaerob

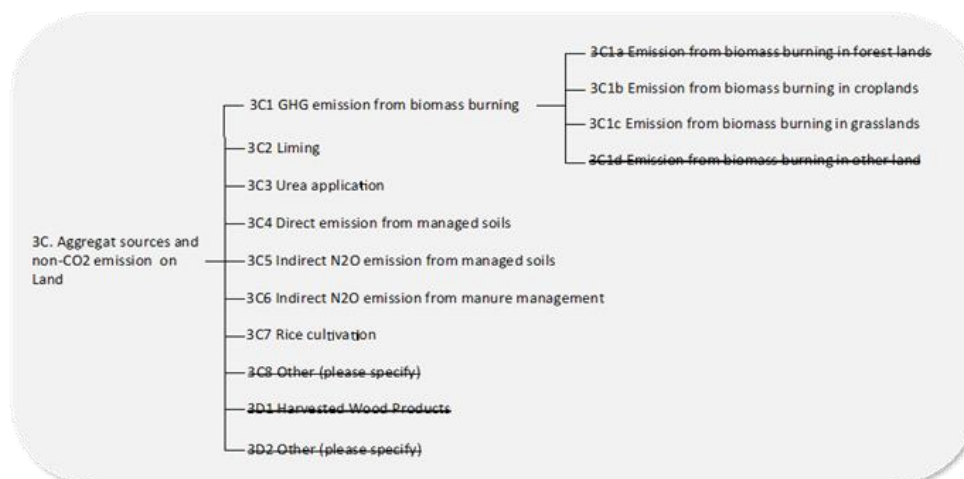
(misalnya, dengan tidak adanya oksigen) selama penyimpanan dan perawatan menghasilkan CH_4 . Kondisi ini terjadi paling mudah ketika sejumlah besar hewan dikelola di daerah terbatas (misalnya, peternakan sapi, penggemukan sapi, dan babi dan unggas peternakan), dan di mana kotoran dibuang dalam sistem berbasis cairan. Selain itu, selama penyimpanan dan pengelolaan kotoran ternak, N_2O bisa mengemisi sebelum diaplikasikan ke tanah (**Gambar 32**). 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 .



GAMBAR 32. CAKUPAN SUMBER EMISI GRK DARI PENGELOLAAN KOTORAN TERNAK

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

Dalam sektor ini, sumber emisi diklasifikasikan ke dalam enam kategori, yaitu (a) emisi GRK dari pembakaran biomassa, (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.



GAMBAR 33. CAKUPAN SUMBER EMISI GRK DARI SUMBER AGREGAT DAN SUMBER EMISI NON-CO₂ PADA LAHAN

3. Pembakaran Biomassa

Emisi dari pembakaran biomassa tidak hanya mencakup CO₂, tetapi juga GRK lainnya, atau prekursor, karena pembakaran tidak sempurna bahan bakar, termasuk karbon monoksida (CO), metana (CH₄), senyawa organik yang mudah menguap non-metana (NMVOC) dan nitrogen (misalnya N₂O, NO_x). Emisi GRK non-CO₂ 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.

4. 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 (CaCO₃), atau dalam bentuk dolomit (CaMg (CO₃)₂) juga menyebabkan emisi CO₂ sebagai kapur karbonat terlarut dan bikarbonat (2HCO₃⁻) yang terlepas, yang berkembang menjadi CO₂ dan air (H₂O).

5. Aplikasi Pupuk Urea

Penambahan urea pada tanah selama pemupukan akan mengakibatkan hilangnya CO₂ yang sebelumnya berada dalam pupuk selama proses produksi industri yang diproduksi itu. Urea (CO(NH₂)₂) diubah menjadi amonium (NH₄⁺), ion hidroksil (OH⁻) dan bikarbonat (HCO₃⁻), dengan adanya air dan enzim urease. Serupa dengan reaksi tanah terhadap penambahan kapur, bikarbonat yang terbentuk berkembang menjadi CO₂ dan air (H₂O).

6. Emisi N₂O dari tanah yang dikelola

Emisi N₂O yang dihasilkan dari input N antropogenik atau N mineralisasi terjadi secara langsung (yaitu langsung dari tanah dimana N ditambahkan/dirilis), dan secara tidak langsung: (i) setelah penguapan NH₃ dan NO_x dari tanah dikelola dan dari

pembakaran bahan bakar fosil dan pembakaran biomassa, dan redeposition 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.

7. 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 sektor peternakan adalah CH_4 dan N_2O . Sedangkan emisi GRK dari sumber agregat dan sumber emisi non- CO_2 pada lahan adalah CO_2 , CH_4 dan N_2O .

C. Periode Inventarisasi

Inventarisasi GRK yang dilaporkan dalam laporan ini mencakup emisi GRK pada tahun 2000 sampai 2019.

D. Sumber Data

1. Peternakan

Populasi ternak dan informasi yang terkait dengan inventarisasi emisi GRK diperoleh dari Pusat Data dan Informasi Kementerian Pertanian (PUSDATIN) sebagaimana terlihat pada **Tabel 21**.

TABEL 21 POPULASI TERNAK NASIONAL TAHUN 2000-2020 DALAM SATUAN EKOR

TAHUN	Sapi Potong (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	530.873.984	69.366.000	259.256.992	29.035.000
2001	10.215.200	346.998	2.333.430	7.401.120	12.463.900	5.369.330	422.191	621.870.016	70.254.000	268.039.008	32.068.000
2002	11.297.600	358.386	2.403.030	7.640.680	12.549.100	5.926.810	419.036	865.075.008	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	277.356.992	33.863.000
2004	10.532.900	364.062	2.403.300	8.075.150	12.781.000	5.980.150	397.299	778.969.984	93.416.000	276.988.992	32.573.000
2005	10.569.300	361.351	2.128.490	8.327.020	13.409.300	6.800.700	386.708	811.188.992	84.790.000	278.953.984	32.405.000
2006	10.875.100	369.008	2.166.610	8.979.850	13.790.000	6.218.200	397.642	797.526.976	100.202.000	291.084.992	32.481.000
2007	11.514.900	374.067	2.085.780	9.514.180	14.470.200	6.710.760	401.081	891.659.008	111.489.000	272.251.008	35.867.000
2008	12.256.600	457.577	1.930.720	9.605.340	15.147.400	6.837.530	392.864	902.051.968	107.955.000	243.423.008	39.840.000
2009	12.759.800	474.701	1.932.930	10.198.800	15.815.300	6.974.730	398.758	1.026.380.032	111.418.000	249.963.008	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	1.177.990.016	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	1.344.189.952	146.622.000	276.776.992	43.710.000
2014	14.726.900	502.516	1.335.150	16.091.800	18.639.500	7.694.130	428.052	1.443.350.016	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	1.528.329.984	155.007.008	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	1.632.569.984	161.350.000	294.161.984	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	3149380000	263.918.000	311.912.000	51.950.400
2020	17.118.650	561.061	1.141.298	17.794.344	18.975.955	8.922.654	393.454	3.149.382.220	2.639.189.004	311.912.413	58.243.335

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 PUSDATIN Kementerian Pertanian; Aplikasi urea, Emisi langsung dan tidak langsung N₂O dari tanah yang dikelola 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 PUSDATIN Kementerian Pertanian dan BPS (Badan Pusat Statistik). Secara rinci sumber data untuk perhitungan emisi dari sumber agregat dan emisi Non-CO₂ dapat dilihat pada **Tabel 22**.

TABEL 22 DATA DAN SUMBER DATA PERHITUNGAN EMISI AGREGAT DAN SUMBER EMISI NON-CO₂ TAHUN 2020

No.	Kategori Sumber Emisi	Jenis Data Aktivitas	Sumber Data
1.	Pembakaran Biomassa	- Luas panen padi ladang - Luas panen padi sawah	Pusdatin Kementan
2.	Aplikasi Kapur Pertanian	- Luas perkebunan karet - Luas perkebunan kakao - Luas perkebunan sawit besar/perusahaan - Luas perkebunan sawit rakyat/smallholder	Pusadatin Kementan/ Badan Pusat Statistik
3.	Aplikasi Urea	- Konsumsi pupuk Urea	Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia (APPI)
4.	Emisi N ₂ O dari Pengelolaan Tanah	- Luas Panen Tanaman Pangan - Luas Panen Hortikultura - Luas Perkebunan Sawit Besar/Perusahaan - Luas Perkebunan Sawit Rakyat/Smallholder - Konsumsi Pupuk Urea, ZA & NPK	Pusdatin Kementan Pusdatin Kementan / Badan Pusat Statistik (BPS) Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia (APPI)

5.	Budidaya Padi Sawah	- Luas Panen Padi Sawah - Luas Baku Sawah Irigasi - Luas Baku Sawah Non Irigasi (Ha) - Luas Panen Sawah SLPTT, SRI & Varietas Rendah Emisi	Pusdatin Kementan
----	---------------------	---	-------------------

Berikut adalah data-data yang digunakan dalam perhitungan emisi dari agregat dan sumber emisi Non-CO₂ sebagai berikut:

TABEL 23 DATA KONSUMSI PUPUK NASIONAL TAHUN 2000-2020

Tahun	Urea (Ton)	NPK (Ton)	ZA (Ton)
2000	4.570.770	NE	594.710
2001	4.069.580	NE	580.724
2002	4.022.390	NE	529.399
2003	4.336.730	NE	511.129
2004	4.656.720	NE	633.404
2005	4.842.540	NE	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	3.572.390	2.395.700	570.546

Keterangan: NE: *Not Estimated*

TABEL 24 DATA LUAS SAWAH NASIONAL TAHUN 2000-2020

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
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

Keterangan:

- Data Tahun 2000-2017 hasil rekalkulasi berdasarkan metode KSA (Kerangka Sampel Area) Antara BPS, BIG, ATR/BPN dan Kementan Tahun 2018

TABEL 25 TATA LUAS TANAMAN PANGAN NASIONAL TAHUN 2000-2020

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	285.265	79.205	628.305

Keterangan :

- Data tahun 2020 masih menggunakan data tahun 2019

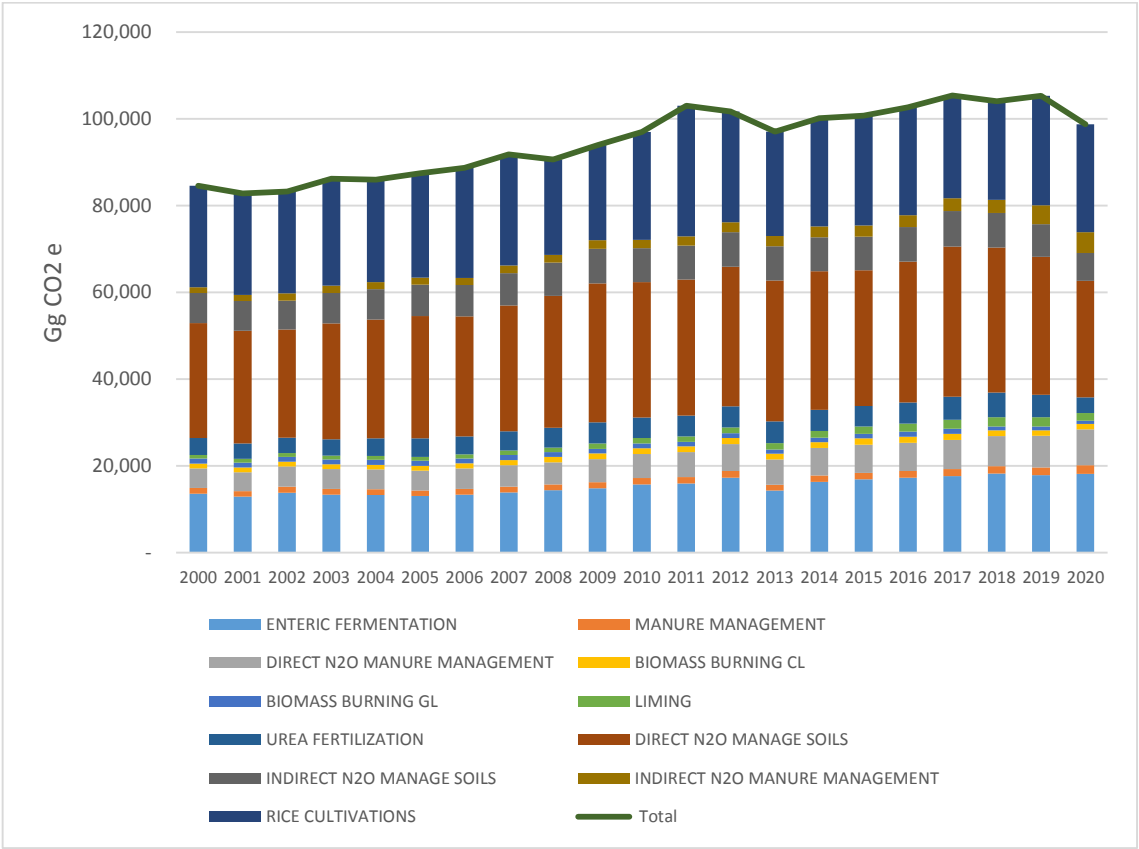
TABEL 26 DATA LUAS AREAL PERKEBUNAN NASIONAL 2000-2020

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

E. Perhitungan Emisi GRK

Dari hasil perhitungan emisi GRK sektor pertanian, dapat diketahui bahwa pada tahun 2000, total emisi GRK dari tiga gas utama (CO₂, CH₄ dan N₂O) dari sektor pertanian adalah sebesar 84.537,46 Gg CO₂e, pada tahun 2020, meningkat menjadi 98.702,96 Gg CO₂e. Berdasarkan sumber emisi, pada tahun 2020 emisi utama dari sektor pertanian berasal dari emisi N₂O langsung dari tanah yang dikelola (27,20 %), budidaya padi sawah %) dan fermentasi enterik (18,41 %). Bila dibandingkan dengan emisi pada tahun 2019 sebesar 105.300,85 Gg CO₂e maka emisi GRK sektor pertanian tahun 2020 **terjadi penurunan** sebesar 6.597,89 Gg CO₂e atau sebesar 6,27%. Emisi GRK dari sektor pertanian menunjukkan kecenderungan peningkatan pada periode 2000-2019, dan menunjukkan penurunan pada tahun 2020. Emisi dari sektor pertanian untuk seluruh kategori pada tahun 2000-2020 dapat dilihat pada **Gambar 34**.



GAMBAR 34. EMISI DARI SEKTOR PERTANIAN MENURUT KATEGORI TAHUN 2000-2020

TABEL 27 REKAPITULASI EMISI SEKTOR PERTANIAN TAHUN 2000-2020

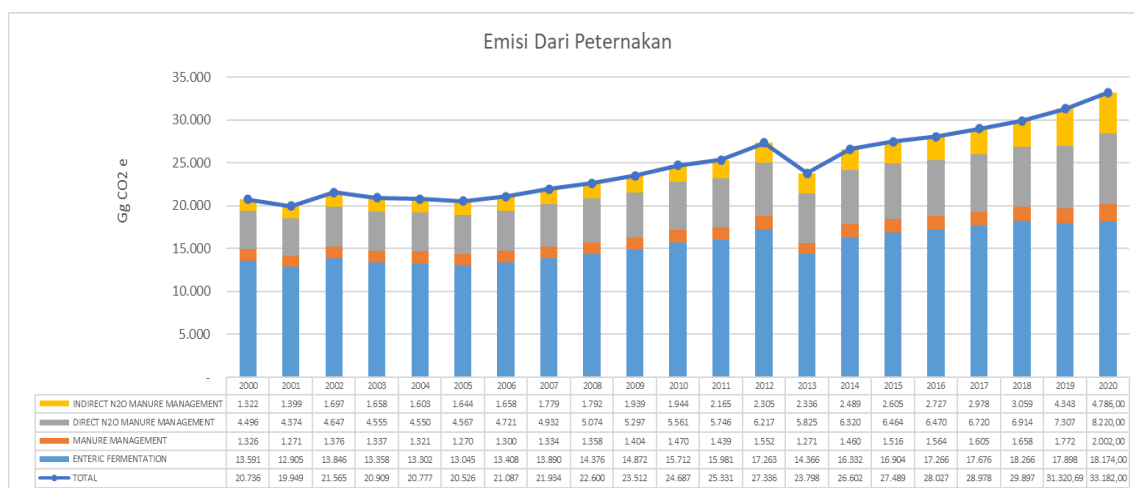
NO.	CATEGORY	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	ENTERIC FERMENTATION	13.591,40	12.905,48	13.845,75	13.358,23	13.302,28	13.044,63	13.407,98	13.889,76	14.376,34	14.872,07	15.711,61
2	MANURE MANAGEMENT	1.326,28	1.270,68	1.375,60	1.337,26	1.321,27	1.270,02	1.300,37	1.333,62	1.357,77	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

NO.	CATEGORY	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
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
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
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
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
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
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
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	3.589,00
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	26.845,84
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	6.414,16
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
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
	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	98.702,96

1. Peternakan

Dari hasil perhitungan total emisi dari sub sektor peternakan pada tahun 2020 yaitu sebesar 33.182,00 Gg CO₂e, **lebih tinggi** dari emisi pada tahun 2019 yaitu 31.320,69 Gg CO₂e. Emisi GRK sub Sektor Peternakan menunjukkan kecenderungan peningkatan pada periode 2000-2020 (**Gambar 35**). Hal ini disebabkan oleh kenaikan populasi beberapa jenis ternak terutama jenis unggas (*poultry*) yang mengalami kenaikan jumlah populasi yang cukup signifikan.

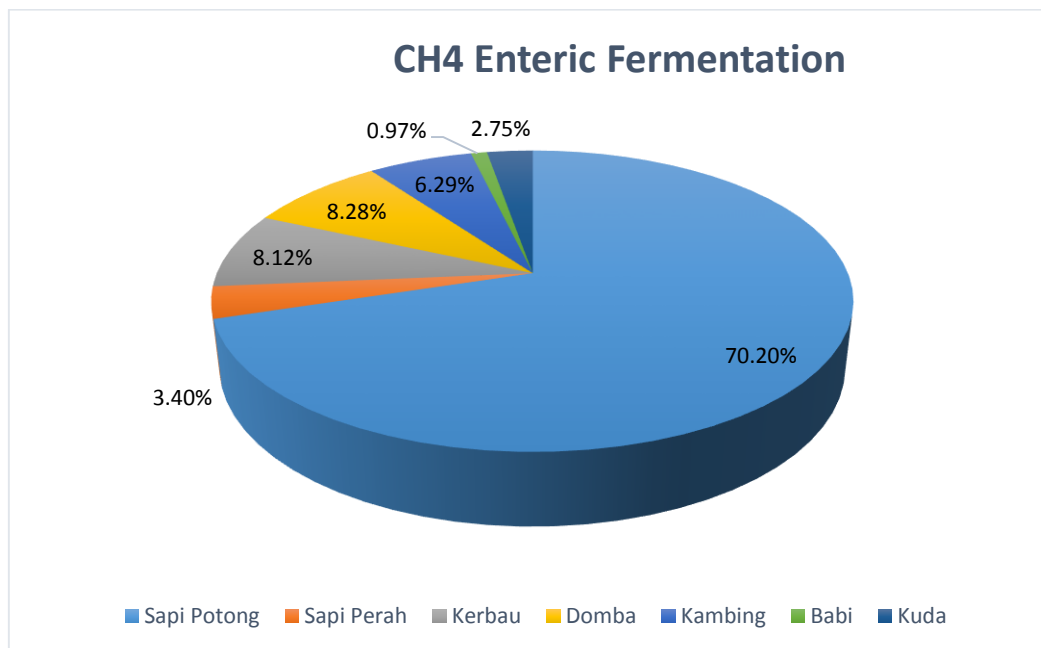
Sumber penyumbang emisi terbesar terhadap total emisi pada tahun 2020 dari sub sektor peternakan adalah dari kategori emisi CH₄ dari fermentasi enterik dengan persentase 57,14%, diikuti oleh emisi N₂O langsung dari pengelolaan kotoran ternak 23,33%, emisi N₂O tidak langsung dari pengelolaan kotoran ternak 13,86% dan emisi CH₄ dari pengelolaan kotoran ternak 5,65%.



GAMBAR 35. TREND EMISI CO₂E DARI SEKTOR PETERNAKAN TAHUN 2000-2020

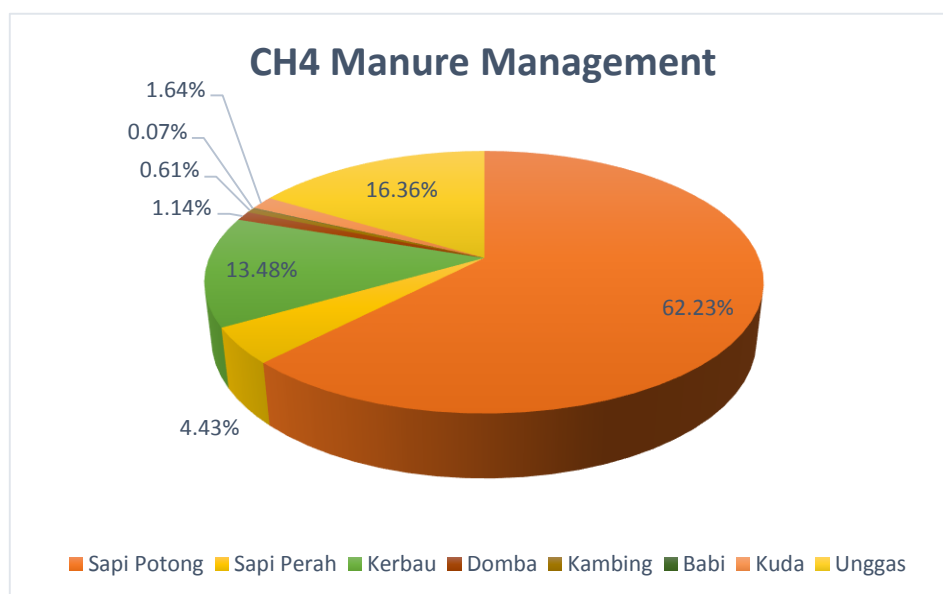
1.1. Emisi *Methane* dari Peternakan

Dari hasil perhitungan emisi sub sektor peternakan emisi methane dari fermentasi enterik Tahun 2020 di Indonesia disajikan seperti pada **Gambar 36**, emisi terbesar dihasilkan oleh ternak jenis sapi potong (70,20%), domba (8,28%), kerbau (8,12%), dan kambing (6,12%). Sedangkan jenis ternak lainnya masing-masing menyumbang gas *methane* di bawah 4%.



GAMBAR 36. PERSENTASE GAS METHANE DARI FERMENTASI ENTERIK JENIS TERNAK TAHUN 2020

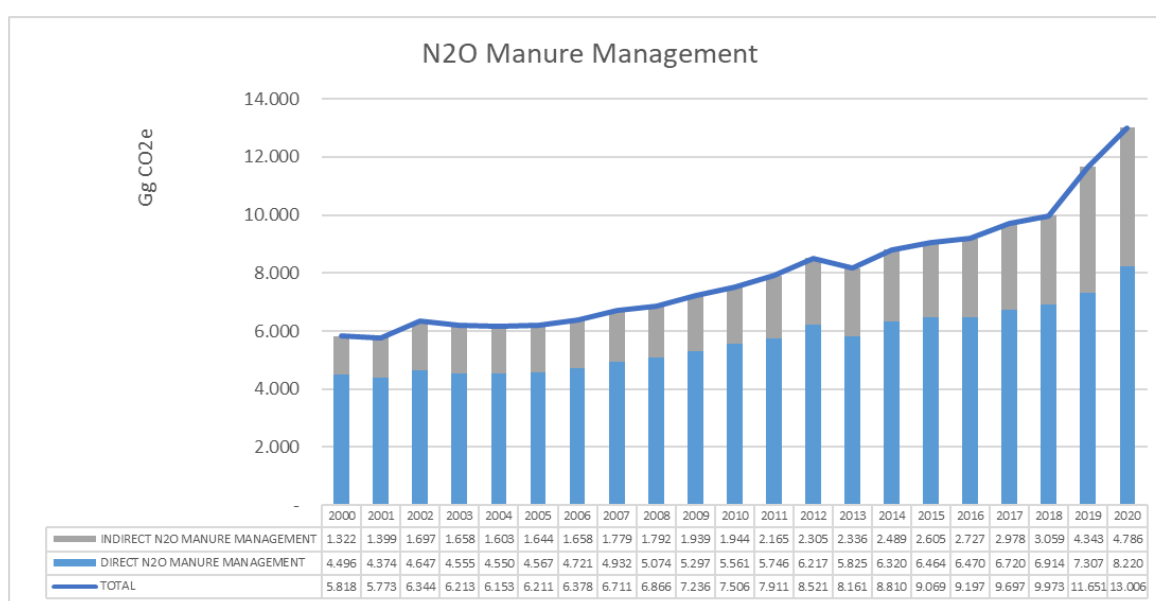
Sedangkan emisi *methane* dari pengelolaan kotoran ternak tahun 2019 di Indonesia disajikan seperti pada **Gambar 37**, emisi terbanyak dihasilkan oleh sapi potong (62,23%), unggas (16,36%), kerbau (13,48%) dan sapi perah (4,43%). Sedangkan jenis ternak lainnya masing-masing menyumbang gas *methane* di bawah 2%.



GAMBAR 37. PERSENTASE GAS METHANE DARI PENGELOLAAN KOTORAN JENIS TERNAK TAHUN 2020

1.2. Emisi N₂O dari Peternakan

Emisi N₂O dari peternakan dihasilkan dari kegiatan pengelolaan kotoran ternak baik secara langsung maupun tidak langsung. Dari hasil perhitungan emisi N₂O langsung dari pengelolaan kotoran ternak pada Tahun 2020 sebesar 8.220 Gg CO₂e, sedangkan emisi N₂O tidak langsung sebesar 4.786 Gg CO₂e, **meningkat** dibandingkan dengan tahun 2019, dimana emisi N₂O langsung sebesar 7.307 Gg CO₂e dan emisi N₂O tidak langsung sebesar 4.343 Gg CO₂e. Kecenderungan emisi N₂O dari sub sektor peternakan baik secara langsung maupun tidak langsung dari Tahun 2000-2020 secara umum meningkat, hal ini sejalan dengan meningkatnya kebutuhan protein hewani dari ternak yang semakin meningkat. Secara rinci tingkat dan kecenderungan emisi N₂O dari sub sektor peternakan dapat dilihat pada **Gambar 38**.



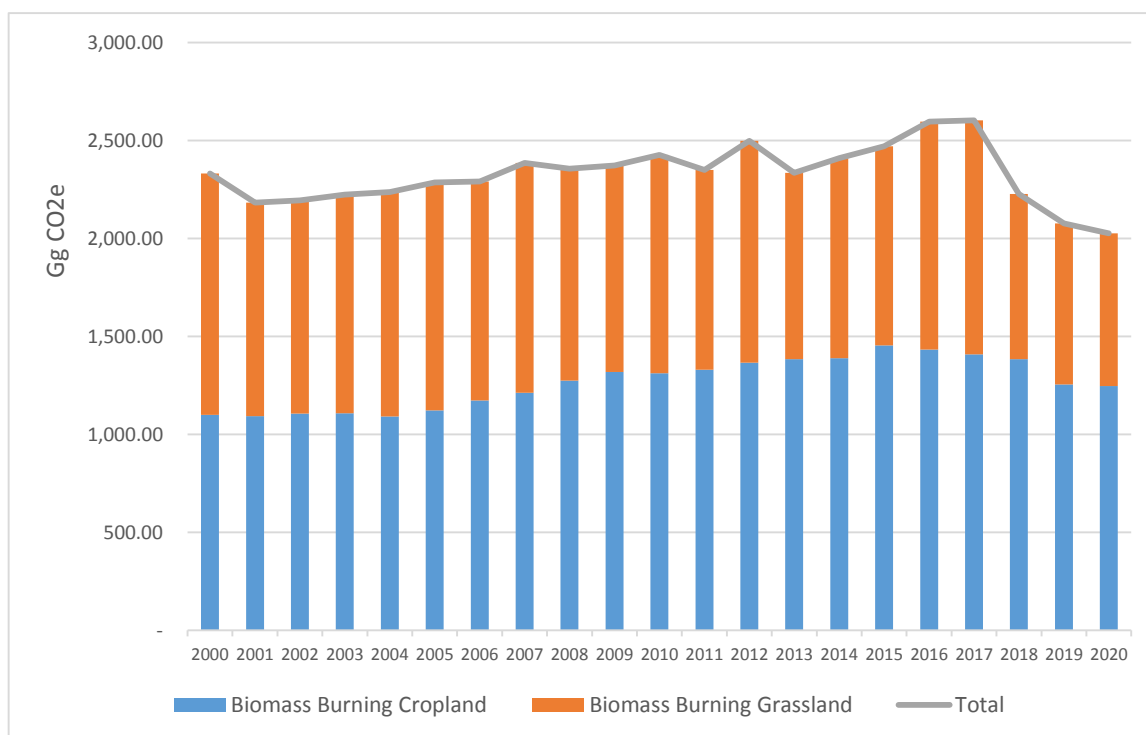
GAMBAR 38. EMISI N₂O LANGSUNG DAN TIDAK LANGSUNG DARI PENGELOLAAN KOTORAN TERNAK PADA PERIODE 2000-2020

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

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

1) Emisi dari Pembakaran Biomassa

Emisi GRK dari pembakaran padang rumput (*Biomass Burning Grassland*) dihitung berdasarkan luas panen padi ladang (gogo) pada periode 2000-2020. Sedangkan emisi dari pembakaran lahan pertanian (*Biomass Burning Cropland*) dihitung berdasarkan data luas panen padi dan produksi padi sawah. Kedua data tersebut bersumber dari Pusdatin Kementerian Pertanian, dimana pada tahun 2020 terdapat penurunan data luas sawah akibat dari perubahan metode penghitungan luas lahan sawah. Hasil perhitungan menunjukkan emisi dari pembakaran biomassa pada padang rumput (*grassland*) pada tahun 2020 sebesar 780,57 Gg CO₂e mengalami penurunan dibandingkan emisi pada tahun 2019 sebesar 821,64 Gg CO₂e. Emisi dari pembakaran biomassa pada lahan pertanian pada tahun 2020 sebesar 1.246,38 Gg CO₂e juga mengalami sedikit penurunan dibandingkan dengan emisi pada tahun 2019 sebesar 1.254,56 Gg CO₂e. Kecenderungan emisi dari pembakaran biomassa dari tahun 2000-2017 secara umum mengalami peningkatan dan di tahun 2018-2020 mengalami penurunan. Secara rinci total emisi dari pembakaran biomassa pada tahun 2020 dapat dilihat pada **Gambar 39**.

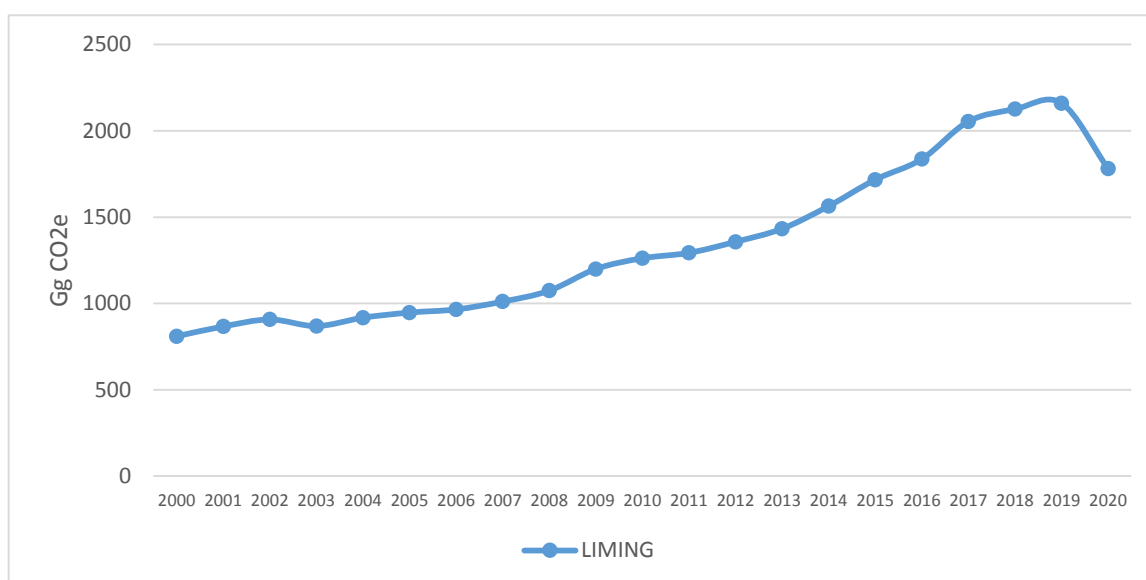


GAMBAR 39. EMISI DARI PEMBAKARAN BIOMASSA PADA PERIODE 2000-2020

2) Aplikasi Kapur Pertanian

Emisi CO₂ dari aplikasi kapur pertanian dihitung dengan menggunakan pendekatan (proxy) terhadap jumlah aplikasi kapur pertanian (sesuai dosis yang dianjurkan) untuk perkebunan kelapa sawit, karet dan kakao, yang ditanam pada tanah sulfat masam dan tanah organik (lahan gambut). Sedangkan aplikasi kapur pertanian untuk tanaman pangan relatif jarang diterapkan oleh petani. Dengan menggunakan metode ini, emisi

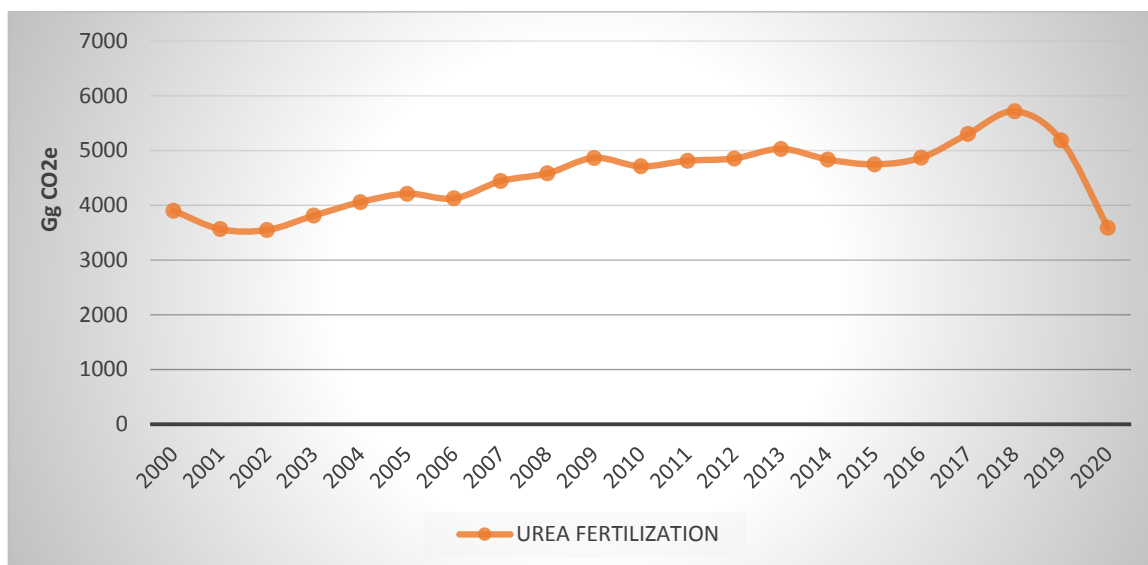
CO₂e dari pengapuran pada 2000-2020 ditunjukkan pada **Gambar 40**. Konsumsi kapur di Indonesia meningkat secara konsisten dengan perluasan lahan gambut untuk perkebunan kelapa sawit setelah tahun 2000. Emisi dari pengapuran sebesar 1.781,24 Gg CO₂e pada tahun 2020 mengalami sedikit kenaikan dibandingkan dengan emisi Tahun 2019 sebesar 2.160,21 Gg CO₂e. Secara umum emisi dari pengapuran tanah dari tahun 2000-2019 cenderung meningkat dan mengalami penurunan di tahun 2020.



GAMBAR 40. EMISI CO₂ DARI APLIKASI KAPUR DI BIDANG PERTANIAN TAHUN 2000-2020

3) Aplikasi Pupuk Urea

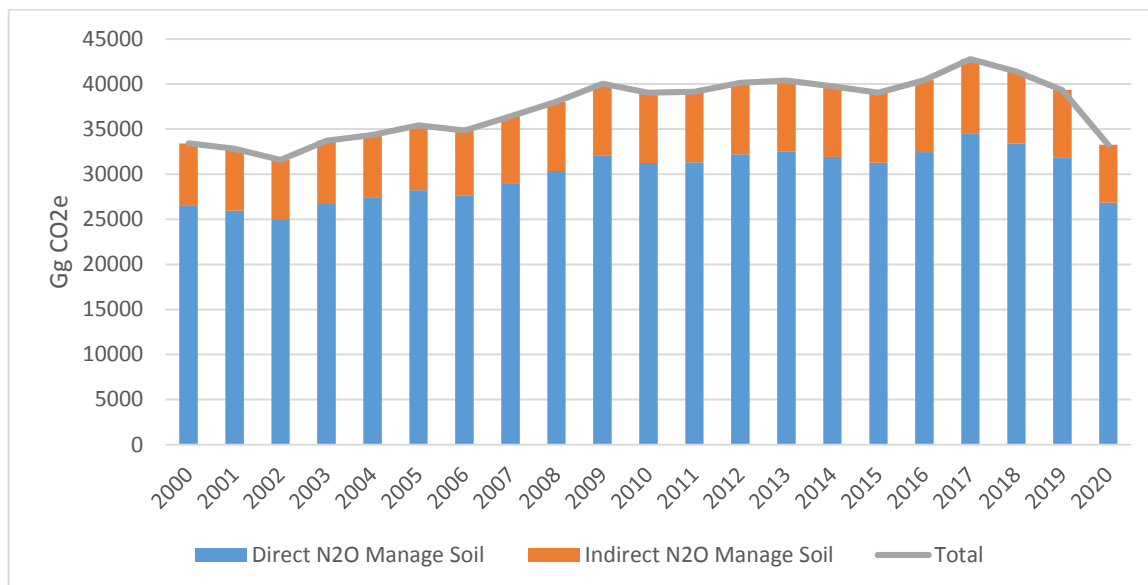
Data aktivitas konsumsi urea untuk tahun 2000-2020 berasal dari konsumsi pupuk di pasar domestik yang diperoleh dari APPI (Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia). Selain itu, aplikasi urea juga diperkirakan dari perkebunan kelapa sawit (termasuk perkebunan rakyat) dengan menghitung dosis urea yang dianjurkan dikalikan dengan luas perkebunan. Emisi dari aplikasi urea di sektor pertanian secara rinci dapat dilihat pada **Gambar 41**, dengan emisi sebesar 3.900,30 Gg CO₂e pada tahun 2000 dan 3.589,00 Gg CO₂e pada tahun 2020. Tingkat emisi pada tahun 2020 ini lebih kecil dibandingkan dengan tingkat emisi pada tahun 2019 sebesar 5.182,29Gg CO₂e. Emisi dari aplikasi urea cenderung meningkat mengikuti peningkatan produksi tanaman khususnya padi dari tahun 2000-2018, dimana area panen padi sawah yang cenderung meningkat dari tahun ke tahun.

GAMBAR 41. EMISI CO₂ DARI APLIKASI PUPUK UREA DI TAHUN 2000-2020

4) 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 2000-2020 ditunjukkan pada **Gambar 42**. Fluktuasi N₂O emisi langsung dari tanah yang dikelola dapat dikaitkan dengan konsumsi urea, NPK dan AS di bidang pertanian di Indonesia.



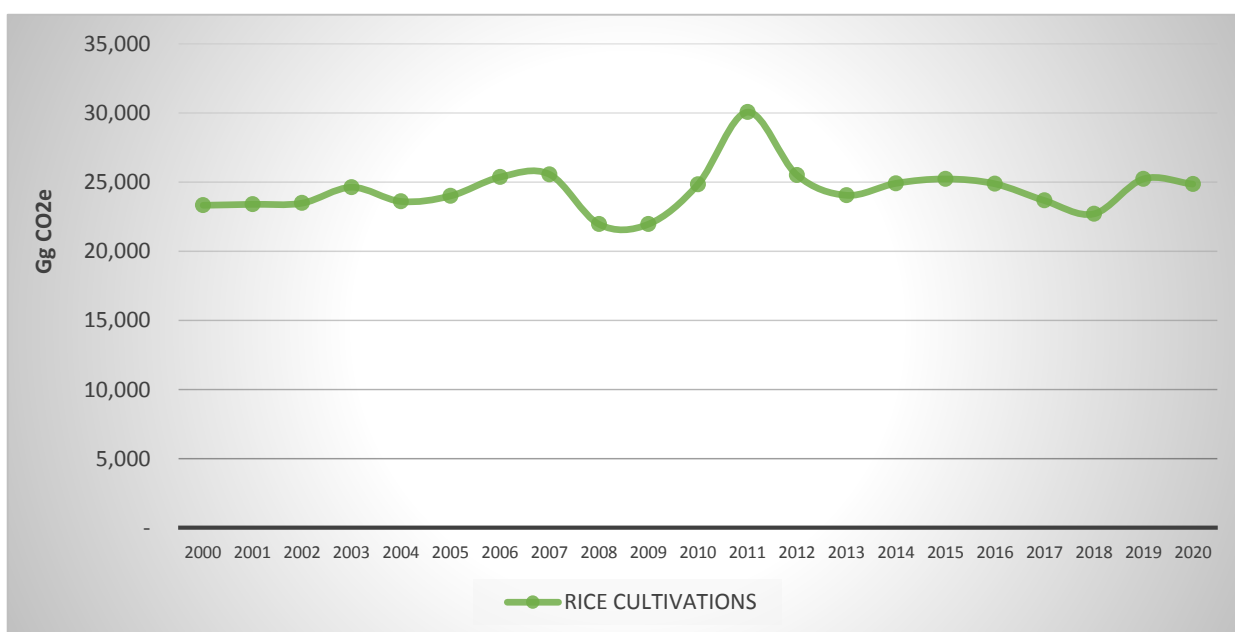
GAMBAR 42. EMISI N₂O DARI TANAH YANG DIKELOLA TAHUN 2000-2020

Dari hasil perhitungan pada Tahun 2000, emisi langsung N₂O adalah 26.767,15 Gg CO₂e dan menurun menjadi 26.845,84 Gg CO₂e pada tahun 2020. Demikian juga untuk emisi N₂O tidak langsung, angka menunjukkan tren peningkatan emisi. Pada tahun 2020 (6.414,16 Gg CO₂e) mengalami penurunan dibandingkan dengan emisi tahun 2000 (6.951,65 Gg CO₂e). Peningkatan emisi N₂O dari tanah yang dikelola 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 - 2020 mengalami penurunan jika dibandingkan dengan emisi pada Tahun 2017 karena adanya penurunan luasan lahan sawah.

3. 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 2000-2020. Untuk data luas sawah baik sawah irigasi maupun sawah non irigasi untuk tahun 2000-2017 dilakukan rekalkulasi sehubungan dengan berubahnya metode pengumpulan data yaitu dengan metode KSA (Kerangka Sampel Area) mulai tahun 2018. 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 2000 sebesar 23.335,16 Gg CO_2e dan cenderung mengalami peningkatan secara konsisten sampai dengan Tahun 2020 dengan emisi sebesar 24.863,76 Gg CO_2e . Adanya peningkatan emisi ini sejalan dengan meningkatnya luas panen yang disebabkan terutama oleh meningkatnya luas tanam padi sawah. Hal ini sejalan dengan program pemerintah dalam hal ketahanan pangan dimana Kementerian Pertanian mempunyai misi untuk dapat meningkatkan produksi dan poduksivitas tanaman pangan khususnya padi. Secara rinci emisi CH_4 dari budidaya padi sawah Tahun 2000-2020 terlihat pada **Gambar 43**.



GAMBAR 43. EMISI METANE DARI BUDIDAYA PADI TAHUN 2000-2020

F. Sumber Emisi Kunci (*Key Category Analysis*) Sektor Pertanian

Hasil perhitungan sumber emisi kunci atau analisis kategori kunci pada sektor pertanian di tahun 2020 menunjukkan bahwa, kontribusi terbesar adalah emisi dari N₂O langsung dari tanah yang dikelola dengan kontribusi sebesar 27,20 %, emisi dari budidaya padi sawah dengan kontribusi sebesar 25,19 % dan selanjutnya adalah emisi dari fermentasi enterik dengan kontribusi 18,41 % 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 2020 dapat dilihat pada **Tabel 28**.

TABEL 28 ANALISIS KATEGORI KUNCI SEKTOR PERTANIAN TAHUN 2020

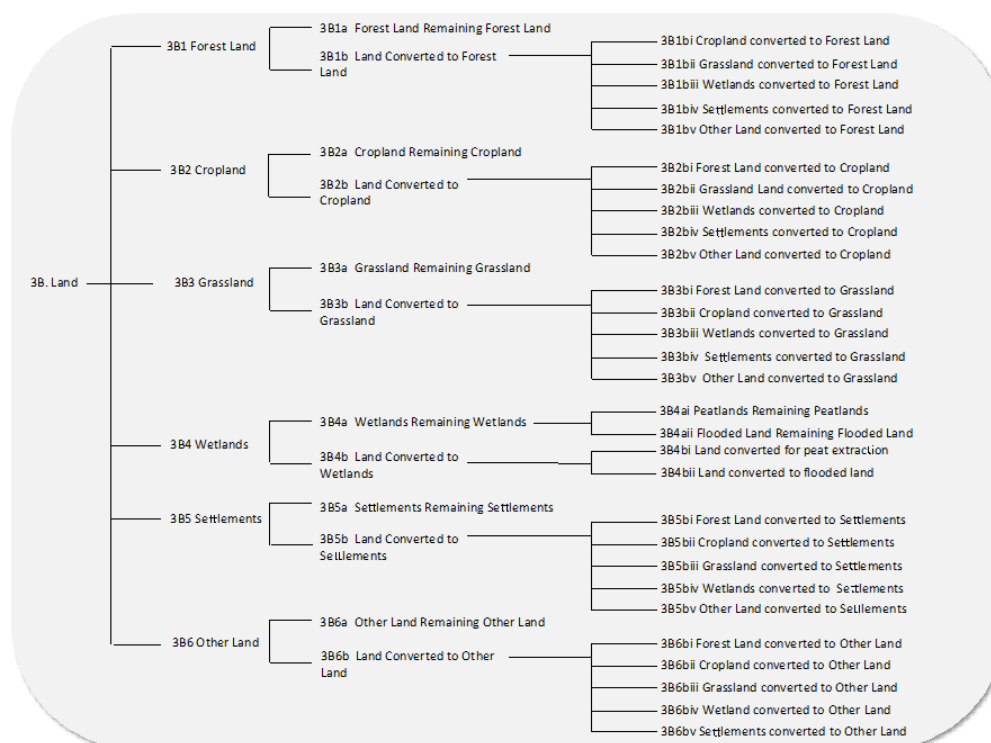
Kode	Kategori	Gas	Emisi (CO ₂ e)	Kontribusi %	Akumulasi %
3.C4	DIRECT N ₂ O MANAGE SOILS	N ₂ O	26.845,84	27,20	27,20
3.C7	RICE CULTIVATIONS	CH ₄	24.863,76	25,19	52,39
3.A1	ENTERIC FERMENTATION	CH ₄	18.174,00	18,41	70,80
3.A2b	DIRECT N ₂ O MANURE MANAGEMENT	N ₂ O	8.220,00	8,33	79,13
3.C5	INDIRECT N ₂ O MANAGE SOILS	N ₂ O	6.414,16	6,50	85,63
3.C6	INDIRECT N ₂ O MANURE MANAGEMENT	N ₂ O	4.786,00	4,85	90,48
3.C3	UREA FERTILIZATION	CO ₂	3.589,00	3,64	94,11
3.A2a	MANURE MANAGEMENT	CH ₄	2.002,00	2,03	96,14
3.C2	LIMING	CO ₂	1.781,24	1,80	97,95
3.C1a	BIOMASS BURNING CL	CH ₄ , N ₂ O	1.246,38	1,26	99,21
3.C1b	BIOMASS BURNING GL	CH ₄ , N ₂ O	780,57	0,79	100,00
			98.702,96	100,00	

3.2.3.2. Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

A. Sumber Kategori Emisi/Serapan GRK

Pada sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya, emisi/serapan GRK dikategorisasikan berdasarkan 6 (enam) kategori penggunaan lahan utama IPCC. Dimana pada setiap kategori penggunaan lahan tersebut dikelompokkan menjadi lahan yang tetap/tersisa dalam kategori penggunaan lahan yang sama dan lahan yang berubah ke penggunaan lahan-lahan lainnya. Untuk itu, emisi/serapan GRK dari setiap kategori penggunaan lahan diklasifikasikan menjadi 12 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 42).



GAMBAR 44. CAKUPAN SUMBER EMISI GRK DARI SEKTOR KEHUTANAN DAN PENGGUNAAN LAHAN LAINNYA

B. Jenis Gas

Berdasarkan IPCC *Guidelines* 2006, jenis GRK utama dari sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya adalah CO₂, CH₄ dan N₂O.

C. Periode Inventarisasi

Inventarisasi emisi GRK yang dilaporkan pada laporan ini adalah untuk periode 2000-2020.

D. Sumber Data

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

1. Data Perubahan Tutupan Lahan

Data perubahan tutupan lahan diperoleh dari peta tutupan lahan yang dihasilkan oleh Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumberdaya Hutan, Ditjen Planologi dan Tata Lingkungan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Set data tutupan lahan yang tersedia dan digunakan untuk melengkapi inventarisasi GRK

pada sektor ini adalah data tahun 1996, 2000, 2003, 2006, 2009, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, dan 2017, 2018, 2019 dan 2020.

2. Data Produksi Kayu

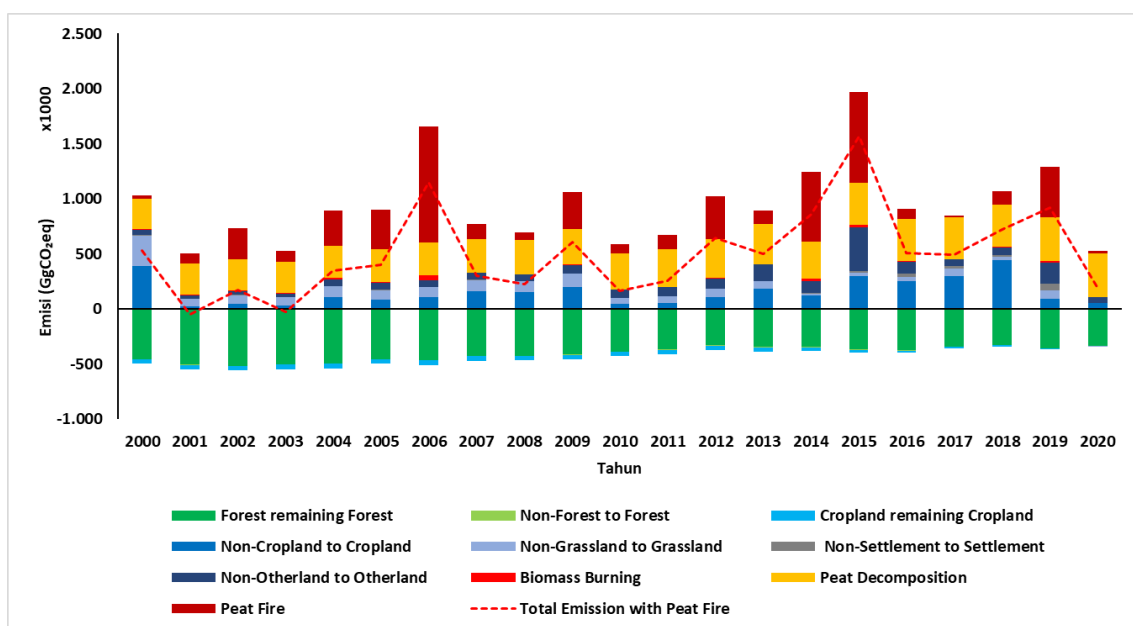
Data kayu yang digunakan dalam inventarisasi ini adalah kayu bulat dan kayu bakar. Data kayu bulat diperoleh dari Statistik Direktorat Jenderal Pengelolaan Hutan Produksi Lestari, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Untuk data kayu bulat Tahun 2000 diperoleh dari BPS. Data kayu bakar diperoleh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

3. Data Luas Kebakaran Hutan dan Lahan

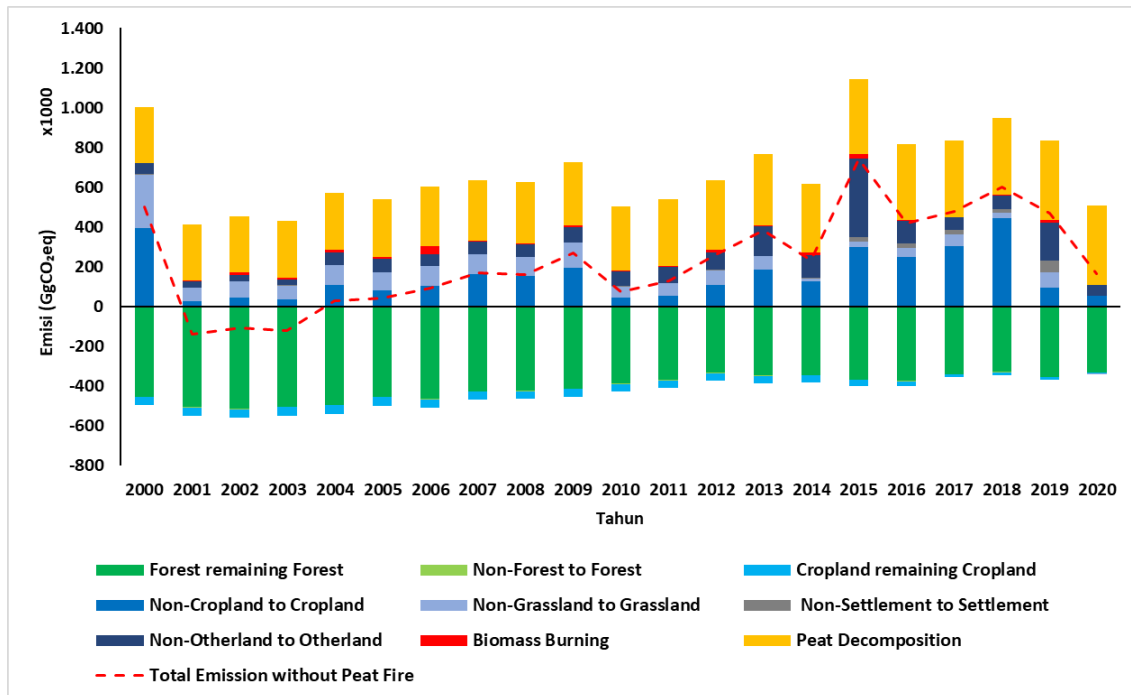
Data luas kebakaran hutan dan lahan digunakan untuk menduga emisi dari kebakaran gambut dan emisi non-CO₂ dari *Biomass Burning*. Data luas kebakaran hutan dan lahan pada tanah gambut dan mineral diperoleh dari Direktorat Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan, Ditjen Pengendalian Perubahan Iklim, Kementerian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

E. Perhitungan Emisi/Serapan GRK

Dari hasil inventarisasi dan penghitungan, total emisi GRK pada sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya pada tahun 2020 adalah sebesar **183.435 Gg CO₂e**, lebih rendah 80 % dari tahun 2019. **Gambar 45** menunjukkan tren emisi sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya dengan *peat fire*, sedangkan **Gambar 46** menunjukkan tren emisi tanpa *peat fire*. Melihat kedua grafik tersebut, dapat diketahui bahwa emisi GRK sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya memiliki trend yang fluktuatif, dan *peat fire* memiliki pengaruh besar dalam menentukan trend emisi/serapan GRK sektor ini.



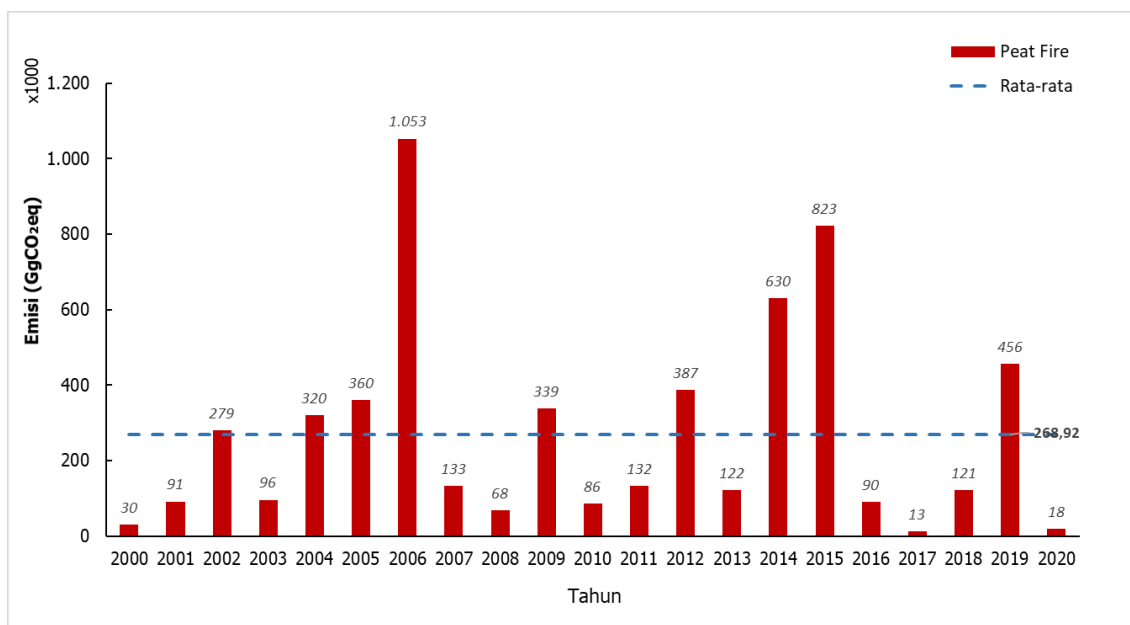
GAMBAR 45. EMISI DARI SEKTOR KEHUTANAN DAN PENGGUNAAN LAHAN LAINNYA TAHUN 2000-2020 (DENGAN *PEAT FIRE*)



GAMBAR 46. EMISI DARI SEKTOR KEHUTANAN DAN PENGGUNAAN LAHAN LAINNYA TAHUN 2000-2020 (TANPA *PEAT FIRE*)

Rata-rata emisi GRK selama periode tahun 2000-2020 adalah sebesar 499.329 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 47** menunjukkan bahwa di tahun 2020 emisi dari kebakaran gambut adalah sebesar 18.460 Gg CO₂e, **turun** dari tahun 2019 yang sebesar 456.427 Gg CO₂e. Hal tersebut berbanding lurus dengan adanya penurunan luas gambut yang terbakar, yaitu dari 494.450 Ha pada tahun 2019, menjadi 19.998 Ha pada tahun 2020.



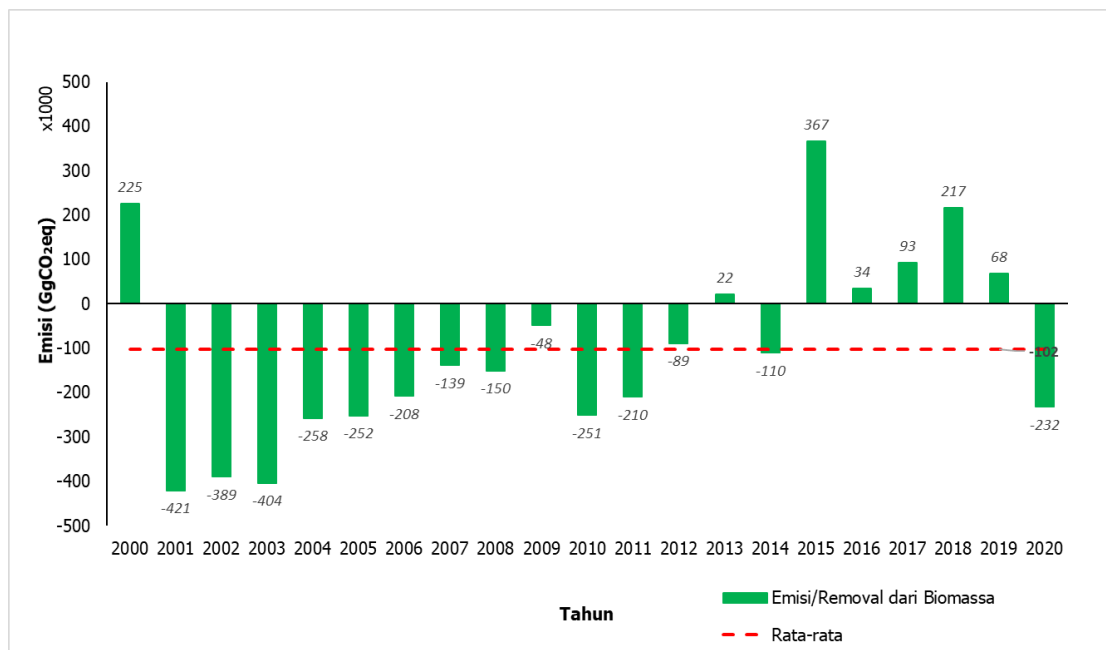
GAMBAR 47. EMISI DARI KEBAKARAN GAMBUT 2000-2020

Selain itu, terdapat Gas Non-CO₂ yang dihasilkan dari kebakaran yang menambah emisi dari biomassa di atas permukaan tanah, yaitu CH₄ sebesar 1.303 Gg CO₂e dan N₂O sebesar 786 Gg CO₂e (**Tabel 29**). Sedangkan penurunan tingkat emisi dari biomassa di atas permukaan tanah terjadi pada tahun 2001, 2010, 2014, 2016, dan 2020. Penurunan tingkat emisi dari biomassa di atas permukaan tanah dapat diartikan bahwa terjadi peningkatan cadangan karbon, khususnya pada sub kategori *Forestland remaining Forestland*.

TABEL 29 EMISI BIOMASS BURNING GAS NON-CO₂

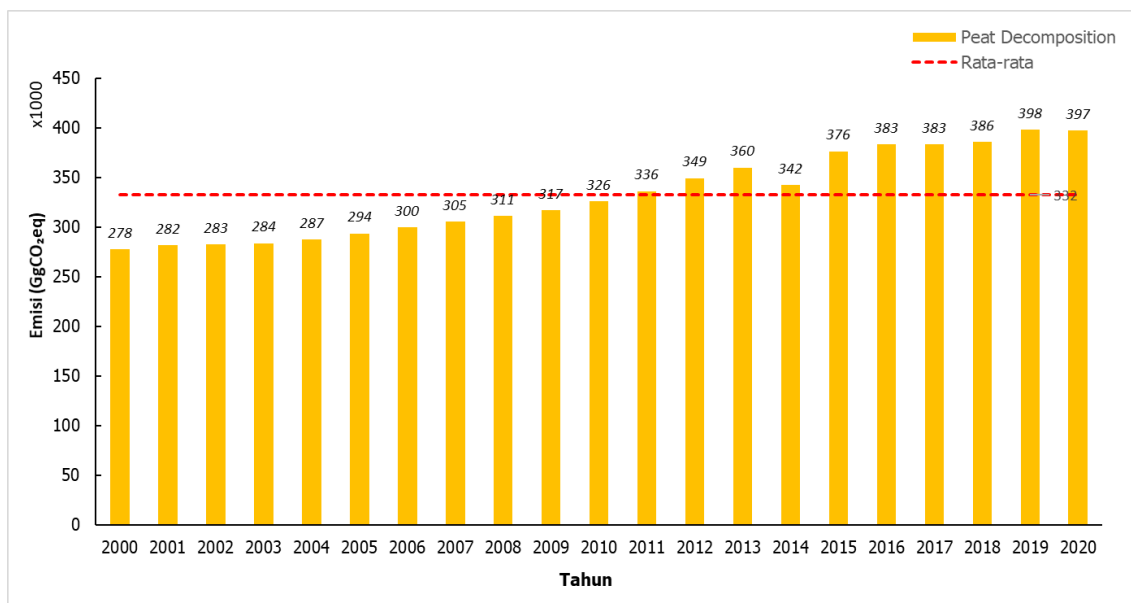
Kategori		CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ e
3C1. Biomassa Burning				
	3C1a. Biomass Burning in Forest Land	30,89	0,91	930,28
	3C1b. Biomass Burning in Crop Land	19,28	0,54	572,87
	3C1c. Biomass Burning in Grass Land	11,87	1,08	585,32
	Total CO₂e	1.302,86	785,60	2.088,46

Emisi dari biomassa di atas permukaan tanah ini berasal dari kedua jenis tanah yaitu gambut dan mineral. **Gambar 48** menunjukkan bahwa dalam tahun 2000 – 2020 terjadi beberapa fluktuasi emisi, yaitu pada tahun 2006, 2009, 2012, 2015 dan 2019. Fluktuasi emisi pada tahun-tahun tersebut sebagian besar disumbang oleh sub kategori *Non Otherland to Otherland* dan *Non Cropland to Cropland*. Hal ini dapat diindikasikan terjadi perubahan dari kategori kelas tutupan hutan ke non hutan.



GAMBAR 48. EMISI KARBON DI ATAS PERMUKAAN TANAH DARI KEHUTANAN DAN PENGGUNAAN LAHAN LAINNYA 2000-2020

Gambar 49 menunjukkan trend 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 49. EMISI DEKOMPOSISI GAMBUT 2000-2020

Emisi Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya dari tahun 2000 – 2020 dirangkum menggunakan format *IPCC Guideline 2006* seperti disajikan pada **Tabel 29** dan pada **Gambar 45** dan **Gambar 46**. **Tabel 29** menggambarkan perubahan-perubahan nilai emisi GRK dari tahun 2000-2020. Tabel tersebut menunjukkan bahwa sumber emisi utama dari sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya pada tahun 2020 adalah Dekomposisi gambut pada urutan pertama dengan emisi sebesar 397.423 Gg CO₂e, dan *Non-Otherland to Otherland* pada urutan kedua dengan emisi sebesar 52.943 Gg CO₂e.

Sumber serapan utama adalah *forest remaning forest* dengan serapan sebesar 335.018 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 47**, **Gambar 48**, dan **Gambar 49**.

TABEL 30 EMISI DARI SEKTOR KEHUTANAN DAN PENGGUNAAN LAINNYA TAHUN 2000-2020 (Gg CO₂E)

Code	Source Category	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
3B1a	Forest remaining Forest	-455.180	-507.268	-516.357	-505.420	-495.071	-454.213	-464.647	-426.614	-424.651	-413.846	-385.885
3B1b	Non-Forest to Forest	-2.055	-1.562	-1.652	-1.453	-2.863	-3.041	-2.814	-2.382	-2.468	-3.036	-5.641
3B2a	Cropland remaining Cropland	-40.474	-42.666	-42.579	-42.635	-42.488	-42.268	-41.830	-40.836	-39.778	-38.500	-38.279
3B2b	Non-Cropland to Cropland	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

Code	Source Category	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
3B1a	Forest remaining Forest	-368.838	-331.479	-345.487	-345.140	-367.876	-375.925	-340.318	-330.486	-357.188	-335.018
3B1b	Non-Forest to Forest	-5.253	-4.673	-5.781	-3.555	-2.157	-2.498	-2.055	-734	-52	-85
3B2a	Cropland remaining Cropland	-37.787	-36.787	-35.199	-33.580	-30.184	-21.764	-14.503	-15.022	-10.189	-3.464
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
3B3a	Grassland remaining Grassland	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
3B4a	Wetland remaining Wetland	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
3B5a	Settlement remaining Settlement	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
3B6a	Otherland remaining Otherland	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
3C	Biomass Burning	3.974	10.496	3.736	16.523	24.369	4.221	1.149	4.202	14.573	2.088
	Biomass FOLU	-209.686	-89.324	21.620	-110.360	366.657	34.195	92.587	216.588	68.220	-232.449
Other	Peat Decomposition	336.073	349.262	359.863	342.202	376.186	383.189	383.418	385.600	398.178	397.423
	Total emission without Peat Fire	126.388	259.937	381.483	231.841	742.843	417.385	476.005	602.188	466.397	164.974
Other	Peat Fire	131.707	386.787	121.851	630.231	822.736	90.267	12.512	121.322	456.427	18.460
	Total emission with Peat Fire	258.095	646.724	503.334	862.072	1.565.579	507.652	488.517	723.510	922.825	183.435

Keterangan: NE = *Not Estimated*

F. Sumber Emisi Kunci

Berdasarkan analisis kategori kunci sebagaimana **Tabel 31**, sumber emisi/serapan kunci pada sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya tahun 2020 adalah Peat Decomposition dengan kontribusi emisi sebesar 46,01%, Forest Remaining Forest dengan kontribusi serapan sebesar 38,78%, Non-Otherland to Otherland dengan kontribusi emisi 6,13% dan Non-Cropland to Cropland dengan kontribusi emisi sebesar 5,97%.

TABEL 31 ANALISIS KATEGORI KUNCI SEKTOR KEHUTANAN DAN PENGGUNAAN LAHAN LAINNYA

Kategori	Emisi CO ₂ Eq (Gg)	Absolute	Kontribusi (%)	Kumulatif (%)
Other: Peat Decomposition	397.422,84	397.422,84	46,01	46,01
3B1a. Forest Remaining Forest	-335.018,10	335.018,10	38,78	84,79
3B6b. Non-Otherland to Otherland	52.942,87	52.942,87	6,13	90,92
3B2b. Non-Cropland to Cropland	51.608,25	51.608,25	5,97	96,89
Other: Peat Fire	18.460,42	18.460,42	2,14	99,03
3B2a. Cropland Remaining Cropland	-3.463,77	3.463,77	0,40	99,43
3C. Biomass Burning	2.088,46	2.088,46	0,24	99,67
3B3b. Non-Grassland to Grassland	-1.635,28	1.635,28	0,19	99,86
3B5b. Non-Settlement to Settlement	1.113,96	1.113,96	0,13	99,99
3B1b. Non-Forest to Forest	-84,90	84,90	0,01	100,00
3B3a. Grassland Remaining Grassland	0,00	0,00	0,00	100,00
3B4a. Wetland Remaining Wetland	NE	NE	NE	NE
3B4b. Non-Wetland to Wetland	NE	NE	NE	NE
3B5a. Settlement Remaining Settlement	0,00	0,00	0,00	100,00
3B6a. Otherland Remaining Otherland	0,00	0,00	0,00	100,00
Total	183.434,76	863.838,84	100,00	100,00

Keterangan: NE = *Not Estimated*

3.2.4. Sektor Limbah

A. Kategori Sumber Emisi GRK

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

Jika pada laporan 1st BUR dan TNC baru diperhitungkan emisi dari 3 sub kategori saja yaitu: limbah padat domestik (*domestik solid waste*), limbah cair domestik (*domestic wastewater*) dan limbah cair industri (*industrial wastewater*), maka sejak tahun 2018 melalui laporan 2nd BUR dilakukan perbaikan dengan menyertakan sumber emisi dari kategori baru yaitu limbah padat industri (*industrial solid waste*), meskipun baru sebatas 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 kategori ini kemudian secara konsisten disampaikan pada dokumen laporan tahunan nasional untuk penghitungan emisi tahun 2017 dan seterusnya, termasuk laporan tahunan nasional 2021 (emisi 2019) dan pelaporan 3rd BUR tahun 2021.

A. Jenis Gas

Berdasarkan IPCC GL 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.

B. Periode Waktu

Inventarisasi GRK yang dilaporkan dalam laporan ini adalah periode tahun 2000-2020.

C. Sumber Data

Data aktivitas dan parameter inventarisasi GRK sektor limbah diklasifikasikan berdasarkan kategori dalam IPCC *guideline* 2006, yaitu pengelolaan limbah padat domestik, pengelolaan limbah padat industri, pengelolaan limbah cair domestik dan pengelolaan limbah cair industri.

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. Namun demikian sampah padat domestik dari daerah perkotaan umumnya diolah di TPA, sedangkan sampah padat domestik dari daerah pedesaan umumnya diolah setempat dengan jalan open burning dan/atau open dumping. Jumlah sampah padat domestik tahunan diperoleh dari dokumen ADIPURA yang disampaikan oleh seluruh kota di Indonesia digunakan sebagai data aktivitas. Meskipun data ADIPURA telah tersedia sejak tahun 2003, namun sebelum 2014 laporan dokumen TNC hanya menghimpun data provinsi/kabupaten/kota secara kurang memadai dan baru setelah tahun 2014 tersedia data ADIPURA yang mengakomodir lebih banyak data provinsi/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.

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

TABEL 32 KOMPOSISI SAMPAH DI TPA

No.	Komponen	Komposisi Sampah (% berat basah)						IPCC GL 2006
		Sumatera Utara	Sumatera Selatan	Riau	DKI Jakarta	Jawa Timur	Rata-Rata*)	(Asia Tenggara)
1	Sisa Makanan	54,62%	56,62%	47,23%	49,72%	53,30%	49,86%	43,50%
2	Kertas	11,39%	10,01%	11,34%	10,79%	3,63%	10,82%	12,90%
3	Nappies	6,06%	5,35%	7,50%	5,93%	6,26%	6,04%	-
4	Taman	8,02%	5,90%	4,12%	7,70%	9,02%	7,39%	-
5	Kayu	0,01%	0,44%	3,50%	0,78%	0,60%	0,95%	9,90%
6	Tekstil	3,28%	2,43%	3,56%	4,10%	2,30%	3,97%	2,90%

7	Karet dan Kulit	0,84%	0,59%	1,79%	0,37%	0,07%	0,51%	0,60%
8	Plastik	13,15%	16,15%	16,74%	19,26%	23,42%	18,80%	6,30%
9	Logam	0,37%	0,50%	0,84%	0,30%	0,21%	0,35%	1,30%
10	Kaca	1,59%	1,11%	1,46%	0,59%	0,75%	0,71%	2,20%
11	Lain-lain (anorganik, inert)	0,68%	0,90%	1,94%	0,47%	0,44%	0,60%	5,40%

Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 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, 2012

1. 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 second 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. Pada laporan nasional 2020 ini dan juga laporan Third BUR 3, sumber emisi GRK dari 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 hanya diperoleh untuk periode 2010 dan seterusnya

2. 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 ($EF = Bo * MCF$, kg CH₄/kg BOD) merujuk pada nilai *default* IPCC GL 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 domestic		BPS: Statistik Kesejahteraan Rakyat (hasil survey susenas)
	BOD (Biological Oxygen Demand)	40 gram/org/hari atau Setara 14,6 kg/org/tahun	Angka Default IPCC GL 2006
	Kapasitas Produksi CH ₄ max	0,60 kg CH ₄ /kgBOD	
	Fraksi N dalam protein	0,16 kg N/kg protein	
	F non-consumption protein	1,10	
	F protein industri yang dibuang di saluran pembuangan	1,25	
	N sludge (default = 0)	0 kGram	
	Faktor Emisi N ₂ O	0,005 kg N ₂ O-N/kg N	
	Faktor konversi kg N ₂ O-N menjadi kg N ₂ O, 44/28	1,571	
	Emisi dari IPAL (default = 0)	- kg N ₂ O-N/year	
Faktor Emisi	Kapasitas maksimum produksi CH ₄	0,6 Kg CH ₄ /Kg BOD atau 0,25 Kg CH ₄ / kg COD	
	MCF	Treated dan untreated	
	EF Effluent (Kg N ₂ O-N/ kg-N)	0,005	
	EF Plants (g N ₂ O/orang/thn)	3,2	

Sumber: Nilai default IPCC GL (2006); Data Konsumsi Protein Susenas – BPS Maret (2020)

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 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 *second BUR* dan *Third 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

	Treatment	Fraction	Degrees of Utilization
Before 2010 (assumed)			
Rural	Septic tank	0.50	0.52
	Non Septic tank	0.50	0.48
Urban	Septic tank	0.50	0.79
	Non Septic tank	0.50	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	0.21
	Bio-digesters	0.498	0.00001
2011			
Rural	Septic tank	0.4952	0.45
	Non Septic tank	0.4952	0.55
Urban	Septic tank	0.5048	0.79
	Non Septic tank	0.5048	0.21
	Bio-digesters	0.5048	0.00002
2019			
Rural	Septic tank	0.4399	0,70
	Non Septic tank	0.4399	0,30
Urban	Septic tank	0.5600	0,87
	Non Septic tank	0.5600	0,11
	Centralized	0.5600	0,01
	Bio-digesters	0.5600	0,00009

3. Limbah Cair Industri

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 GL 2006.

A. Perhitungan Emisi GRK

Emisi GRK sektoral dari limbah selama periode 2000 – 2020 terangkum pada tabel di bawah ini. 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 – 2020 cenderung mengalami penurunan setelah 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.

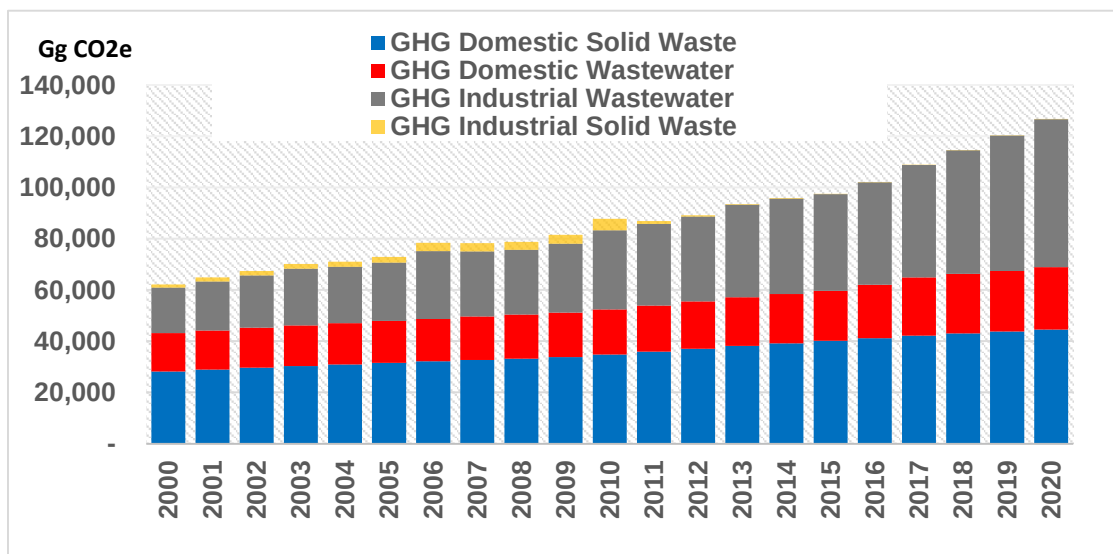
Perbaikan lainnya adalah penggunaan nilai default MCF WWT pada industri pati (starch) dengan MCF lebih tinggi, yaitu 0,9 yang merupakan unit WWT anaerobik dalam (anaerobic deep lagoon). Survei lapangan primer untuk sejumlah industri pati di Lampung menunjukkan bahwa IPAL di sebagian besar industri pati 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 BUR 2 menggunakan nilai default maksimum MCF (= 0.3).

Selain itu, faktor emisi POME yang diolah di kolam terbuka mengacu pada Pedoman Produksi Biomassa Berkelanjutan BLE (2010) [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 EFA mengacu pada parameter yang ditunjukkan oleh regulasi baku mutu (pembangkitan air limbah) dan beberapa fasilitas, data lingkungan (COD), karena belum tersedia data baku dari ISPO.

Total emisi sektor limbah pada tahun 2020 adalah sebesar 126.797 GgCO₂-e. Pengolahan limbah cair industri (IWW) masih menjadi penyumbang emisi terbesar dari sektor limbah dengan angka sebesar 57.675 GgCO₂-e atau 45,49%. Selanjutnya berturut-turut diikuti oleh emisi dari limbah padat domestik (MSW) sebesar 44.533 GgCO₂-e (35,12%), limbah cair domestik sebesar (DWW) 24.443 GgCO₂-e (19,28%) dan limbah padat industri (ISW) sebesar 145 GgCO₂-e (0,11%).

TABEL 36 EMISI GRK DARI SEKTOR LIMBAH TAHUN 2000-2020

Tahun	GHG MSW (GgCO ₂ -e)	GHG DWW (GgCO ₂ -e)	GHG IWW (GgCO ₂ -e)	GHG ISW (GgCO ₂ -e)	GHG TOTAL (GgCO 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	44.533	24.443	57.675	145	126.797

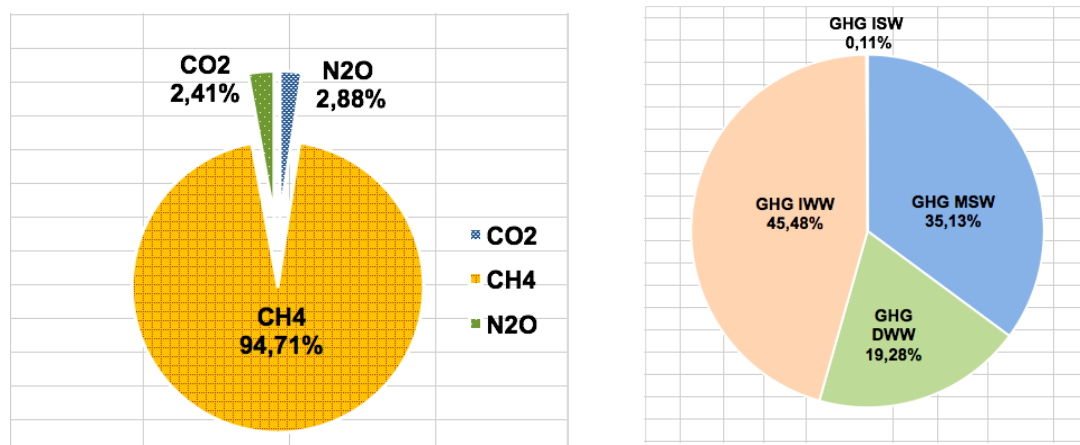
**GAMBAR 50.** EMISI GRK DARI KEGIATAN PENGELOLAAN LIMBAH 2000-2020

TABEL 37 COMMON REPORTING FORMAT OF THE GHG EMISSION FROM WASTE CATEGORY IN 2020

GHG Source and Sink Categories		CO ₂ *	CH ₄	N ₂ O	TOTAL
		(Ggram CO ₂ -e)			
Total Waste		3.056	120.092	3.648	126.797
A.	Solid waste disposal				
1.	Manage waste disposal sites				
1.1	Managed domestic waste disposal sites				
1.2	Manage Industrial waste disposal		22,14		22,14
2.	Unmanage domestic waste disposal sites		39.183		39.183
3.	Uncategorised waste disposal sites				
B.	Biological treatment of solid waste				
1.	Composting of domestic solid waste		0,057	2,10	2,16
2.	Composting of industrial solid waste		0,90	0,80	1,71
3.	Anaerobic digestion at biogas facilities				
C.	Incineration and open burning of waste				
1.	Waste incineration				
2.	Open burning of domestic solid waste	3.055	1.943	351	5.349
D.	Wastewater treatment and discharge				
1.	Domestic wastewater		21.149	3.294	24.443
2.	Industrial wastewater		57.675		57.675
3.	Other (as specified in Table 5 D)				
E.	Other (please specify)				
1.	Industrial solid waste handling	1,14	119,74		120,88

*CO₂ emission from waste sector is derived from fossil content (C2) and as CO₂ equivalent emitted from pre-treatment of biomass fuel (E1)

Berdasarkan jenis gasnya, CH₄ merupakan gas utama yang dihasilkan dari sektor ini yaitu sebesar 120.092 GgCO₂-e (94,71%), dilengkapi oleh gas N₂O sebesar 3.648 GgCO₂-e (2,41%) dan gas CO₂ 3.056 GgCO₂-e (2,88%). Distribusi emisi GRK dari sektor sampah tahun 2020 menurut sumber dan jenis gasnya disajikan pada **Gambar 51**.

**GAMBAR 51.** DISTRIBUSI EMISI GRK SEKTOR LIMBAH TAHUN 2020

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 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	57.675	45,486	45,49
4A 2	Unmanaged Solid Waste Disposal	39.183	30,902	76,39
4D 1	Domestic Wastewater	24.443	19,277	95,67
4C	Open Burning of waste	5.349	4,219	99,88
4E 1	Other – Industrial Solid Waste Handling	120,88	0,095	99,98
4A 1.2	Managed Industrial Solid Waste Disposal	22,14	0,017	100
4B 1	Biological Treatment of Domestik Solid Waste	2,16	0,002	100
4B 2	Biological Treatment of Industrial Solid Waste	1,71	0,001	100
TOTAL		126.797	100%	100%

BAB IV

HASIL CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK

4.1. PENGURANGAN EMISI GRK NASIONAL TERVERIFIKASI

1. 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 penurunan emisi GRK sebesar 29% dan sampai 41% dibandingkan business as usual pada tahun 2030.
2. 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.

Berdasarkan perhitungan capaian pengurangan emisi GRK secara nasional dapat diketahui bahwa pada tahun 2019 terjadi pengurangan emisi GRK sebesar **68.986.099 ton CO₂e** dan pada tahun 2020 dengan pengurangan emisi GRK sebesar **573.951.814 ton CO₂e** atau **573,95 Juta ton CO₂e**, sebagaimana terlihat pada **Tabel 39**.

TABEL 39 CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK NASIONAL TERVERIFIKASI TAHUN 2019-2020

No.	Sektor	Capaian Pengurangan emisi GRK (ton CO ₂ e)	
		2019	2020
1.	Energi	69.397.457	75.522.359
2.	IPPU	2.697.696	2.730.564
3.	Kehutanan	-23.457.129	473.357.044
4.	Pertanian	20.063.000	20.982.200
5.	Limbah	288.074	1.359.647
	Total	68.986.099	573.951.814

Tabel tersebut menunjukkan adanya **peningkatan capaian pengurangan emisi GRK** tahun 2019 ke tahun 2020 di sektor Energi, IPPU, Kehutanan, Pertanian dan Limbah. Untuk sektor Kehutanan mengalami peningkatan yang cukup signifikan terhadap capaian pengurangan emisi GRK tahun 2020 apabila dibandingkan dengan capaian pengurangan emisi GRK tahun 2019. Hal ini disebabkan karena keberhasilan

dalam mengurangi terjadinya deforestasi dan degradasi hutan serta keberhasilan dalam pengendalian kebakaran hutan dan lahan gambut.

4.2 PENGURANGAN EMISI GRK SEKTORAL TERVERIFIKASI

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 5 sektor (kehutanan, energi, IPPU, pertanian dan limbah) yang telah dilaporkan oleh kementerian teknis selaku penanggung jawab aksi sesuai tupoksi kementerian/lembaga kepada KLHK melalui Tim MRV untuk dilakukan verifikasi atas capaian pengurangan emisi GRK.

Untuk memperoleh data capaian pengurangan emisi GRK dan/atau peningkatan serapan karbon yang memenuhi prinsip TACCC (*Transparent, Accurate, Consistence, Complete, and Comparable*) atau Transparan, Akurat, Konsisten, Komprehensif, dan Komparabel), Kementerian LHK telah menerbitkan Peraturan Menteri LHK Nomor 72 Tahun 2017 tentang Pedoman Pelaksanaan Pengukuran, Pelaporan dan Verifikasi Aksi dan Sumberdaya Pengendalian Perubahan Iklim. Pelaksanaan Peraturan Menteri LHK ini sebagai pendukung dalam pencapaian target pengurangan emisi GRK pada NDC.

4.2.1 Sektor Energi

Data pengurangan emisi GRK dari sektor energi diperoleh dari data energi yang disampaikan oleh Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral (ESDM), data sub sektor energi di transportasi yang disampaikan oleh Kementerian Perhubungan (Kemenhub) dan data sub sektor energi di industri yang disampaikan oleh Kementerian Perindustrian (Kemenperin).

Sebagaimana disebutkan dalam dokumen NDC bahwa sektor energi memiliki target pengurangan emisi GRK yang cukup besar yaitu 11% dari target 29% atau sebesar 314 Juta ton CO₂e di tahun 2030.

Untuk mencapai target NDC tersebut, Kementerian ESDM 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) kegiatan lainnya. Sementara Kemenhub telah melakukan aksi mitigasi dari 4 kelompok aksi yaitu (1) transportasi darat, (2) transportasi udara, (3) transportasi laut, (4) transportasi per-KA, dan Kemenperin melakukan aksi mitigasi untuk efisiensi energi di industri semen.

Terdapat aksi mitigasi pada sektor energi yang baru dilaporkan di tahun 2021 selain aksi mitigasi yang merupakan kegiatan lanjutan dari tahun sebelumnya, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/PLTBayu baik yang terhubung ke sistem jaringan listrik dan yang tidak terhubung (*on* dan *off grid*).

Dari pelaporan capaian pengurangan emisi GRK di Sektor Energi yang disampaikan oleh 3 kementerian teknis tersebut, terdapat hasil capaian pengurangan emisi GRK yang

dialihkan penghitungannya, yaitu aksi mitigasi Reklamasi Lahan Pasca Tambang (KESDM) dan Penghijauan Lingkungan di Bandar Udara (Kemenhub), yang dialihkan menjadi penghitungan serapan GRK dan dihitung di sektor lahan (kehutanan). Besarnya serapa GRK tersebut adalah sebesar **75.522.359 ton CO₂e atau 75,52 Juta ton CO₂e**.

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

TABEL 40 CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI SEKTOR ENERGI TAHUN 2020

Sektor / Sub Sektor	Capaian Pengurangan Emisi GRK Terverifikasi (ton CO ₂ e)
Energi	70.019.682
Industri	3.240.056
Transportasi	2.262.621
Total	75.522.359

Capaian pengurangan emisi GRK untuk Tahun Kegiatan 2020 terverifikasi di Sektor Energi termasuk sub sektor energi di industri dan sub sektor energi di transportasi untuk setiap aksi mitigasi yang telah dilakukan sebagaimana terlihat pada **Tabel 41, 42 dan 43**.

TABEL 41 CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI SEKTOR ENERGI TAHUN 2020

NO.	KATEGORI AKSI/AKSI MITIGASI	SUMBER DATA	CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI (Ton CO ₂ e)
I	Energy Efficiency (Efisiensi Energi)		
1	Penerapan mandatori manajemen energi untuk pengguna padat energi	Data Konservasi	5.889.282,00
2	Peningkatan efisiensi peralatan rumah tangga		
	- Compact Fluorescent Lamp (CFL)	Data Konservasi	3.840.657,00
	- Piranti pengkondisi udara (Air Conditioning)	Data Konservasi	6.207.103,00
3	Pembangunan PJU Retrofitting Lampu LED	Data Infrastruktur	18.003,00
4	Implementasi Joint Mechanism di	Data	14.925,00

	Indonesia	Sekretariat JCM	
	SUB TOTAL		15.969.970,00
II	RE as Power & RE as Fuel (Energi Baru Terbarukan)		
5	Pembangkit Energi Baru Terbarukan		
	- PLTP	Data Panas Bumi	5.031.191,00
	- PLTMH		
	PLTMH off Grid	Data Aneka EBT	57.660,00
	PLTMH on Grid	Data DJK	523.414,00
	- PLTM		
	PLTM off Grid	Data Aneka EBT	
	PLTM on Grid	Data DJK	351.298,00
	- PLTS		
	PLTS off Grid	Data Aneka EBT	26.122,00
	PLTS on Grid	Data DJK	106.704,00
	- PLTS Rooftop		
	PLTS Rooftop (APBN)	Data Aneka EBT	17.654,00
	PLTS Rooftop (IPP/Swasta)	Data Aneka EBT	5.966,00
	- PLT Hybrid	Data Aneka EBT	3.576,00
	- PLT Bayu		
	PLT Bayu off grid	Data Aneka EBT	6.128,00
	PLT Bayu on grid	Data Aneka EBT	260.763,00
	- PLT Biomassa	Data Bioenergi	1.296.238,00
	- Pembangunan PLTA	Data DJK	32.929,00
6	Lampu Tenaga Surya Hemat Energi (LTSHE)		
	- FotoVoltaik (PV)	Data Aneka EBT	10.691,00
	- Lampu LED	Data Aneka EBT	275.782,00

7	PJU Tenaga Surya	Data Infrastruktur	7.272,00
8	Pemanfaatan Biogas	Data Bioenergi	12.169,00
9	Pemanfaatan Biodiesel	Data Bioenergi	22.307.107,00
	SUB TOTAL		30.332.664,00
III	Fuel Switching (Bahan Bakar Rendah Karbon)		
10	Fuel switching BBM Transportasi (RON 88 ke RON 90, 92, 98+)	Data BPH Migas/Pusdat in	297.026,00
11	Program Konversi Minyak Tanah ke LPG	Data BPH Migas/Pusdat in	14.028.200,00
12	Penggunaan gas alam sebagai bahan bakar angkutan u	Data BPH Migas/Pusdat in	-
13	Peningkatan sambungan rumah yang teraliri gas bumi melalui pipa	Data BPH Migas/Pusdat in	30.145,00
	SUB TOTAL		14.355.371,00
IV	Clean Coal Combution (Penggunaan Teknologi Pembangkit Bersih)		
14	Aksi Mitigasi Sektor Ketenagalistrikan		
	- Penggunaan Clean Coal Technology pada PLTU Batubara (Supercritical)	Data DJK	3.368.737,00
	- Penggunaan Combine Cycle Technology pada PLTGU	Data DJK	49.125,00
	- Pengoperasian Pembangkit Listrik Gas Baru	Data DJK	5.943.815,00
	SUB TOTAL		9.361.677,00
V	Post Mining Reclamation (Reklamasi Pasca Tambang - Kegiatan Lain)		
15	Reklamasi lahan pasca tambang	Data Minerba	-
	SUB TOTAL		-
	TOTAL		70.019.682,00
	MTon Co2		70,02

TABEL 42 CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI SUB SEKTOR ENERGI DI INDUSTRI TAHUN 2020

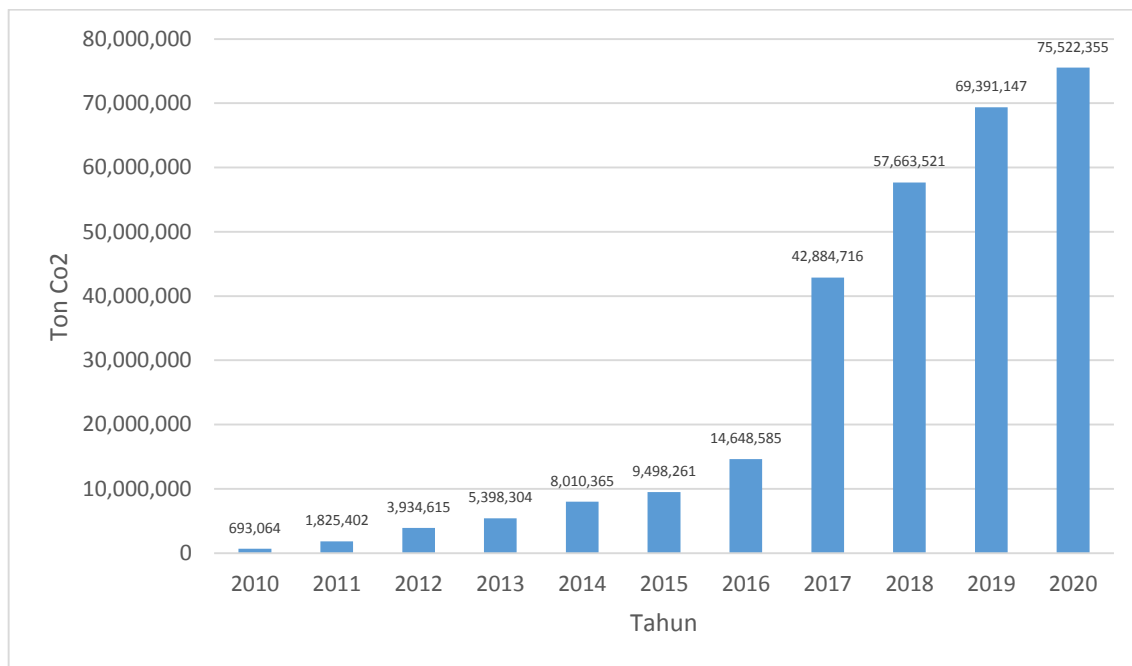
No.	Aksi Mitigasi	Capaian Pengurangan Emisi GRK Terverifikasi (ton CO ₂ e)
1.	Efisiensi Energi melalui Pemanfaatan Bahan Bakar Alternatif	3.240.055,98
	TOTAL	3.240.055,98

TABEL 43 CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI SUB SEKTOR ENERGI DI TRANSPORTASI TAHUN 2020

NO	AKSI MITIGASI PER SUB SEKTOR	CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI (TON CO ₂ e)
1	SUB SEKTOR PERHUBUNGAN DARAT	
a	Mendorong pembinaan dan Pengembangan Sistem Transit – Bus Rapid Transit (BRT) / Semi BRT	788.106,68
b	Pemanfaatan Teknologi Lalu Lintas untuk Kelancaran Lalu Lintas di Jalan Nasional / (Area Traffic Control System/ ATCS)	99.230,61
c	Penggunaan Solar Cell dalam Penerangan Jalan Umum (PJU)	8.442,32
d	Implementasi LDF (Long Distance Ferry)	-
e	Penggunaan Sarana Bantu Navigasi Pelayaran (SBNP) Darat berbasis solar cell	476,29
	Jumlah (1)	896.255,90
2	SUB SEKTOR PERHUBUNGAN LAUT	
a	Efisiensi Manajemen Operasional Pelabuhan (Pembangunan Teknologi Sollar Cell pada Sarana Bantu Navigasi Pelayaran)	4.972,00
b	Modernisasi Kapal (Peremajaan Kapal & Teknologi Kapal) (Kapal Perintis)*	43.105,85
c	Shore Connection	202,88

	Jumlah (2)	48.280,73
3	SUB SEKTOR PERHUBUNGAN UDARA	
a	Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya	4.463,00
b	Pemanfaatan Sollar Cell untuk Penerangan Jalan	5.823,00
c	Penggunaan lampu Light Emitting Diode (LED) untuk penerangan bandar udara dan rambu navigasi penerbangan	2.035,00
d	Penghijauan Lingkungan Bandar Udara	-
	Jumlah (3)	12.321,00
4	SUB SEKTOR PERKERETAAPIAN	
a	Pembangunan Jalur Ganda Lintas Utara Jawa & KA Sumatera	1.105.491,68
b	Pembangunan KA Perkotaan Jabodetabek	197.564,81
c	KA Bandara Soekarno Hatta dan Bandara Kuala Namu	2.706,44
	Jumlah (4)	1.305.762,93
TOTAL (Ton CO2e)		2.262.620,56
TOTAL (MTon CO2e)		2,26

Capaian pengurangan emisi GRK terverifikasi berdasarkan pelaporan kinerja aksi mitigasi yang disampaikan oleh KESDM, Kemenhub dan Kemenperin dari tahun 2010-2020, sebagaimana terlihat pada **Gambar 52**.



GAMBAR 52. CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI SEKTOR ENERGI TAHUN 2010-2020

4.2.2 Sektor IPPU

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

- Penerapan modifikasi proses dan teknologi pada industri semen, melalui penurunan ratio klinker, sebagai data capaian pengurangan emisi GRK di sektor IPPU
- 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.

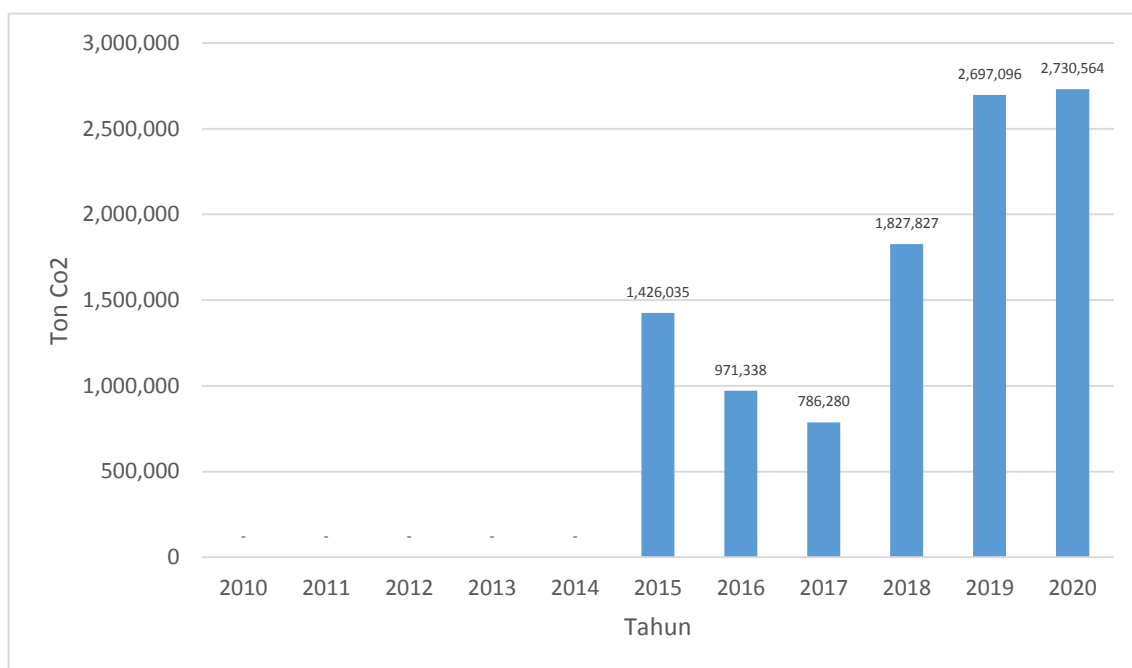
Terhadap pelaksanaan aksi mitigasi Penurunan Ratio Klinker di 14 (empat belas) plant industri semen, Kemenperin selaku Penanggung Jawab Aksi menyatakan bahwa pada tahun 2020–telah melakukan pengurangan emisi GRK sebesar **2.730.564 ton CO₂e atau 2,73 juta ton CO₂e**.

Capaian pengurangan emisi GRK terverifikasi untuk aksi mitigasi Penurunan Ratio Klinker di Industri Semen pada tahun 2020 sebagaimana tertuang pada **Tabel 44**.

TABEL 44 CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI SEKTOR IPPU TAHUN 2020

No.	Aksi Mitigasi	Capaian Pengurangan Emisi GRK (ton CO ₂ e)
1.	Penurunan Ratio Clinker di Industri Semen	2.730.564
	TOTAL	2.730.564

Capaian pengurangan emisi GRK terverifikasi Sektor IPPU yang disampaikan oleh Kemenperin terhitung dari tahun 2010-2020, sebagaimana terlihat pada **Gambar 53**.

**GAMBAR 53.** CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI SEKTOR IPPU TAHUN 2010-2020

4.2.3 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)

Namun pada tahun 2020 Kementerian Pertanian melalui surat kepala Biro Perencanaan Nomor: B.2055/RC-010/A1/09/2021 tanggal 27 September 2021 melaporkan 7 aksi mitigasi sektor pertanian tahun 2020 sebagai berikut:

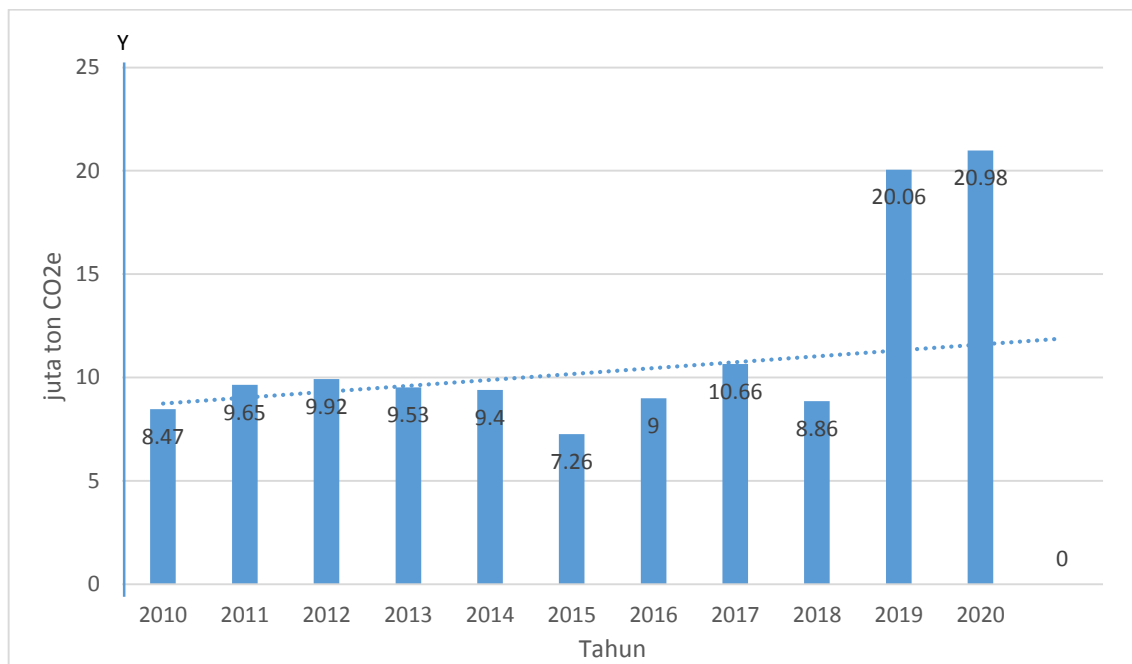
1. Mitigasi emisi CH₄ melalui pemanfaatan biogas kotoran ternak (BATAMAS)
2. Peningkatan cadangan karbon tanah melalui penggunaan pupuk organik sebagai dampak penggunaan UPPO dan pengelolaan bahan organik,
3. Desa Organik,
4. Mitigasi emisi CH₄ dari pengelolaan lahan sawah melalui pengaturan rezim air dan varietas padi,
5. Perbaikan kualitas pakan,
6. Pemupukan Berimbang
7. Pengelolaan muka air tanah (MAT) lahan gambut

Aksi Mitigasi yang dilaporkan Kementerian Pertanian pada tahun 2020 memiliki data aktivitas sebagaimana **Tabel 45**.

TABEL 45 DATA AKTIVITAS SEKTOR PERTANIAN TAHUN 2020

No	Aksi Mitigasi	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	BATAMAS (Unit)	952	1.172	1.416	1.592	1.592*	796*	398*	199*	115***	67	59
2	UPPO (Unit)	340	1.476	1.576	1.999	1.999*	1.999	2.574	1.400	2.561	3.061	1.024
3	Desa Organik (desa)	-	-	-	-	-	-	-	-	7.440	155	1.090
4	Penerapan Teknologi Budidaya Tanamam											
	Padi Varietas Rendah Emisi (Ha)	-	-	-	-	-	-	-	-	6.573.009	6.484.122	6.484.122
	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 Perah											
	a. jumlah ternak untuk hijauan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.111.870	4.551.846
	b. jumlah ternak untuk konsentrat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.537.376	4.551.846
6	Pemupukan Berimbang luas lahan padi sawah (ha)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.677.877	10.657.275
7	Pengelolaan MAT luas yang di restorasi (ha)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	679.902	679.902

Capaian pengurangan emisi total dari Kementerian Pertanian adalah sebesar 20,98 juta ton CO₂e. Penurunan emisi ini berasal dari 7 aksi mitigasi GRK di sektor pertanian tahun 2020 sebesar 13,15 juta ton CO₂e, yaitu dengan pemanfaatan biogas kotoran ternak, Peningkatan cadangan karbon tanah melalui penggunaan pupuk organik sebagai dampak penggunaan UPPO dan pengelolaan bahan organik, Desa organik, Penanaman padi varietas rendah emisi, Perbaikan kualitas pakan sapi perah, dan Pemupukan Berimbang. Sementara itu pengurangan emisi dari aksi mitigasi Pengelolaan Tinggi Muka Air Gambut (TMA), yaitu 7,83 juta ton CO₂e akan diperhitungkan di dalam sektor FOLU. Pengurangan emisi terbesar sektor pertanian diperoleh dari aksi penerapan teknologi budidaya tanaman yang berasal dari luas lahan sawah yang menggunakan Varietas Rendah Emisi seluas 6.484.122 Ha.



GAMBAR 54 CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI SEKTOR PERTANIAN TAHUN 2010-2020

Laporan capaian pengurangan emisi terverifikasi di Sektor Pertanian Total Tahun 2020 adalah 20,98 Juta ton CO₂e sesuai dengan laporan capaian dari Kementerian Pertanian Tahun 2020 dengan beberapa saran penyesuaian.

TABEL 46 CAPAIAN PENGURANGAN EMISI AKSI MITIGASI TERVERIFIKASI SEKTOR PERTANIAN TAHUN 2010-2020

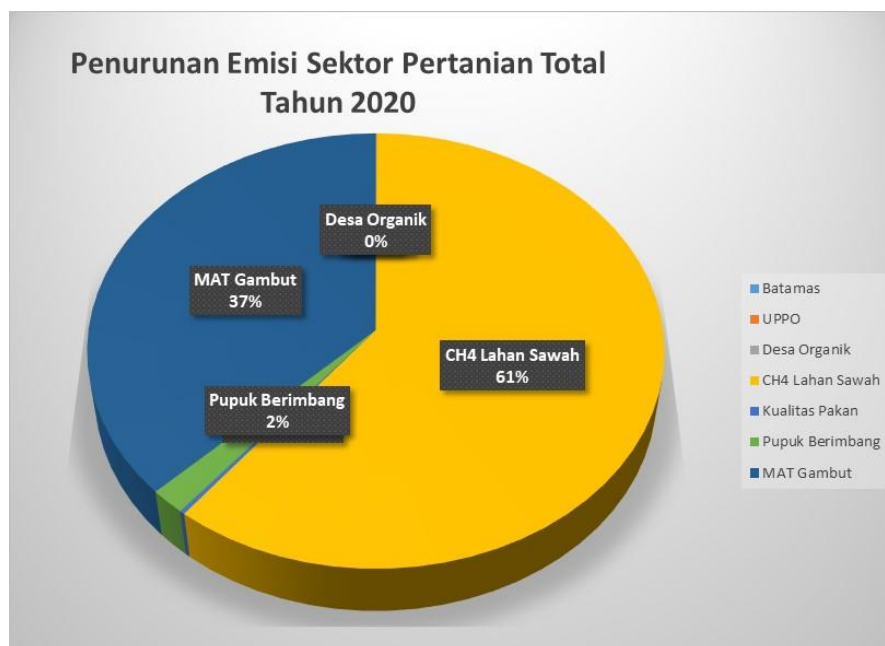
No	Kegiatan	Upaya Mitigasi Terverifikasi (Juta ton CO ₂ e)										
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	BATAMAS	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,02	0,01	0,01	0,00	0,103	0,0059
2	UPPO +subsidi pupuk organic	0,13	0,26	0,42	0,44	0,43	0,45	0,41	0,40	0,41	0,010	0,0056
3	Desa Organik	-	-	-	-	-	-	-	-	0,008	0,0035	0,0006
4	Penerapan Teknologi Budidaya Tanaman (SLPTT, SRI, VRE)	8,31	9,34	9,45	9,04	8,92	6,78	8,58	10,25	8,44	11,893	12,6984
5	Perbaikan Kualitas Pakan Sapi Perah	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,014	0,0568
6	Pemupukan Berimbang	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,209	0,3853
	Pengelolaan MAT Lahan Gambut	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,831	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

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 2020 oleh Kementerian Pertanian (Kementan) Tahun 2021 yang disampaikan melalui Surat Kepala Biro Perencanaan Kementan Nomor: B.2055/RC.010/A.1/09/2021 tanggal 27 September 2021
- File Worksheet Perhitungan IGRK Sektor Pertanian Tahun 2020 yang disampaikan melalui Surat Kepala Biro Perencanaan Kementan Nomor: B.2367/RC.020/A.1/11/2021 tanggal 18 November 2021.
- 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*. Penurunan emisi total terverifikasi Sektor Pertanian Tahun 2020 disajikan pada disajikan pada **Gambar 55**.



GAMBAR 55 PENURUNAN EMISI TOTAL SEKTOR PERTANIAN TAHUN 2020

4.2.4 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:

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

Berkenaan dengan rencana aksi/kegiatan dalam upaya pengurangan emisi dan/atau peningkatan serapan GRK sektor kehutanan, Ditjen PPI telah menerbitkan **"Pedoman Penentuan Aksi Mitigasi Perubahan Iklim"** berdasarkan *budget tagging* 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.

Untuk memudahkan operasionalisasi dalam verifikasi aksi mitigasi pengurangan emisi dan/atau peningkatan serapan GRK sektor kehutanan, maka aksi/kegiatan mitigasi pengurangan emisi dan/atau peningkatan serapan GRK sektor kehutanan diklasifikasikan ke dalam 6 kelompok aksi/kegiatan sesuai dengan **"Pedoman Penyusunan Metodologi Penghitungan Pengurangan emisi dan/atau Peningkatan Serapan GRK dalam Kerangka Verifikasi Aksi Mitigasi"** yang diterbitkan oleh Ditjen PPI sebagai berikut:

1. Penurunan deforestasi
2. Penurunan degradasi hutan
3. Pengelolaan hutan lestari (SFM)
 - a. Penerapan teknik *Reduce Impact Logging* (RIL)
 - b. Penerapan teknik pengelolaan hutan lestari
 - c. Permudaan alami
4. Peningkatan cadangan karbon
 - a. Rehabilitasi lahan
 - b. Penanaman pengayaan (*enrichment planting*)
 - c. Penanaman hutan tanaman

5. Peningkatan peranan konservasi (*the role of conservation*)
 - a. Penetapan areal bernilai konservasi tinggi (NKT/HCV)
6. Pengelolaan lahan gambut
 - a. Pemulihan lahan gambut berdasarkan tipe tutupan lahan
 - b. Pembasahan gambut (*rewetting*) berdasarkan metode muka air tanah
 - c. Kebakaran gambut (*peat fire*)

Keenam kelompok aksi/kegiatan mitigasi pengurangan emisi dan/atau peningkatan serapan GRK sektor kehutanan tersebut telah memperhatikan skenario upaya pengurangan emisi GRK/peningkatan serapan GRK sektor kehutanan sebagai strategi pencapaian target NDC dan jenis aksi/kegiatan mitigasi berdasarkan *budget tagging*.

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-aksi/kegiatan-kegiatan mitigasi sektor kehutanan dalam upaya pengurangan emisi dan/atau serapan GRK berdasarkan budget tagging terdiri atas 8 aksi/kegiatan dan 45 komponen aksi/kegiatan yang berdampak langsung dalam pengurangan emisi dan/atau serapan GRK serta 8 aksi/kegiatan dan 42 komponen aksi/kegiatan yang berdampak tidak langsung dalam pengurangan emisi dan/atau peningkatan serapan GRK.

Aksi/kegiatan mitigasi sektor kehutanan yang berdampak/berkontribusi langsung merupakan aksi/kegiatan mitigasi sektor kehutanan yang dapat diukur capaian targetnya dan memberikan dampak/kontribusi secara jelas terhadap pengurangan emisi dan/atau serapan GRK sektor kehutanan. Sedangkan yang dimaksud aksi/kegiatan mitigasi sektor kehutanan yang berdampak/berkontribusi tidak langsung merupakan aksi/kegiatan mitigasi sektor kehutanan yang tidak dapat diukur capaiannya secara pasti terhadap pengurangan emisi dan/atau serapan GRK di sektor kehutanan, namun aksi/kegiatan mitigasi tersebut dapat mendukung pengurangan emisi dan/atau serapan GRK.

Aksi mitigasi sektor kehutanan dalam upaya pengurangan emisi dan/atau peningkatan serapan GRK pada tahun 2020 berupa Laporan Capaian Pengurangan emisi GRK Tahun 2020 Sektor Kehutanan disampaikan oleh Direktorat Mitigasi Perubahan Iklim, Ditjen PPI sebagai unit pelaksana pemantauan aksi mitigasi melalui Nota Dinas Direktur Mitigasi Perubahan Iklim Nomor: ND.337/MPI/PPM/PPI.1/ 8/2021 tanggal 31 Agustus 2021 perihal Penyampaian Laporan Pengurangan emisi GRK Tahun 2020 Sektor Kehutanan. Terhadap laporan pengurangan emisi GRK tahun 2020 sektor kehutanan tersebut selanjutnya dilakukan proses verifikasi oleh Tim MRV dengan dukungan pakar/ahli yang berasal dari lembaga penelitian, perguruan tinggi, dan NGO melalui serangkaian pertemuan. Berdasarkan hasil diskusi dan pembahasan dalam proses verifikasi yang dilakukan, maka 5 aksi mitigasi utama sektor kehutanan pada tahun 2021 (data tahun 2020) memiliki nilai pengurangan emisi GRK dan/atau serapan GRK terverifikasi sebesar **473.357.044 ton CO₂e**. Berdasarkan 5 aksi mitigasi utama tersebut, 4 aksi mitigasi utama dapat memberikan kontribusi dalam pengurangan emisi GRK dan/atau peningkatan serapan GRK, yaitu aksi mitigasi penurunan deforestasi

(258.395.761 ton CO₂e), penurunan degradasi hutan (14.132.020 ton CO₂e), rehabilitasi hutan dan lahan RHL (26.803 ton CO₂e), dan pengendalian kebakaran gambut (*peat fire*) (240.122.687 ton CO₂e). Sedangkan 1 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*) (-39.320.228 ton CO₂e) (**Tabel 47**).

TABEL 47 CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK DAN/ATAU PENINGKATAN SERAPAN GRK TERVERIFIKASI SEKTOR KEHUTANAN TAHUN 2020

No.	Kelompok Aksi Mitigasi Sektor Kehutanan	Capaian Pengurangan emisi dan/atau Peningkatan Serapan GRK Terverifikasi Sektor Kehutanan		
		Emisi/Serapan Baseline (ton CO ₂ e)	Emisi/Serapan Aktual (ton CO ₂ e)	Pengurangan Emisi (ton CO ₂ e)
1	Penurunan Deforestasi	293.208.910	34.813.149	258.395.761
2	Penurunan Degradasi Hutan	58.002.762	43.870.742	14.132.020
3	Rehabilitasi Hutan dan Lahan (RHL)	(450.835)*	(477.638)*	26.803
4	Pengurangan emisi Dekomposisi Gambut (<i>Peat Decomposition</i>)	242.117.562	281.437.790	-39.320.228
5	Pengendalian Kebakaran Gambut (<i>Peat Fire</i>)	240.141.147	18.460	240.122.687
Total Pengurangan emisi dan/atau Peningkatan Serapan GRK Terverifikasi				473.357.044

Keterangan: *: serapan GRK

4.2.5 Sektor Limbah.

Berdasarkan sumber emisi GRK yang keluar pada saat proses pengelolaan limbah, kegiatan penurunan emisi GRK sektor limbah yang dapat dihitung capaian penurunan emisi GRK dikelompokkan dalam 4 kategori sub-sektor, yaitu pengelolaan limbah domestik (padat dan cair) dan pengelolaan limbah industri (padat dan cair). Emisi GRK yang dikeluarkan dari kegiatan pengelolaan limbah lainnya (limbah infeksius dan elektronik) belum dapat dihitung sejauh mana dua kategori limbah tersebut dapat mengemisikan mengingat belum adanya data emission factor yang dapat diacu dalam IPCC methodology. Kegiatan penurunan 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 2020 yakni:

- a. Angka pengurangan emisi GRK tersebut hanya mencakup kegiatan-kegiatan yang dapat dipantau oleh KLHK, termasuk kegiatan yang telah teridentifikasi baik dalam *Third National Communication 2017* maupun *Third Biennial Update Report 2020*, dengan mempertimbangkan keterbatasan sumber daya, sebagai bagian dari perhitungan capaian mitigasi di tahun 2020.
- b. Secara umum, data aktifitas bersumber dari data pemantauan Direktorat Mitigasi yang telah disesuaikan dan dikomunikasikan dengan instansi terkait. Proses perhitungan capaian pengurangan emisi GRK sektor limbah dilakukan melalui rangkaian proses konsultasi dan koordinasi dengan unit kerja terkait di Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Sekditjen Pengendalian dan Pencemaran Kerusakan Lingkungan, Direktorat Pengelolaan Sampah, Direktorat Pengendalian Pencemaran Air dan Direktorat Penilaian Kinerja), Kementerian Perindustrian (Pusat Industri Hijau) dan Kementerian PUPR (Direktorat Sanitasi, Sekretariat Tim MAPI, dan Pusat Perencanaan Infrastruktur PUPR).
- c. Metodologi penghitungan tingkat emisi baseline maupun tingkat emisi setelah mitigasi merujuk *Tier 1* dan *Tier 2* IPCC 2006 Guidelines:
 - 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 2006, dimana data jumlah sampah yang ditimbun di landfill telah menggunakan data pencatatan JAKSTRADA yang terdokumentasi dalam Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) sedangkan data komposisi dan kandungan dry matter content telah menggunakan data karakteristik sampah yang merupakan data nasional.
 - Pengolahan Limbah Cair Domestik
Aksi mitigasi pada pengolahan limbah cair domestik meliputi : Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL) dengan Biodigester dan gas metan recovery, IPAL terpadu, IPLT, dan IPAL data nasional. Metodologi penghitungan tingkat emisi GRK merujuk *Tier 1* IPCC 2006 Guideline, dimana semua parameter untuk penghitungan menggunakan default value IPCC sedangkan data aktivitas merupakan hasil pengukuran di tingkat unit (tiap-tiap IPAL domestik).
 - Pengolahan Limbah Padat Industri
Capaian mitigasi dari kegiatan pengolahan limbah padat industri yang dilaporkan pada tahun 2020 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 an-aerobik dan aksi mitigasinya adalah sludge dikeringkan kemudian dimanfaatkan sebagai bahan baku dan dimanfaatkan sebagai bahan bakar.

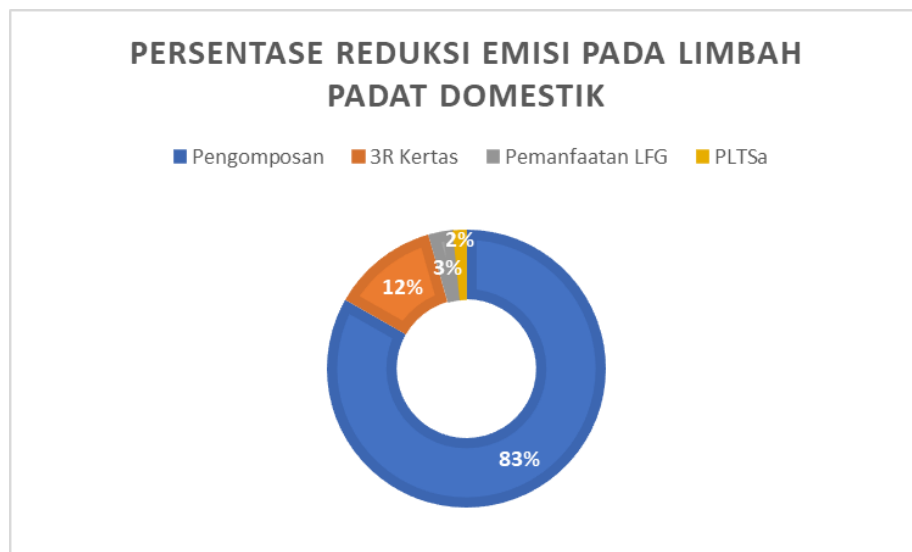
- Pengolahan Limbah Cair Industri
Aksi mitigasi pada IPAL industri yang dilaporkan pada tahun 2020 meliputi mitigasi pada IPAL industri pulp dan kertas, ditambah dengan vegetable and juices, serta pengolahan limbah kelapa sawit dengan jumlah data aktifitas monitoring yang terbatas.
- d. Penghitungan total capaian pengurangan emisi GRK dari seluruh aksi mitigasi dilakukan dengan menghitung selisih tingkat emisi baseline 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 48**.

TABEL 48 CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK TERVERIFIKASI SEKTOR LIMBAH TAHUN 2020

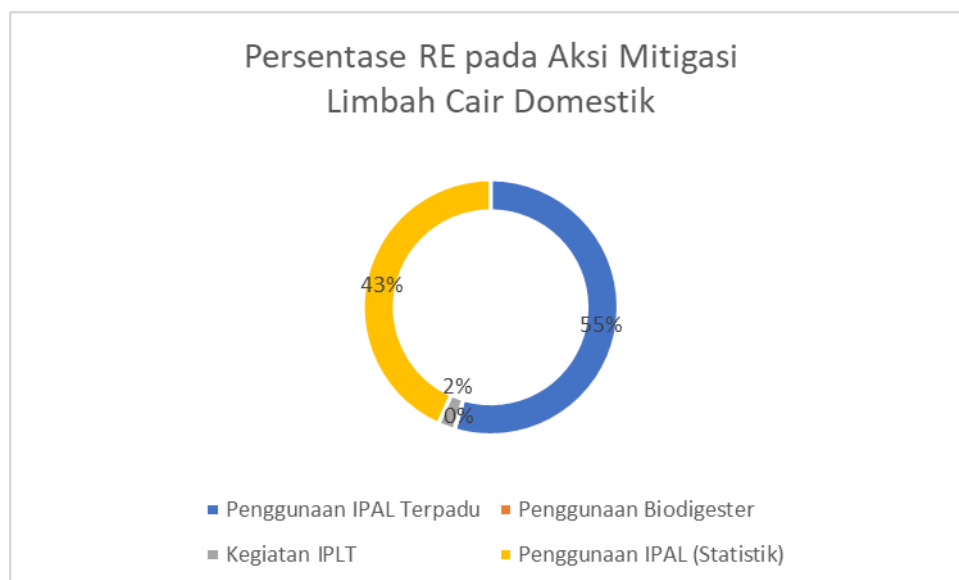
Aksi mitigasi	Baseline (ton CO ₂ e)	Pengurangan emisi terverifikasi (ton CO ₂ e)
Limbah padat domestic	44.732,87	
Pengomposan		558.420
3R kertas		82.712
Pemanfaatan LFG		19.436
PLTSa		10.301
Jumlah		670.872
Limbah cair domestic	24.500,283	
Penggunaan IPAL Terpadu		71.160
Penggunaan Biodigester		42
Kegiatan IPLT		2.778
Penggunaan IPAL (Statistik)		56.367
Jumlah		130.348
Limbah padat industry	242,06	
CH ₄ recovery dan insinerasi		98.257
Limbah cair industry	49.957,02	
CH ₄ recovery		460.169
Total Pengurangan emisi		1.359.647

Pada tabel tersebut di atas tampak bahwa sebagian besar pengurangan emisi dari pengolahan limbah padat domestic bersumber dari aksi mitigasi pengomposan. Proporsi Capaian Pengurangan Emisi dari aksi mitigasi pada limbah padat domestik disajikan pada **GAMBAR 56**



GAMBAR 56 PROPORSI PENGURANGAN EMISI PADA PENGOLAHAN LIMBAH PADAT DOMESTIK

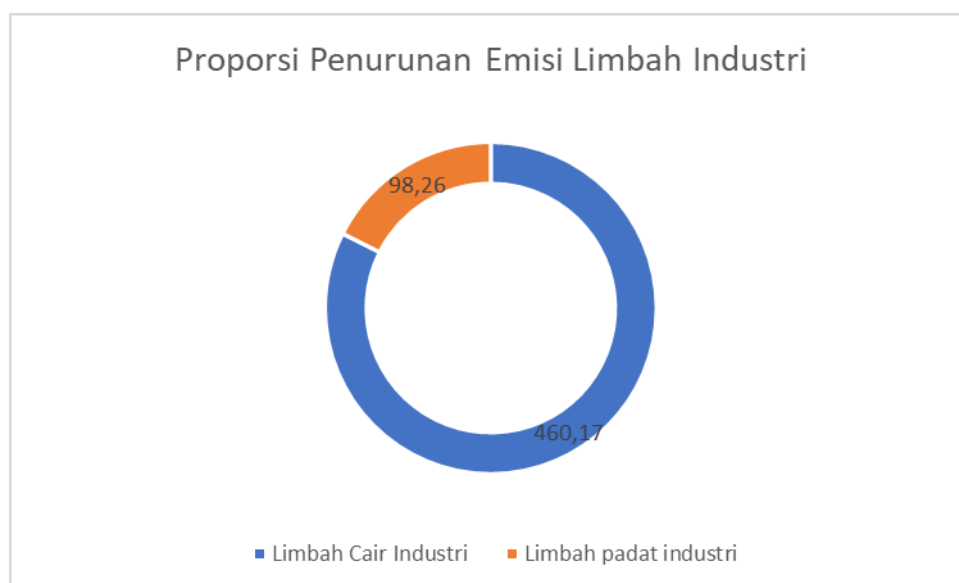
Pengurangan emisi pada pengolahan limbah cair domestik sebagian besar berupa pemanfaatan biogas (CH_4) pada IPAL yang tercatat secara statistik. Proporsi Capaian Pengurangan emisi dari aksi mitigasi pada limbah cair domestik disajikan pada **Gambar 57**.



GAMBAR 57 PROPORSI PENGURANGAN EMISI PADA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR DOMESTIK

Pada limbah industri, capaian pengurangan emisi di tahun 2020 bertambah dengan terlaporkannya data aktifitas yang bersumber dari aksi mitigasi limbah industri pulp – paper, *vegetable fruit and juices*, serta pengolahan limbah industri kelapa sawit. Data monitoring yang terlaporkan memang masih terbatas, namun berkontribusi dalam

peningkatan Capaian penurunan emisi di tahun ini. Aksi mitigasi pada limbah padat industri berupa pemanfaatan CH₄ dari pengolahan sludge dan insinerasi. Tidak berbeda jauh, aksi mitigasi pada limbah cair industri berupa pemanfaatan gas CH₄ sebagai sumber energi alternatif. Proporsi Capaian Pengurangan emisi dari aksi mitigasi pada limbah industri disajikan pada **Gambar 58**.



GAMBAR 58 PROPORSI PENGURANGAN EMISI PADA PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI

4.3 PROFIL CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK NASIONAL TERHADAP TARGET *NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTION* (NDC)

4.3.1 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 2020, dengan nilai BAU sebesar **1.998,80 Juta ton CO₂e** dan hasil perhitungan inventarisasi emisi GRK, sebesar **1.050,41 Juta ton CO₂e**, maka diperoleh pengurangan emisi GRK tahun 2020 sebesar **948,39 Juta ton CO₂e** dibawah emisi BAU. Dari data tersebut diketahui bahwa capaian pengurangan emisi GRK Nasional sebesar **47,45%** terhadap nilai BAU di tahun 2020.

Capaian pengurangan emisi GRK Nasional tersebut menunjukkan peningkatan pengurangan yang signifikan apabila dibandingkan dengan capaian tahun sebelumnya. Hal ini disebabkan karena keberhasilan dalam melakukan upaya pengurangan emisi

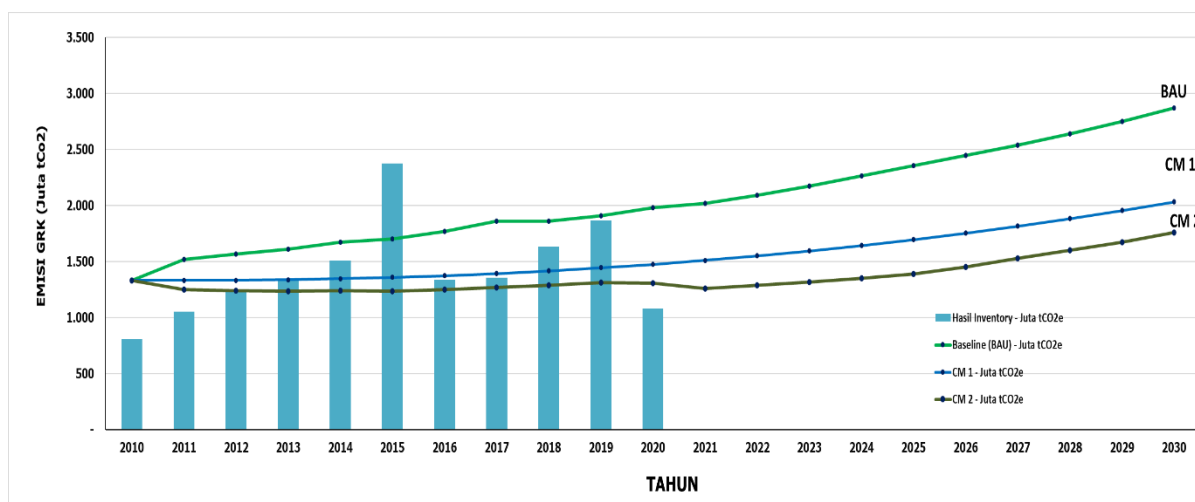
melalui aksi mitigasi perubahan iklim di semua sektor NDC, yaitu: kehutanan, energi, IPPU, pertanian dan limbah

Profil capaian pengurangan emisi GRK Nasional tahun 2010-2020 sebagaimana terlihat pada **Tabel 49**.

TABEL 49 PROFIL CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK NASIONAL TERHADAP TARGET PENGURANGAN EMISI GRK PADA CM1 DI TAHUN 2010-2020

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Baseline /BAU (Juta ton CO₂e)	1.334	1.520	1.569	1.611	1.671	1.702	1.769	1.820	1.863	1.911	1.999
CM1 (Juta ton CO₂e)	1.334	1.332	1.333	1.338	1.347	1.359	1.375	1.394	1.418	1.446	1.556
ER CM1 (Juta ton CO₂e)	-	188	236	273	324	343	394	426	445	466	442
ER CM1 (%)	-	12,4	15,1	17,0	19,4	20,2	22,3	25,1	23,9	24,4	22,1
Inventory (Juta ton CO₂e)	810	1.054	1.245	1.331	1.509	2.374	1.336	1.354	1.637	1.865	1.050
Capaian ER (%)	39,28	30,65	20,70	17,37	9,70	39,48	24,50	27,23	12,13	2,43	47,45

Sedangkan apabila BAU dibandingkan dengan target pengurangan emisi GRK menurut skenario CM1 dan CM2 sebagaimana diilustrasikan pada **Gambar 59**.



GAMBAR 59. PROFIL CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK NASIONAL (2010-2020) TERHADAP BAU, CM1 DAN CM2

4.3.2 Capaian Pengurangan Emisi GRK Sektoral

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 50**.

TABEL 50 TARGET *NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTION* (NDC) TAHUN 2030

Sector	GHG Emission Level 2010* (MTon CO ₂ e)	GHG Emission Level 2030			GHG Emission Reduction				Annual Average Growth BAU (2010-2030)	Average Growth 2000-2012
		MTon CO ₂ e			MTon CO ₂ e		% of Total BaU			
		BaU	CM1	CM2	CM1	CM2	CM1	CM2		
1. Energy*	453.2	1,669	1,355	1,407	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 2020, capaian pengurangan emisi GRK untuk sektor energi, IPPU, limbah, pertanian, dan kehutanan dibandingkan dengan target pengurangan emisi GRK untuk CM1 sektoral sebagaimana terlihat pada **Tabel 51**.

TABEL 51 CAPAIAN PENGURANGAN EMISI GRK SEKTORAL TERHADAP TARGET CM1 DI TAHUN 2020

	ENERGI	IPPU	LIMBAH	PERTANIAN	KEHUTANAN	TOTAL
Baseline (BAU) (Juta Ton CO ₂ e)	903,51	69,57	145,71	115,96	764,05	1998,80
CM1 (Juta ton CO ₂ e)	785,08	67,43	143,99	112,75	44,707	1.556,31
Inventory (Juta ton CO ₂ e)	584,28	57,19	126,80	98,70	183,43	1.050,41
ER terhadap BAU (Juta Ton CO ₂ e) (Inventory-BAU)	319,23	12,38	18,91	17,26	580,61	948,39

ER terhadap CM1 (Juta Ton CO ₂ e) (Inventory-CM1)	200	10,24	17,19	14,05	263,63	442,49
Persentase Target ER CM1 terhadap BAU $(=(BAU-CM1)/BAU * 100\%)$	13,11%	3,07%	1,18%	2,77%	41,48%	22,14%
Persentase Capaian ER terhadap BAU $(=(BAU-Inv)/BAU * 100\%)$	35,33%	17,79%	12,98%	14,89%	75,99%	47,45%

Dari tabel tersebut terlihat bahwa capaian pengurangan emisi GRK terjadi di semua sektor. Untuk sektor kehutanan menunjukkan hasil pengurangan emisi yang tinggi. Namun demikian masih memerlukan upaya yang lebih intensif dari semua sektor untuk dapat mencapai target pengurangan emisi GRK sampai dengan tahun 2030. Informasi capaian pengurangan emisi GRK tahun 2020 untuk setiap sektor sebagaimana diuraikan dibawah ini.

Sektor Energi

Sektor energi mempunyai target pengurangan emisi GRK sebesar 314 Juta ton CO₂e atau setara 11% dengan kondisi skenario tanpa persyaratan mitigasi-*unconditional* (*Counter Measure*/CM1) pada tahun 2030. Target pengurangan emisi GRK tersebut akan dicapai melalui aksi mitigasi yang berbasis sektor energi yang telah dilakukan oleh pemerintah pusat (Kementerian ESDM, 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 2020 dengan menggunakan pendekatan perhitungan dari BAU sebesar 903,51 Juta ton CO₂e dan hasil perhitungan inventarisasi GRK sebesar 584,28 Juta ton CO₂e dengan target emisi GRK pada CM1 sebesar 785,08 Juta ton CO₂e maka diketahui bahwa capaian pengurangan emisi GRK sektor energi sebesar 35,33%, berada di atas target CM1 2020 yang sebesar 13,11 % dari BAU. Untuk tahun 2020, kontribusi capaian pengurangan emisi GRK di Kementerian ESDM, Kementerian Perindustrian, dan Kementerian Perhubungan sebesar 75,52 Juta ton CO₂e. Untuk itu harus lebih intensif mengidentifikasi aksi mitigasi selain yang terlaporkan.

Sektor IPPU

Sektor IPPU mempunyai target pengurangan emisi GRK sebesar 2,75 Juta ton CO₂e atau setara 0,1% dengan kondisi skenario tanpa persyaratan mitigasi-*unconditional* (*Counter Measure*/CM1). 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 2020 dengan menggunakan pendekatan perhitungan dari BAU sebesar 69,57 Juta ton CO₂e dan hasil perhitungan inventarisasi GRK sebesar 57,19 Juta ton CO₂e dengan target emisi GRK pada CM1 sebesar 67,43 Juta ton CO₂e, diketahui capaian pengurangan emisi GRK sektor IPPU sebesar 17,79%, berada di atas target CM1 2020 yang sebesar 3,07% dari BAU. Untuk tahun 2020, kontribusi capaian pengurangan emisi GRK di sektor IPPU baru dari industri semen dengan capaian sebesar 2,73 Juta ton CO₂e.

Sektor Pertanian

Besaran emisi *Business As Usual* (Baseline) Sektor Pertanian tahun 2020 adalah 115,96 Juta ton CO₂e, dimana target penurunan emisi Counter Measurement (CM) 1 adalah 112,75 Juta ton CO₂e, hasil inventarisasi emisi Sektor Pertanian Tahun 2020 adalah 98,70 Juta ton CO₂e. Pengurangan emisi yang diharapkan terjadi dari BAU untuk mencapai target penurunan emisi CM1 sebesar 3,21 Juta ton CO₂e (2,77 %), sementara pengurangan emisi yang terjadi dari hasil inventarisasi emisi terhadap BAU sebesar 17,26 Juta ton CO₂e (14,89 %). Dengan demikian capaian pengurangan emisi GRK sektor pertanian berada diatas target CM1 2020.

Hasil pengurangan ini meningkat bila dibandingkan kondisi pengurangan emisi sektor pertanian tahun 2019. Peningkatan dari pengurangan emisi Tahun 2020 berasal dari aksi Penerapan Teknologi Budidaya Tanaman (Varietas Rendah Emisi) sebesar 12,6984 juta Ton CO₂e, aksi Perbaikan Kualitas Pakan Sapi sebesar 0,0568 juta Ton CO₂e dan aksi Pemupukan Berimbang sebesar 0,3853 juta Ton CO₂e.

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 48) dan pada tahun 2020 sektor kehutanan memiliki target tingkat emisi CM1 sebesar 447,07 Juta ton CO₂e (Tabel 49) atau 41,48 % dibanding BAU 2020. Berdasarkan Tabel 49 tersebut, dapat diketahui capaian pengurangan emisi GRK sektor kehutanan pada tahun 2020 berdasarkan perbandingan antara emisi aktual hasil inventarisasi GRK sektor kehutanan dengan emisi baseline NDC (BAU) sektor kehutanan adalah sebesar 580,62 Juta ton CO₂e atau 75,99%. Dengan demikian capaian pengurangan emisi GRK sector kehutanan dan penggunaan lainnya berada di atas target CM1 2020.

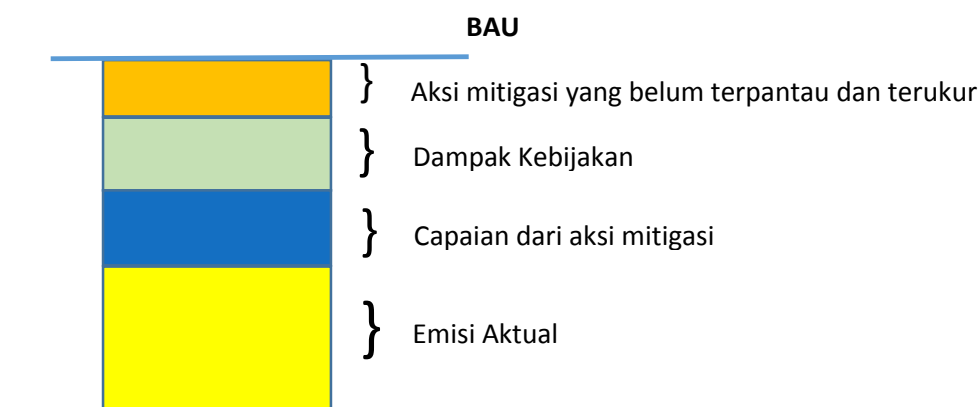
Capaian pengurangan emisi GRK sektor kehutanan yang berhasil jauh melebihi target pengurangan emisi GRK pada CM1 di tahun 2020 tersebut, terutama dikarenakan keberhasilan dalam penurunan deforestasi dan degradasi hutan, serta keberhasilan dalam pengendalian kebakaran hutan dan lahan gambut pada tahun 2020.

Sektor Limbah

Capaian pengurangan emisi GRK sektor limbah dapat dilihat dari 2 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). Berdasarkan target pengurangan emisi GRK dari aksi mitigasi yang sesuai dengan target NDC pada tahun 2020, pada kondisi CM1 adalah sebesar 1,72 Juta Ton CO₂e atau 1,18 % dibanding BAU 2020. Dari sisi pengukuran terhadap aksi mitigasi, yang sudah dipaparkan pada Bab sebelumnya, terdapat pengurangan emisi sebesar GRK sebesar 12,98 % dibanding BAU 2020. Dengan demikian capaian pengurangan emisi GRK sector limbah berada di atas target CM1 2020.

Namun pengurangan emisi berdasarkan tingkat inventarisasi GRK actual sebesar (18,91 Juta Ton CO₂e) ini tidak menunjukkan secara langsung penurunan emisi dari aksi mitigasi. Hal ini dapat terjadi akibat pengaruh fluktuasi parameter yang tidak berhubungan langsung dengan pengurangan emisi pada tahun 2020. Parameter tersebut antara lain adalah kapasitas produksi industri pada kondisi pandemic, kondisi perekonomian yang melemahkan kemampuan produksi dan konsumsi, serta kebijakan yang membatasi aktifitas sehingga penurunan emisi terjadi tanpa adanya aksi yang secara khusus ditujukan sebagai mitigasi perubahan iklim. Gambar dibawah menjelaskan kondisi tersebut.



BAB V

RENCANA PERBAIKAN (*PLAN OF IMPROVEMENT*)

5.1. Rencana Perbaikan Laporan

Untuk meningkatkan kualitas laporan Inventarisasi GRK dan MPV maka proses perbaikan dan penyempurnaan perlu dilakukan secara regular dan konsisten. Perbaikan pelaporan bukan hanya untuk memenuhi prinsip TACCC, namun juga untuk merespon meningkatnya pemahaman dan pengetahuan terhadap teknis dan metodologi pendugaan emisi dan serapan GRK.

Secara umum, rencana perbaikan penyelenggaraan inventarisasi GRK dan MPV adalah, sebagai berikut:

1. Peningkatan kualitas data aktifitas, faktor emisi dan tingkat ketelitian (tier). Perbaikan akan di fokuskan pada penambahan cakupan karbon pool, penggunaan data primer/detail, perbaikan parameter pengukuran, pengurangan penggunaan proxy, asumsi dan *expert judgement*, penggunaan faktor emisi lokal hingga proses rekalkulasi pada beberapa kategori yang mengalami pembaruan data.
2. Peningkatan sistem kendali mutu. Penerapan sistem penjaminan dan pengendalian mutu (QA/QC) di semua level baik level sub sektor, sektor dan nasional. Proses ini akan dilaksanakan dan mengacu pada Peraturan Dirjen PPI Nomor 10 Tahun 2018 tentang pedoman QA/QC.
3. Peningkatan kegiatan monitoring aksi mitigasi serta pengembangan metodologi penghitungan emisi GRK terhadap berbagai aksi mitigasi, sehingga capaian pengurangan emisi GRK menunjukkan capaian emisi GRK dari seluruh kegiatan mitigasi di Indonesia.

A. 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 aktifitas dan faktor emisi. Upaya perbaikan difokuskan pada sumber/roket 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 factor 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, Sub Sektor Energi di Transportasi dan Sub Sektor 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.

Sebagai bentuk keberlanjutan, maka 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.

2). Penyelenggaraan MPV, perbaikan pelaporan perlu di fokuskan pada

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

B. Sektor Pertanian

Beberapa perbaikan yang perlu dilakukan untuk meningkatkan inventarisasi GRK dan monitoring, verifikasi dan registrasi aksi mitigasi sektor Pertanian, antara lain:

- 1) Pengaturan kelembagaan (*institutional arrangement*) inventarisasi GRK di sektor pertanian telah menggunakan Model II (sektor yg melakukan perhitungan), namun belum optimal sehingga masih diperlukan peningkatan dalam hal perbaikan mekanisme penyediaan data aktivitas, koordinasi dengan instansi teknis, format dan mekanisme penyampaian laporan serta tata waktu pelaksanaan.
- 2) Terkait penyediaan data aktivitas, parameter dan faktor emisi masih terus dilakukan upaya perbaikan guna peningkatan kualitas data dan *updating* parameter dan factor emisi yang digunakan. Masih diperlukan 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 dan diperlukan pembaruan atau penelitian untuk beberapa faktor emisi dan parameter inventarisasi terhadap sumber emisi yang menjadi penyumbang emisi terbesar (*key category*).
- 3) Upaya untuk melakukan analisis ketidakpastian (*uncertainty analysis*) terhadap data aktivitas maupun faktor emisi yang digunakan belum dapat terealisasi sehingga masih terus diupayakan dalam rangka meningkatkan tingkat kepercayaan terhadap hasil perhitungan emisi GRK sektor pertanian.

C. Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya (FOLU)

Adapun rencana perbaikan pada sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya, antara lain:

1. Peningkatan kualitas data aktivitas dan faktor emisi. Perlunya penggunaan data aktifitas dan faktor emisi yang bersifat *country/site specific*/lokal dan dengan *Tier* yang lebih tinggi:
 - a. Perbaikan data dan faktor emisi untuk kebakaran hutan dan lahan. Pada tahun 2021 telah dilakukan perbaikan data aktivitas dengan melakukan rekalkulasi estimasi luas kebakaran hutan dan dengan penggunaan metodologi perhitungan luas kebakaran yang konsisten. Kedepan, perlu dilakukan perbaikan pada penggunaan Faktor Emisi pada emisi kebakaran hutan. Beberapa referensi terbaru menunjukkan bahwa beberapa parameter yang dipergunakan pada estimasi emisi dari kebakaran lahan gambut teridentifikasi *overestimate*, sehingga tidak menunjukkan emisi GRK yang akurat.
 - b. Penambahan cakupan pool karbon. Inventarisasi terhadap sumber/rosot lain dari cakupan pool karbon yang signifikan, di antaranya bahan organik tanah dari ekosistem mangrove, dan perbaikan analisa dekomposisi gambut (di antaranya dengan memperhitungan tinggi muka air gambut).
 - c. Perbaikan data aktivitas dan faktor emisi akan terus dilakukan untuk menjaga konsistensi dengan pelaporan GRK lainnya (antara lain laporan 3rd BUR dan laporan 2nd FRL).
2. Penggunaan parameter-parameter inventarisasi GRK dari literature terbaru, antara lain :
3. Penggunaan IPCC Wetland Supplement 2013 dan IPCC Refinement 2019 dan Assesment Report terbaru. Beberapa parameter *carbon pools* pada kelas hutan dan non-hutan perlu diperbaharui sesuai dengan IPCC Supplement dan Refinements tersebut. Disamping itu, perlu dilakukan *exercise* untuk menggunakan GWP (*Global Warming Potential*) dari IPCC *Assessment Report terbaru*.
4. Peralihan pendekatan analisis inventarisasi 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.
5. Pengembangan metodologi penghitungan emisi GRK terhadap aksi mitigasi/kegiatan sektor kehutanan. Terdapat aksi-aksi mitigasi yang belum memiliki metodologi perhitungan emisi yang baik sehingga capaian pengurangan emisi dari aksi mtigasi belum terpetakan secara akurat.

6. Perbaikan pendataan aksi mitigasi sektor kehutanan pada Sistem Registri Nasional (SRN). Hal ini perlu dilakukan sehingga kontribusi pengurangan emisi GRK/peningkatan serapan GRK dari sektor kehutanan dapat tercatat/terdokumentasi dengan baik,
7. Peningkatan inventarisasi aksi mitigasi/kegiatan yang tergolong kegiatan kehutanan yang dilakukan oleh pelaksana aksi/kegiatan di luar sektor kehutanan. ke dalam penghitungan pengurangan emisi GRK sektor kehutanan, misalnya kegiatan reklamasi atau rehabilitasi di lahan pertambangan.
8. Perbaikan skema pelaksanaan verifikasi lapangan terhadap kegiatan/aksi mitigasi sektor kehutanan.

D. Sektor Limbah

Terdapat beberapa rencana perbaikan untuk inventarisasi GRK sektor Limbah, sebagai berikut:

1. Perbaikan kuantitas dan kualitas data limbah, diantaranya pada data limbah padat padat domestik, data *sludge* IPAL dan gas *landfilled* pada limbah padat industri serta data biodigester.
2. Pengembangan faktor emisi dan parameter spesifik. Diantaranya pada data karakteristik sampah (*Dry matter content* dan DOC), data karakteristik BOD limbah cair domestik dan tipe pengolahan limbah (WWTP).

Pada penyelenggaraan MPV, sesuai dengan *plan of improvement* sektor limbah yang disampaikan pada tahun sebelumnya (laporan IGRK MRV tahun 2020), diperlukan langkah perbaikan terhadap 2 (dua) hal yaitu :

- Peningkatan kegiatan monitoring aksi mitigasi secara lebih komprehensif, sehingga diperoleh angka capaian pengurangan emisi GRK yang menunjukkan capaian emisi GRK dari seluruh kegiatan mitigasi di Indonesia.
- Peningkatan kualitas data aktifitas terutama pada konsistensi data dan baseline. Perubahan pada baseline berdampak pada konsistensi dan komparabilitas pada tingkat, status dan kecenderungan emisi GRK.

Berdasarkan rekomendasi tersebut, proses verifikasi terhadap Capaian penurunan emisi sektor limbah telah mengalami perbaikan:

- Laporan Capaian penurunan emisi dari sub sektor limbah cair industri yang pada tahun lalu dilaporkan hanya dari 1 jenis kelas industri (pulp paper), tahun 2021 ini data aktifitas aksi mitigasi telah meliputi dari 3 jenis kelas industri, yaitu industri pulp-paper, vegetable fruit and juices, dan CPO (kelapa sawit).
- Konsistensi dalam hal waktu pengumpulan data aktifitas diperbaiki seiring pelaksanaan kaji dokumen, disepakati bahwa apabila ada penambahan data

aktifitas maka akan dilaporkan pada periode pelaporan selanjutnya untuk mengurangi bias akibat inkonsistensi.

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 aktifitas 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 aktifitas 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 aktifitas.

Khusus pada limbah industri, data aktifitas yang tersedia masih minim, selanjutnya dibutuhkan koordinasi teknis baik dengan kemenperin, maupun dengan kementan (agroindustry) terutama untuk 3 kelas industri besar (pulp paper, sawit, tapioca). 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.

5.2. 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 aksi mitigasi yang tertuang pada Peraturan Presiden No. 98/2021,
2. Peningkatan pemahaman dan pengetahuan para pihak (Kementerian/Lembaga terkait, pemerintah sub nasional, swasta) terkait inventarisasi GRK, dan metodologi penghitungan capaian pengurangan emisi GRK.
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 VI

PENUTUP

Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV) ini memuat profil emisi, hasil inventarisasi, capaian pengurangan emisi, profil capaian komitmen target NDC Indonesia, serta rencana perbaikan dan pengembangan inventarisasi GRK dan MRV yang disusun bersama dengan Kementerian/Lembaga terkait selaku penanggung jawab sektor, Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi, dan BAPPENAS.

Hasil analisis terhadap data inventarisasi GRK dan capaian pengurangan emisi GRK secara nasional pada tahun 2020, menunjukkan bahwa emisi aktual GRK adalah sebesar **1.050,4 juta Ton CO₂e** atau tercapai pengurangan emisi GRK Nasional di tahun 2020 sebesar **948,4 juta Ton CO₂e (47,45%)** terhadap nilai BAU tahun 2020. 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 2019 terjadi pengurangan emisi GRK sebesar 68,98 juta ton CO₂e dan pada tahun 2020 terjadi peningkatan pengurangan emisi GRK, yaitu sebesar 573,95 Juta ton CO₂e.

Laporan ini diharapkan dapat dipergunakan sebagai sumber informasi tentang pencapaian target dari komitmen NDC, sebagai 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.
- FAO. *Global Fuel Wood Data.* <http://faostat3.fao.org>
- 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.
- Kementerian Lingkungan Hidup (2012). Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku II Volume 3 Pertanian, Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2016). *Indonesia Third National Communication Under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).* Jakarta
- Kementerian Pertanian (2014). Pemantauan, Evaluasi, dan Pelaporan Pelaksanaan Rencana Aksi Nasional (RAN) Pengurangan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Sektor Pertanian.
- 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.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, (2006), *IPCC-2006 Guidelines for National Green House Gas Inventories.* AFOLU, Volume 4
- Manuri, S., Brack, C., Nugroho, N.P., Hergoualc'h, K., Novita, N., Dotzauer, H., Verchot, L., Putra, C.A.S., & Widyasari. (2014). *Tree biomass equations for tropical peat swamp forest ecosystems in Indonesia.* For. Ecol. Manage. 334: 241-253.
- Margono B. A., Potapov P. V., Turubanova S., Fred Stolle F., Matthew Hansen C. M. (2014). *Primary forest cover loss in Indonesia over 2000- 2012.* Nature Climate

Change 4, 730-735 (2014) doi:10.1038/nclimate2277.

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 (2011) Peraturan Presiden Nomor 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. Jakarta.



SIGNSMART merupakan sistem aplikasi yang digunakan dalam perhitungan dan pelaporan inventarisasi GRK secara online. SIGNSMART dapat diakses pada alamat: <https://signsmart.menlhk.go.id>



Sistem Registri Nasional Pengendalian Perubahan Iklim merupakan wadah pengelolaan data dan informasi aksi dan sumber daya Adaptasi dan Mitigasi perubahan iklim di Indonesia. SRN dapat diakses pada alamat: <https://srn.menlhk.go.id>



**KEMENTERIAN LINGKUNGAN DAN KEHUTANAN
DIREKTORAT JENDERAL PENGENDALIAN PERUBAHAN IKLIM
DIREKTORAT INVENTARISASI GRK DAN MPV
TAHUN 2022**

