



IPB University
— Bogor Indonesia —



Co-funded by the
European Union



CLIMATE
RESILIENT
AND INCLUSIVE
CITIES



UCLG
ASPAC
United Cities and
Local Governments
Asia-Pacific

INVENTARISASI GAS RUMAH KACA

[MITIGASI]

MODUL **1**



[MITIGASI]

MODUL 1

INVENTARISASI GAS RUMAH KACA

Dalam Kegiatan:

CLIMATE ACTION PLAN
MODULE DEVELOPMENT
AND TRAINING

(UCLG-ASPAC: United
Cities and Local
Governments Asia-Pacific)

Disusun Oleh:

Rizaldi Boer
Muhammad Ardiansyah
Febrian Hadinata
La Ode Muhammad Abdul Wahid
Gito Sugih Immanuel
Ratu Aliah Sanada
Dewi Sulistyowati

Dikembangkan Oleh:

CENTER FOR CLIMATE
RISK AND OPPORTUNITY
MANAGEMENT SOUTHEAST
ASIA AND PACIFIC - IPB
UNIVERSITY

PUSAT PENGELOLAAN RISIKO
DAN PELUANG IKLIM ASIA
TENGGARA DAN PASIFIK

IPB UNIVERSITY

Kata Pengantar



Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas selesainya penyusunan buku modul **"Panduan Inventarisasi Gas Rumah Kaca"** ini. Buku ini diharapkan dapat menjadi referensi yang komprehensif dan praktis bagi berbagai pihak, termasuk pemerintah, sektor swasta, akademisi, organisasi masyarakat, dan komunitas lokal, dalam melaksanakan inventarisasi gas rumah kaca (GRK) secara efektif dan sesuai standar yang berlaku.

Inventarisasi GRK merupakan langkah fundamental dalam upaya mitigasi perubahan iklim. Dengan melakukan pengukuran, pelaporan, dan verifikasi emisi GRK yang sistematis, kita dapat memahami sumber dan tingkat emisi, serta mengidentifikasi peluang mitigasi yang dapat mendukung pencapaian target penurunan emisi nasional (NDC) dan komitmen internasional lainnya. Buku ini hadir untuk memenuhi kebutuhan akan panduan teknis yang dapat diimplementasikan secara luas, baik di tingkat nasional, sub-nasional, maupun sektoral.

Buku modul ini mencakup penjelasan tentang prinsip dasar GRK, metode penghitungan emisi dan serapan karbon, dan tahapan implementasi inventarisasi GRK. Tidak hanya itu, buku ini juga dilengkapi dengan studi kasus dan latihan untuk membantu pembaca memahami dan menerapkan konsep serta metode yang disajikan.

Kami menyadari bahwa upaya penyusunan buku ini tidak lepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi, baik berupa masukan, data, maupun pengalaman praktis yang sangat berharga. Kami juga terbuka terhadap kritik dan saran untuk menyempurnakan panduan ini agar lebih relevan dan bermanfaat di masa mendatang.

Semoga buku modul ini dapat memberikan manfaat yang nyata dalam mendukung upaya penurunan emisi GRK di Indonesia dan menjadi bagian dari solusi global untuk menghadapi tantangan perubahan iklim.

Tim Penyusun

Daftar Isi

03	Kata Pengantar	05	Daftar Gambar	05	Daftar Tabel	08	Bab 1 Pendahuluan
09	Bab 2 Prinsip Dasar IGRK	11	Bab 3 Metode Umum Penentuan Tingkat Emisi				
			3.1. Data Aktivitas (Da)		12		
			3.2. Faktor Emisi (Fe)		13		
14	Bab 4 Estimasi Tingkat Emisi GRK			130	Bab 5 Analisis Tingkat Ketidakpastian (Uncertainty Analysis)		
	4.1. ENERGI		14				
	4.1.1. Pembakaran Bahan Bakar		14				
	4.1.2. Emisi Fugitif		19				
	4.2. IPPU		21	132	Bab 6 Analisis Kategori Kunci		
	4.2.1. Industri Mineral (2A)		22				
	4.2.2. Industri Kimia (2B)		27				
	4.2.3. Industri Logam (2C)						
	4.2.4. Produk Non-Energi dari Bahan Bakar dan Pelarut (2D)		49				
	4.2.5. Industri Lainnya (2H)		54	133	Bab 7 Penjaminan dan Pengendalian - QA/QC		
	4.3. AFOLU (AGRICULTURE, FORESTRY, AND OTHER LANDUSE)		55				
	4.3.1. Peternakan (3.A)		55				
	4.3.2. Lahan (3.B)		77				
	4.3.3. Pertanian (3.C)		90				
	4.4. LIMBAH						
	4.4.1. Data Aktivitas Sektor Limbah		102				
	4.4.2. Faktor Emisi		102				
	4.4.3. Perhitungan Estimasi Tingkat Emisi GRK Sektor Limbah		123	139	Bab 8 Penutup		
						7.1. Pengendalian Mutu	135

Daftar Gambar

Gambar 4.1. Pengelompokan Inventarisasi Emisi GRK dari Kegiatan Industri (Pedoman IGRK KLHK, 2012)	21
Gambar 4.2. Perubahan Simpanan Karbon pada Sub-Kategori Penggunaan Lahan Menurut Tampungannya Karbon	77
Gambar 4.3. Contoh Data Komposisi Sampah di Portal SIPSN	107
Gambar 4.4. Contoh Data Volume Sampah Masuk ke TPA di Portal SIPSN	108
Gambar 4.5. Contoh Data Komposting di Fasilitas Komposting Skala RT RW Kota Lampung di Portal SIPSN	109
Gambar 4.6. Contoh Data Komposting di Fasilitas Komposting Skala RT RW Kota Lampung di Portal SIPSN	110
Gambar 4.7. Contoh Proporsi Cara Pengelolaan Sampah di Rumah Tangga di Kota Lampung	110
Gambar 6.8. Pohon Pengambilan Keputusan dalam Pemilihan Pendekatan yang Digunakan untuk Penentuan Kategori Kunci (IPCC, 2008)	133

Daftar Tabel

Tabel 31. Nilai GWP dari GRK	12
Tabel 32. Metodologi Gap Filling	13
Tabel 41. Faktor Emisi Bergerak Tier-1 dan Tier-2	15
Tabel 42. Faktor Emisi Stasioner Tier-1 dan Tier-2	16
Tabel 43. FE, NCV, kandungan C, dan Density Bahan Bakar Nasional	17
Tabel 44. Faktor Konversi Bahan Bakar	18
Tabel 45. Faktor Konversi Energi	19
Tabel 46. Faktor Emisi Fugitif Minyak Bumi (Default Refinement 2019)	20
Tabel 47. Faktor Emisi Fugitif Gas Bumi (Default Refinement 2019)	20
Tabel 48. Sumber Emisi Sektor IPPU	22
Tabel 49. Data Aktivitas dan Parameter Emisi Sektor Produksi Semen	23
Tabel 410. Faktor Emisi Default Karbonat (IPCC, 2006)	23
Tabel 411. Data Aktivitas dan Faktor Emisi Sektor Produksi Kapur	24

Tabel 412. Data Aktivitas dan Faktor Emisi Sektor Produksi Kaca	25
Tabel 413. Data Aktivitas dan Faktor Emisi Pada Sektor Produksi yang Menggunakan Karbonat	28
Tabel 414. Data Aktivitas dan Faktor Emisi pada Sektor Produksi Amonia	28
Tabel 415. Data Aktivitas dan Faktor Emisi pada Sektor Produksi Asam Nitrat	29
Tabel 416. Faktor Emisi Default Produksi Asam Nitrat	29
Tabel 417. Data Aktivitas dan Faktor Emisi Sektor Produksi Karbida	30
Tabel 418. Data Aktivitas dan Faktor Emisi Sektor Produksi Petrokimia dan Black Carbon	31
Tabel 419. Emisi GRK Selama Produksi Kokas yang Harus Dijumlahkan dalam Emisi GRK Sektor Energi	35
Tabel 420. Kandungan Karbon Berbagai Jenis Bahan Baku untuk Pembuatan Kokas	36
Tabel 421. Faktor Emisi Tier-1 Produksi Kokas	36
Tabel 422. Metodologi Perhitungan Emisi GRK Besi dan Baja sesuai Refinement 2019	37
Tabel 423. Faktor Emisi Tier-1 Refinement 2019	39
Tabel 424. Data Aktivitas dan Faktor Emisi untuk Penggunaan Pelumas	49
Tabel 425. Data Aktivitas dan Faktor Emisi untuk Konsumsi Lilin Parafin	50
Tabel 426. Berbagai Area Penggunaan HFCs dan PFCs	51
Tabel 427. Faktor Emisi Metana untuk Fermentasi Enterik Tier 1/1a	57
Tabel 428. Faktor Emisi Fermentasi Enterik untuk Sapi dan Kerbau Tier 1/1a	57
Tabel 429. Faktor Emisi Metana Menurut Jenis Ternak, Sistem Pengelolaan, dan Zona Iklim	60
Tabel 430. Default Laju Ekskresi VS Menurut Jenis Ternak dan Wilayah	64
Tabel 431. Faktor Emisi Default untuk Emisi N ₂ O Langsung dari Pengelolaan Kotoran	66
Tabel 432. Default Laju Ekskresi N	69
Tabel 433. Default Fraksi Kehilangan Nitrogen karena Volatilisasi serta Pencucian dan Limpasan dari Pengelolaan Kotoran	73
Tabel 434. Default Faktor Emisi N ₂ O Tidak Langsung karena Volatilisasi serta Pencucian dan Limpasan dari Pengelolaan Kotoran	76
Tabel 435. Hubungan Kategorisasi Penggunaan Lahan IPCC 2006 dan Kementerian Kehutanan	78
Tabel 436. Simpanan Karbon dan Pertumbuhan Hutan dan Penggunaan Lahan Lain.	83
Tabel 437. Nilai Konsumsi Bahan Bakar Biomas/Bahan Organik Mati dan Biomas Hidup (Ton Bahan Kering/Ha) untuk Menduga Mb*Cf dari Pembakaran Sisa Pertanian	91
Tabel 438. Faktor Emisi Dari Pembakaran Berbagai Jenis Ekosistem (g/kg bahan kering yang dibakar)	95

Tabel 4.39. Default Faktor Emisi untuk Menghitung Emisi N ₂ O Langsung	95
Tabel 4.40. Default Emisi, Faktor Volatilisasi, dan Pencucian untuk Emisi N ₂ O Tidak Langsung dari Tanah	97
Tabel 4.41. Faktor Emisi Harian CH ₄ Default	99
Tabel 4.42. Default Lama Budidaya Padi Sawah	100
Tabel 4.43. Faktor Skala yang Menjelaskan Perbedaan Rejim Air Selama Periode Budidaya	100
Tabel 4.44. Faktor Skala yang Menjelaskan Perbedaan Rezim Air Sebelum Periode Budi Daya	101
Tabel 4.45. Faktor Konversi Bahan Organik	101
Tabel 4.46. Sumber dan Deskripsi Emisi GRK Sektor Limbah	102
Tabel 4.47. Laju Timbulan Sampah Indonesia dari Berbagai Literatur	103
Tabel 4.48. Komponen Sampah Indonesia dari Berbagai Literatur	104
Tabel 4.49. Kandungan Bahan Kering (di TPA) dari Berbagai Literatur	105
Tabel 4.50. Contoh Pengelolaan Sampah Kota Bandar Lampung dari data SIPSN	111
Tabel 4.51. Distribusi Kelola Sampah Kota Bandar Lampung	111
Tabel 4.50. Contoh Pengelolaan Sampah Kota Bandar Lampung dari data SIPSN	113
Tabel 4.53. Fraksi Penyisihan Organik di Pengolahan Limbah Cair (TOWREM) Menurut Tipe Pengolahan	115
Tabel 4.54. Nilai Default dan Ketidakpastian Kandungan Karbon, Kandungan Nitrogen, serta DOC Lumpur Domestik dan Industri (dalam % Bahan Kering)	116
Tabel 4.55. Faktor Emisi Default untuk Estimasi GRK di Landfill TPA (SWDS)	117
Tabel 4.56. Faktor Emisi CH ₄ dan N ₂ O untuk Pengolahan Sampah secara Biologis	118
Tabel 4.57. Faktor Emisi CO ₂ untuk Insinerasi dan Pembakaran Sampah secara Terbuka	118
Tabel 4.58. Faktor Emisi CH ₄ dan N ₂ O untuk Pengolahan Sampah Secara Termal	119
Tabel 4.60. MCF dan EFS Limbah Cair Domestik Default Berdasarkan Tipe Pengolahan & Jalur Pembuangan, J1	120
Tabel 4.61. MCF Default dan Resultante Faktor Emisi untuk Limbah Cair Industri	122

BAB 1



PENDAHULUAN

Gas rumah kaca (GRK) merupakan gas di atmosfer yang menyerap dan memancarkan radiasi inframerah termal dan ikut menentukan suhu permukaan bumi. GRK utama di atmosfer bumi adalah uap air (H₂O), karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄) dan dinitrogen oksida (N₂O). Konsentrasi GRK di atmosfer mengalami peningkatan yang sangat tinggi sebagai akibat berbagai aktivitas manusia khususnya sejak era pra-industri. Hal ini menyebabkan timbulnya masalah pemanasan global dan perubahan iklim.

Inventarisasi GRK adalah inventarisasi emisi-emisi GRK untuk mengetahui dan memantau perubahan emisi dan serapan GRK dari berbagai sumber emisi dan sumber rosot/serapan (*sink*) antropogenik di tingkat nasional, sub-nasional (provinsi, kabupaten/kota) dan perusahaan. Penyusunan inventarisasi GRK merupakan langkah awal untuk merancang

aksi mitigasi perubahan iklim. Pembuat kebijakan menggunakan inventarisasi GRK untuk mengembangkan strategi dan kebijakan pengurangan emisi dan untuk melacak kemajuan kebijakan tersebut. Perusahaan juga mengandalkan inventarisasi untuk membuat catatan kepatuhan dengan tingkat emisi yang diizinkan. Masyarakat dan kelompok kepentingan lainnya menggunakan inventarisasi GRK untuk lebih memahami sumber dan tren emisi.

Pedoman ini disusun untuk menyediakan informasi ringkas mengenai pelaksanaan inventarisasi emisi GRK di tingkat nasional maupun provinsi dan/atau kabupaten/kota. Metodologi yang mendasari pedoman ini adalah **Pedoman Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) untuk Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional** termasuk **"Refinement 2019"**.

BAB 2 PRINSIP DASAR IGRK



Penyusunan inventarisasi GRK yang berkualitas dan siap untuk diverifikasi harus memenuhi lima prinsip dasar, yaitu: (a). Transparansi (*Transparency*), (b). Akurasi (*Accuracy*), (c). Konsistensi (*Consistency*), (d). Dapat diperbandingkan (*Comparability*), dan (e). Kelengkapan (*Completeness*) atau sering disingkat dengan TACCC. Batasan dari 5 prinsip tersebut diuraikan secara singkat sebagai berikut:

a. Transparansi (*Transparency*)

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

b. Akurasi (*Accuracy*)

Perkiraan emisi atau serapan GRK harus diupayakan tidak terlalu tinggi (*overestimate*) atau terlalu rendah (*underestimate*). Penyusun inventarisasi harus berupaya mengurangi bias sehingga inventori GRK yang dihasilkan benar merefleksikan emisi yang sebenarnya dan tingkat kesalahannya kecil.

c. Kelengkapan (*Completeness*)

Semua sumber emisi dan rosot untuk semua jenis GRK dilaporkan dengan lengkap, dan apabila ada yang tidak diduga harus dijelaskan alasannya. Demikian juga jika ada sumber emisi atau sumber rosot yang tidak dihitung atau dikeluarkan dari inventarisasi GRK, maka harus diberikan justifikasinya kenapa sumber atau rosot tersebut tidak dimasukkan. Selain itu, inventarisasi GRK harus melaporkan dengan jelas batas (*boundary*) yang digunakan untuk menghindari adanya perhitungan ganda (*double counting*) atau adanya emisi yang tidak dilaporkan.

Ada beberapa simbol yang digunakan dalam melaporkan inventarisasi GRK untuk memenuhi prinsip kelengkapan yaitu **NA** (*Not Applicable*), **NO** (*Not Occurring*), **NE** (*Not Estimated*), **IE** (*Including Elsewhere*) dan **C** (*Confidential*).

Apabila ada di antara sumber emisi dan sumber rosot yang sudah ditetapkan IPCC tidak dilaporkan karena kategori sumber emisi dan sumber rosot tersebut tidak menghasilkan emisi dan serapan untuk jenis gas tertentu, maka digunakan notasi **NA**. Jika emisi dan serapan memang tidak terjadi maka digunakan notasi: **NO**. Apabila belum dihitung karena ketidaktersediaan data maka digunakan notasi: **NE**. Apabila dihitung tetapi perhitungannya masuk ke dalam kategori sumber dan serapan yang tidak sesuai dengan yang sudah ditetapkan karena alasan tertentu maka digunakan notasi: **IE**. Jika tidak dilaporkan secara tersendiri dalam

sub-kategori tertentu karena alasan kerahasiaan, tetapi sudah dimasukkan di tempat lain atau digabungkan ke dalam kategori lain digunakan notasi: **C**.

d. Konsistensi (*Consistency*)

Perkiraan emisi dan serapan dari sumber dan rosot untuk semua tahun inventarisasi harus menggunakan metode, kategori sumber dan rosot yang sama, sehingga perbedaan emisi antar tahun benar merefleksikan perubahan emisi dari tahun ke tahun dan bukan sebagai akibat perubahan metode yang digunakan atau bertambah/berkurangnya kategori sumber dan kategori serapan yang digunakan. Apabila pada tahun inventarisasi tertentu ada perubahan metodologi, faktor emisi *default* IPCC dengan faktor emisi lokal, atau asumsi, maka perlu

dilakukan perhitungan ulang (*recalculation*) untuk tahun inventarisasi lainnya, sehingga data inventarisasi kembali menjadi konsisten.

e. Dapat diperbandingkan (*Comparability*)

Inventarisasi GRK harus dilaporkan sedemikian rupa sehingga dapat diperbandingkan dengan inventarisasi GRK dari daerah lain atau dengan negara lain. Untuk tujuan ini, kategori sumber dan kategori rosot dalam inventarisasi GRK harus dilaporkan mengikuti Format Pelaporan Umum atau **Common Reporting Format (CRF)** yang telah disepakati oleh para pihak.

Untuk menjaga agar prinsip-prinsip di atas terpenuhi, maka penyusunan inventarisasi GRK dilakukan dengan menerapkan metodologi yang diadopsi dari "**IPCC 2006 Guideline**" termasuk "**IPCC 2013 Wetland Supplement dan IPCC 2019 Refinement.**"

BAB 3 METODE UMUM PENENTUAN TINGKAT EMISI



Secara sederhana, sumber emisi dan sumber rosot (serapan) GRK didapat dengan menerapkan formula dasar berikut:

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

Persamaan dasar di atas memformulasikan bahwa emisi GRK diperoleh dari perkalian antara data aktivitas dengan faktor emisi. Data aktivitas yang dimaksud di sini adalah kegiatan manusia yang berpotensi mengemisikan atau menyerap GRK, sedangkan faktor emisi menggambarkan banyaknya GRK yang diemisikan atau diserap dari atmosfer oleh suatu unit data aktivitas.

Faktor emisi umumnya telah tersedia dalam *IPCC Guideline* dan dikenal dengan istilah faktor

emisi *default*. Akan tetapi, jika memungkinkan, maka penggunaan faktor emisi lokal sangat direkomendasikan.

Terkait akurasi, berdasarkan *IPCC Guideline*, terdapat 3 tingkatan (*tier*) metode untuk melakukan estimasi emisi GRK, dimana semakin tinggi *tier* yang digunakan maka akan semakin tinggi pula tingkat keakurasian estimasi, yakni:

Tier 1

Estimasi berdasarkan data aktivitas yang bersumber dari data global atau statistik nasional dan faktor emisi *default* yang tersedia dalam “**IPCC Guideline**”.

Tier 2

Estimasi berdasarkan data aktivitas yang lebih akurat dan faktor emisi lokal atau negara.

Tier 2

Estimasi berdasarkan metode spesifik negara bersangkutan, data aktivitas yang lebih akurat, serta faktor emisi hasil pemodelan spesifik lokasi.

Berdasarkan “**IPCC 2006 Guideline**”, inventarisasi GRK melaporkan sumber-sumber emisi dan/atau sumber serapan GRK dari sektor: (1). Energi; (2). IPPU; (3). Pertanian, Kehutanan, dan Tata Guna Lahan Lainnya (AFOLU); dan (4). Limbah. Jenis GRK yang dilaporkan terdiri dari 3 gas utama: CO₂, CH₄, dan N₂O.

Nilai emisi dari CH₄ dan N₂O dikonversi menjadi satuan CO₂ *equivalent* (CO₂e) dengan menggunakan nilai potensi pemanasan global atau *Global Warming Potential* (GWP) mengikuti **Laporan Penilaian Kedua IPCC** seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 31** di bawah ini.

Tabel 31. | Nilai GWP dari GRK

NO	GAS	GWP (CO ₂ e)
1	CO ₂	1
2	Metana (CH ₄)	21
3	Dinitrogen oksida (N ₂ O)	310
4	HCFC-141b	700 *)
5	HCFC-134a	1300
6	HCFC-22	1700 *)
7	HCFC-142b	2400 *)
8	CFC-11	4600 *)
9	CFC-12	10600 *)
10	Sulfur hexafluoride, SF ₆	23900

Keterangan: *) *Assessment Report (AR3)*

3.1. DATA AKTIVITAS (DA)



Data aktivitas untuk semua kategori sumber dan rosot (serapan) berkemungkinan besar tidak tersedia. Beberapa isu pada data aktivitas yang mengakibatkan kesenjangan data (*data gaps*) atau tidak konsisten diantaranya adalah:

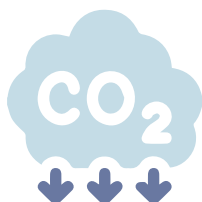
- Data tidak tersedia setiap tahun (*incomplete*)
- Data di tahun-tahun berikutnya tidak ada/ tidak terjamin ketersediaannya (*discontinued*)
- Metodologi yang digunakan tidak sama selama lebih dari setahun (*inconsistent*)
- Tidak representatif (tidak sesuai dengan tujuan)
- Terjadinya kesalahan identifikasi dalam data historis
- Penambahan sumber data dalam inventori yang data historisnya tidak tersedia

Ada empat metode yang bisa dipakai untuk mengatasi masalah ini, yaitu *Overlap*, *Surrogate Data*, *Interpolasi*, dan *Ekstrapolasi*. Data aktivitas (DA) biasanya dalam satuan ton, kiloliter, MMSCF, atau sesuai kondisi masing-masing bahan bakar. Untuk itu, DA perlu dikonversi ke dalam satuan energi (*Terra Joule*, TJ) menggunakan nilai kalor bersih (*Net Calorific Value*, NCV) masing-masing bahan bakar.

Tabel 3.2. | Metodologi *Gap Filling*

Pendekatan	Penerapan	Keterangan
Overlap	Data yang diperlukan untuk menerapkan metode lama dan baru harus tersedia untuk setidaknya satu tahun	Hanya digunakan jika pola <i>overlap</i> menunjukkan data yang simetris
Surrogate Data	Tanggal yang hilang sangat terkait dengan data proksi	Harus menguji beberapa variabel data proksi yang potensial
Interpolasi	Untuk data berkala atau celah dalam data seri	Interpolasi linier atau non-linear. Hanya digunakan jika data menunjukkan tren yang stabil
Ekstrapolasi	Data yang hilang pada akhir atau awal tahun	Hanya digunakan jika tren stabil dan cenderung andal. Seharusnya hanya digunakan selama beberapa tahun

3.2. FAKTOR EMISI (FE)



Sesuai dengan pedoman yang dikeluarkan oleh IPCC, setiap negara didorong untuk menyusun faktor emisi (FE) lokal agar hasil dugaan emisi dan serapan GRK tidak *overestimate* atau *underestimate*. Indonesia sudah memiliki FE CO₂ lokal untuk semua bahan bakar fosil, namun untuk FE CH₄ dan FE N₂O masih menggunakan

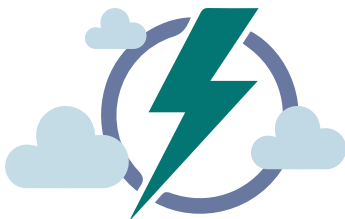
FE default **IPCC-2006** atau **Refinement 2019**. Khusus untuk pembakaran bahan bakar tetap menggunakan metodologi **IPCC-2006**, namun untuk penghitungan emisi *fugitive* (emisi GRK yang secara tidak sengaja terlepas pada kegiatan produksi dan penyediaan bahan bakar) menggunakan metodologi **Refinement 2019**.

BAB 4

ESTIMASI TINGKAT EMISI GRK



4.1. ENERGI



Inventarisasi GRK Sektor Energi terdiri atas 3 sub kategori aktivitas, yaitu: pembakaran bahan bakar (1A), emisi fugitif (1B), serta transportasi dan penyimpanan CO₂ (1C). Khusus untuk aktivitas transportasi dan penyimpanan CO₂ belum berlangsung di Indonesia, karena kegiatan *Carbon Capture and Storage* (CCS) atau *Carbon Capture Storage and Use* (CCSU) belum terjadi di Indonesia.

4.1.1. PEMBAKARAN BAHAN BAKAR

Bahan bakar fosil maupun biomassa jika dibakar akan menghasilkan emisi CO₂, CH₄, dan N₂O. Khusus untuk emisi CO₂ yang timbul akibat pembakaran biomassa (kayu bakar, sekam padi, Jerami, tongkol jagung, *biofuel*, dan lainnya) tetap dihitung tetapi tidak dijumlahkan dalam total emisi GRK akibat pembakaran bahan bakar fosil. Hal ini terjadi karena emisi CO₂ yang timbul dari pembakaran biomassa “dianggap” akan diserap lagi oleh tanaman atau tumbuhan atau pohon, yang dalam **IPCC-2006** dianggap sebagai “*carbon neutral*”. Adapun emisi CH₄ dan emisi N₂O dari pembakaran biomassa tetap dijumlahkan dengan emisi CH₄ dan N₂O dari pembakaran bahan bakar fosil.

Emisi GRK akibat pembakaran bahan bakar (1A) dibedakan atas industri energi (1A.1) yang terdiri atas penambangan bahan bakar fosil, pembangkit listrik, kilang minyak/gas/lpg; industri manufaktur (1A.2) yang dibedakan ke dalam 13 sub kategori

industri sesuai ISIC; transportasi (1A.3) yang terdiri atas udara, darat, laut, dan kereta api; sektor lainnya (1A.4) mencakup bangunan komersial, rumah tangga, dan lainnya. Untuk pelaporan inventarisasi GRK Indonesia, emisi GRK akibat pembakaran bahan bakar pada sektor lainnya (1A.4) dipisahkan menjadi sub-sektor komersial, sub-sektor rumah tangga, dan sub-sektor ACM/*Agriculture, Construction and Mining* (pertanian, konstruksi, dan pertambangan). Data Aktivitas (DA) konsumsi bahan bakar nasional tercantum dalam **Neraca Energi Indonesia** dalam buku “**Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia**” dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM).

Emisi GRK yang terjadi akibat pembakaran bahan bakar adalah Data Aktivitas (DA) atau konsumsi bahan bakar dikalikan dengan Faktor Emisi (FE) bahan bakar. DA merupakan data

realisasi konsumsi bahan bakar yang berlangsung pada sub-sektor industri energi (1A1), industri manufaktur (1A2), transportasi (1A3), dan sektor lainnya (1A4). Data ini harus diperoleh dari pemasok bahan bakar, misalnya PT. Pertamina (Persero) untuk pasokan BBM, gas bumi, dan LPG, badan usaha lainnya (gas bumi, batubara, BBM), atau dari konsumen bahan bakar skala besar.

Data Aktivitas (DA) biasanya dalam satuan kiloliter, MMCF, ton, MMBTU. Satuan konsumsi bahan bakar ini perlu dikonversi ke satuan energi (TJ) yang mempertimbangkan nilai kalor bersih atau *Net Calorific Value/NCV* (TJ/Gg) bahan bakar dan berat jenis BBM (kg/m³). Indonesia sudah memiliki nilai NCV dan berat jenis bahan bakar fosil nasional (*Tier-2*). Adapun bahan bakar biomassa masih menggunakan nilai *default IPCC-2006* (*Tier-1*). Indonesia juga telah memiliki nilai Faktor Emisi (FE) nasional (*Tier-2*) dalam satuan kg CO₂/TJ untuk bahan bakar fosil (BBM, gas bumi, LPG, LNG, batubara), sedangkan Faktor

Emisi (FE) biomassa masih menggunakan nilai FE *default IPCC-2006*.

Sumber emisi GRK hasil pembakaran bahan bakar dikelompokkan ke dalam 2 (dua) kategori utama, yaitu sumber tidak bergerak (stasioner) dan sumber bergerak (mobil/*mobile*). Kegiatan pembangkitan listrik (1A1) adalah pembangkitan listrik (untuk dijual kepada pihak lain), sedangkan kegiatan pembangkitan listrik yang digunakan untuk keperluan sendiri dimasukkan dalam kategori yang sesuai dengan kegiatan pembangkitan listrik tersebut. Misalnya pembangkit terdapat pada kegiatan manufaktur maka masuk dalam kegiatan energi di sektor manufaktur.

Sumber emisi yang bergerak mempunyai FE non-CO₂ (CH₄ dan N₂O) yang berbeda, bergantung kepada jenis bahan bakar dan teknologi penggunaan bahan bakar tersebut. **Tabel 4.1** dan **Tabel 4.2** memperlihatkan perbedaan faktor emisi beberapa jenis bahan bakar untuk peralatan bergerak dan stasioner.

Tabel 4.1. | Faktor Emisi Bergerak *Tier-1* dan *Tier-2*

JENIS BBM	FE BERGERAK (<i>MOBILE</i>)			
	CO ₂		CH ₄	N ₂ O
	kg CO ₂ /TJ		kg CH ₄ /TJ	kg N ₂ O/TJ
	<i>Tier 1</i> IPCC	<i>Tier 2</i> ESDM (Lemigas, Tekmira)	<i>Tier 1</i> IPCC	<i>Tier 1</i> IPCC
Motor gasoline --> Premium, RON 95+	69.300	68.910	33	3,2
Motor gasoline --> Premium, RON 92	69.300	69.040	33	3,2
Motor gasoline --> Premium, RON 90	69.300	69.290	33	3,2
Motor gasoline --> Premium, RON 88	69.300	69.670	33	3,2
Other kerosene, minyak tanah	71.900	73.430	0,5	2,0
Gas/Diesel Oil, ADO/HSD CN-53	74.100	72.850	3,9	3,9
Gas/Diesel Oil, ADO/HSD CN-51	74.100	72.930	3,9	3,9
Gas/Diesel Oil, ADO/HSD CN-48	74.100	73.280	3,9	3,9
Gas/Diesel Oil, IDO	74.100	74.520	3,9	3,9
Residual Fuel Oil (RFO), MFO, HFO*	77.400	77.900	7,0	2,0
LPG	63.100	65.400	62,0	0,2

Tabel 4.2. | Faktor Emisi Stasioner *Tier-1* dan *Tier-2*

JENIS BBM	FE STATIS			
	CO ₂		CH ₄	N ₂ O
	kg CO ₂ /TJ		kg CH ₄ /TJ	kg N ₂ O/TJ
	<i>Tier 1</i> IPCC	<i>Tier 2</i> ESDM (Lemigas, Tekmira)	<i>Tier 1</i> IPCC	<i>Tier 1</i> IPCC
Motor gasoline --> Premium, RON 95+	69.300	68.910	3	0,6
Motor gasoline --> Premium, RON 92	69.300	69.040	3	0,6
Motor gasoline --> Premium, RON 90	69.300	69.290	3	0,6
Motor gasoline --> Premium, RON 88	69.300	69.670	3	0,6
Jet kerosene, avtur*		72.360	3	0,6
Other kerosene, minyak tanah	71.900	73.430	3	0,6
Gas/Diesel Oil, ADO/HSD CN-53	74.100	72.850	3	0,6
Gas/Diesel Oil, ADO/HSD CN-51	74.100	72.930	3	0,6
Gas/Diesel Oil, ADO/HSD CN-48	74.100	73.280	3	0,6
Gas/Diesel Oil, IDO	74.100	74.520	3	0,6
Residual Fuel Oil (RFO), MFO, HFO*	77.400	77.900	3	0,6
LPG	63.100	65.400	1	0,1

Secara umum perhitungan emisi akibat pembakaran menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Emisi}_{\text{GRK, BB}} = \text{AD}_{\text{BB}} * \text{EF}_{\text{GRK, BB}}$$

Di mana:

- BB** : Singkatan dari jenis Bahan Bakar (misal premium, batubara, dll)
- GRK** : jenis Gas Rumah Kaca (misal CO₂, CH₄, atau N₂O)
- Emisi_{GRK, BB}** : Emisi GRK jenis tertentu menurut jenis Bahan Bakar (dalam ton GRK)
- AD_{BB}** : Data aktivitas menurut jenis Bahan Bakar (dalam Terra Joule atau TJ)
- EF_{GRK, BB}** : Faktor emisi GRK jenis tertentu menurut jenis Bahan Bakar (dalam ton GRK/TJ)

Faktor emisi menurut *default* IPCC dinyatakan dalam satuan emisi per unit energi yang dikonsumsi (ton GRK/TJ). Di sisi lain data aktivitas yang berupa data konsumsi energi yang tersedia umumnya dalam satuan fisik (ton batubara, kiloliter minyak diesel, dll). Oleh karena itu, data konsumsi energi harus dikonversi terlebih dahulu ke dalam satuan energi TJ.

$$AD_{BB} = F_{BB} * NCV$$

Di mana:

AD BB : Data aktivitas menurut jenis Bahan Bakar (dalam TJ)

F BB : Konsumsi per jenis Bahan Bakar dalam satu tahun (dalam satuan fisik)

NCV BB : Nilai kalor bersih per jenis Bahan Bakar (dalam TJ/satuan fisik)

Khusus untuk konsumsi BBM, rumus di atas harus dikalikan dengan kepadatan/densitas (*density*) masing-masing bahan bakar minyak. Adapun NCV, kandungan karbon, dan densitas bahan bakar minyak ditunjukkan pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3. | FE, NCV, kandungan C, dan Densitas Bahan Bakar Nasional

JENIS	FE CO2	NCV	KANDUNGAN C	DENSITAS
	(Kg/TJ)	TJ/Gg	% Berat	Kg/m3
Pertamax	72607	39,93	79	742,5
Premium	72827	39,90	79	742,5
Avtur	73303	42,83	86	807,5
Minyak Tanah	73670	42,69	86	835,0
Minyak Solar	74293	42,66	86	837,5
Minyak Diesel	73890	40,80	84	910,0
Minyak Bakar	75174	41,31	89	991,0
Gas Pipa	57640	45,2	71	
LNG	57270	45,1	74	
LPG	65400	46,1	77	
Rendah (<5100)	106476	14,8	42,92	
Sedang (5100-6100)	100575	18,7	51,24	
Tinggi (6100-7100)	94175	24,1	62,18	
Sangat Tinggi (>7100)	95062	28,5	73,82	

Kandungan C diperlukan untuk menghitung emisi GRK spesifik pengguna (*Tier-3*), dimana besarnya emisi GRK dihitung sebagai berikut. Nilai 44/12 merupakan nilai perbandingan mol CO₂ terhadap mol C.

$$\text{Emisi}_{\text{GRK, BB}} = \text{AD}_{\text{BB}} * \text{Kandungan C} * 44/12$$

Tabel 4.4. | Faktor Konversi Bahan Bakar

JENIS	SUB JENIS ENERGI	SATUAN	FAKTOR PENGALI KE BOE	GJ
Batubara	<i>Anthracite</i>	Ton	4,9893	29,6863
	Impor	Ton	4,2766	25,4458
	Kalimantan	Ton	4,2766	25,4458
	Ombilin	Ton	4,8452	28,8289
	Tanjung Enim	Ton	3,7778	22,4779
	<i>Lignite</i>	Ton	3,0649	18,2362
	<i>Riau Peat</i>	Ton	2,5452	15,1439
	<i>Briquette</i>	Ton	3,5638	21,2046
Gas	<i>City Gas</i>	10 ³ Kkal	0,0007	0,0042
	CNG	10 ³ Kkal	0,0007	0,0042
	LNG	Ton	8,0532	1,0686
	LNG	MMBTU	0,1796	1,0686
	LPG	Ton	8,5246	50,7214
	Gas Bumi	MCF	0,1796	1,0686
Minyak	<i>Condensate</i>	Barrel	0,9545	5,6793
	<i>Crude Oil</i>	Barrel	1,0000	5,9500
	Avgas	Kilo Liter	5,5530	33,0404
	Avtur	Kilo Liter	5,8907	35,0497
	Super TT	Kilo Liter	5,8275	34,676
	Premix	Kilo Liter	5,8275	34,676
	Premium	Kilo Liter	5,8275	34,676
	<i>Kerosene</i>	Kilo Liter	5,9274	35,2680
	ADO	Kilo Liter	6,4871	38,5982
	IDO	Kilo Liter	6,6078	39,3164
	FO	Kilo Liter	6,9612	41,4191
	<i>Lubricant</i>	Kilo Liter	7,3463	43,7103

Tabel 4.5. | Faktor Konversi Energi

ENERGY CONVERSION TABLE INDONESIAN MARKAL PROJECT												
To Convert To From	Multiplication Factors											
	KCE	TCE	Million TCE	BOE	TOE	Joule	kilo Joule	cal	k cal	Btu	MM Btu	kWh
1. KCE	1	10 ⁻³	10 ⁻⁶	4.92x10 ⁻³	0.684x10 ⁻³	29.29x10 ³	29.29x10 ³	7x10 ³	7.0x10 ³	27.78x10 ³	27.78x10 ³	8.134
2. TCE	10 ³	1	10 ⁻³	4.92	0.684	29.29x10 ⁶	29.29x10 ⁶	7x10 ⁶	7.0x10 ⁶	27.78x10 ⁶	27.78	8.134
3. Million TCE	10 ⁶	10 ³	1	4.92x10 ³	0.684x10 ³	29.29x10 ⁹	29.29x10 ⁹	7x10 ⁹	7.0x10 ⁹	27.78x10 ⁹	27.78x10 ³	8.134x10 ³
4. BOE	203	0.203	0.203x10 ⁻³	1	0.139	5.95x10 ³	5.95x10 ³	1.461x10 ³	1.461x10 ³	5.64x10 ³	5.64	1.698x10 ³
5. TOE	1.461	1.461	1.461x10 ⁻³	7.195	1	4.28x10 ³	4.28x10 ³	10.23x10 ³	10.23x10 ³	40.58x10 ³	40.58	11.887x10 ³
6. Joule	34.5x10 ⁻³	34.5x10 ⁻¹²	34.5x10 ⁻¹⁵	1.68x10 ⁻¹⁵	23.34x10 ⁻¹²	1	10 ⁻³	0.239	0.239x10 ⁻³	9.478x10 ⁻³	9.478x10 ⁻¹⁵	2.777x10 ⁻¹
7. kilo Joule	34.5x10 ⁻²	34.5x10 ⁻⁸	34.5x10 ⁻¹¹	1.68x10 ⁻⁸	23.34x10 ⁻⁸	10 ³	1	0.239x10 ³	0.239	9.478x10 ⁻¹	9.478x10 ⁻⁸	2.777x10 ⁻⁴
8. cal	0.142x10 ⁻³	0.142x10 ⁻⁸	0.142x10 ⁻¹¹	0.684x10 ⁻⁸	97.75x10 ⁻¹¹	4.184	4.184x10 ⁻³	1	10 ⁻³	3.968x10 ⁻³	3.968x10 ⁻⁸	1.162x10 ⁻²
9. k cal	0.142x10 ⁻²	0.142x10 ⁻⁷	0.142x10 ⁻¹⁰	0.684x10 ⁻⁷	97.75x10 ⁻¹⁰	4.184x10 ³	4.184	10 ³	1	3.968	3.968x10 ⁻³	1.162x10 ⁻³
10. Btu	0.036x10 ⁻³	0.036x10 ⁻⁸	0.036x10 ⁻¹¹	0.177x10 ⁻⁸	24.65x10 ⁻¹¹	1.055x10 ³	1.055	252.1	252.1x10 ⁻³	1	10 ⁻³	2.929x10 ⁻⁴
11. MM Btu	36	0.036	0.036x10 ⁻³	0.177	24.65x10 ⁻³	1.055x10 ⁶	1.055x10 ³	252.1x10 ³	252.1x10 ³	10 ³	1	292.9
12. kWh	0.123	0.123x10 ⁻³	0.123x10 ⁻⁶	0.589x10 ⁻³	84.1x10 ⁻⁶	3.601x10 ³	3.601x10 ³	0.86x10 ³	0.86x10 ³	3.414x10 ³	3.414x10 ⁻³	1

TCE, BOE based on Arabian Light (32 API, 10230 kcal/kg, 7.195 barrel/ton)

TCE based on International Standard Coal (7000 kcal/kg)

1 barrel = 159 liters

1 Nm³ = 37.899 Standard Cubic Foot

1 Lb = 0.4536 Kg

Note: This is only a Conversion Table for unit of energy

The transformation of physical units from Domestic Statistics is done by using Domestic Energy Equivalents (Domestic Energy Equivalent Table)

4.1.2. EMISI FUGITIF

Emisi fugitif adalah emisi yang terjadi akibat kebocoran selama proses produksi batubara dan migas, pengangkutan minyak bumi menggunakan pipa atas tanker, *loading* minyak bumi ke tanker, input minyak bumi ke kilang *minyak*, pengangkutan gas bumi melalui pipa transmisi/distribusi/gas kota, konsumsi gas bumi sektor industri/komersial/pembangkit, penampungan gas bumi/LNG, dan lainnya. Penghitungan emisi fugitif menggunakan **Refinement IPCC-2006 tahun 2019**, dimana terdapat tambahan DA dan perbaikan FE yang terdapat dalam **IPCC-2006**.

Beberapa DA yang diperlukan untuk penghitungan emisi fugitif adalah total produksi batubara tambang terbuka dan tambang dalam, jumlah sumur pengembangan/eksplorasi per tahun, total sumur yang beroperasi per tahun, total produksi minyak bumi dan gas bumi *onshore* dan *offshore*, total sumur migas yang sudah tidak berproduksi, panjang pipa transmisi/distribusi/jargas, total konsumsi gas bumi sektor pembangkit/industri/komersial, jumlah penampung gas bumi, jumlah kompor gas, dan lainnya. Penambahan DA dalam penghitungan emisi fugitif sesuai **Refinement 2019** akan meningkatkan pangsa emisi fugitif dalam total emisi GRK Sektor Energi.

4.1.2.1. Produksi Batubara

Produksi Batubara tambang terbuka (Indonesia tidak memiliki tambang dalam):

- **Emisi CH₄** = Produksi batubara (ton) x 1,2 m³/ton x 0,67 x 10⁻⁶ Gg CH₄/m³
- **Emisi CO₂** = Produksi batubara (ton) x 0,44 m³/ton x 1,84 x 10⁻⁶ Gg CO₂/m³

Paska Produksi Batubara:

- **Emisi CH₄** = Produksi batubara (ton) x 0,1 m³/ton x 0,67 x 10⁻⁶ Gg CH₄/m³

4.1.2.2. Produksi Minyak Bumi

Penghitungan emisi fugitif dari produksi minyak bumi adalah sebagai berikut:

Tabel 4.6. | Faktor Emisi Fugitif Minyak Bumi (Default Refinement 2019)

Nomor	Kategori	Data Aktivitas	Faktor Emisi
1B.2.b.i	Eksplorasi gas (konvensional)	- Sebelum produksi (jumlah sumur yang dibor per tahun)	CO2: 4,72. CH4: 5,78, N2O: 0,000034 (ton/sumur)
		- Sumur pengembangan	CO2: 0,03. CH4: 0,03, N2O: 0,00000022 (ton/total sumur)
		- Produksi	CO2: 0,05. CH4: 0,06, N2O: 0,00000036 (ton/MMCF onshore)
1.B.2.b.ii	Produksi gas	- Onshore	CO2: 1,45. CH4: 4,09, N2O: 0,000025 (ton/MMCF onshore)
		- Onshore	CO2: 2,51. CH4: 7,07, N2O: 0,000043 (ton/sumur aktif)
		- Offshore	CO2: 4,8. CH4: 2,94, N2O: 0,000082 (ton/MMCF offshore gas)
		- Gathering	CO2: 0,35. CH4: 3,2, N2O: 0,000006 (ton/MMCF onshore gas)
1.B.2.b.iii	Proses Gas	- Without LDAR	CO2: 0,12. CH4: 1,33, N2O: 0,0000013 (ton/MMCF proses)
		- Limited LDAR	CO2: 0,11. CH4: 1,65, N2O: 0,0000012 (ton/MMCF proses)
		- Extensive LDAR	CO2: 9,45. CH4: 0,75, N2O: 0,0001 (ton/MMCF proses)
		- > 50% sentrifugal compressor have dry seal	CO2: 7,21. CH4: 0,57, N2O: 0,000079 (ton/MMCF gas proses)
		- Source gas	CO2: 66,7. CH4: 0,1, N2O: 0,0000013 (ton/MMCF sour gas proses)
1.B.2.b.iv	Transmisi dan Storage	- Limited LDAR	CO2: 0,23. CH4: 3,36 (ton/MMCF konsumsi gas)
		- < 50% sentrifugal compressor have dry seal	CO2: 0,28. CH4: 4,10 (ton/km pipa transmisi)
		- Extensive LDAR atau > 50% SC dry seal	CO2: 0,04. CH4: 0,29 (ton/konsumsi gas)
		- LNG ekspor/impor	CO2: 14,687. CH4: 1,66 (ton/station)
		- LNG Storage	CO2: 277. CH4: 22 (ton/station)
1.B.2.b.v	Distribusi	- < 50% pipa plastik	CO2: 0,09. CH4: 2,92 (ton/MMCF konsumsi gas)
		- no/limited LDAR	CO2: 0,03. CH4: 1,27 (ton/km pipa)
		- > 50% pipa plastik	CO2: 0,02. CH4: 0,62 (ton/MMCF konsumsi gas)
		- LDAR	CO2: 0,01. CH4: 0,23 (ton/km pipa)
		- Storage jangka pendek	CO2: 0,034. CH4: 5 (ton/MMCF storage)
		- Storage jangka pendek	CO2: 0,000021. CH4: 0,003 (ton/konsumsi gas)
		- Jargas (gas kota)	CO2: 0,00183. CH4: 0,58 (ton/km pipa)
4.2.4.k	post-meter	- Transportasi	CO2: 0,0000023. CH4: 0,0003 (ton/car)
		- Komersial dan rumah tangga	CO2: 0,000033. CH4: 0,004 (ton/peralatan atau kompor)
		- Industri dan pembangkit	CO2: 0,0033. CH4: 0,4 (ton/konsumsi gas)

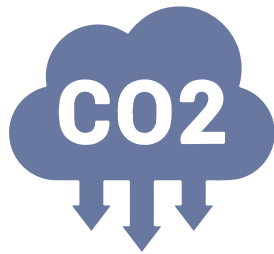
4.1.2.1. Produksi Batubara

Penghitungan emisi fugitif dari produksi gas bumi adalah sebagai berikut:

Tabel 4.7. | Faktor Emisi Fugitif Gas Bumi (Default Refinement 2019)

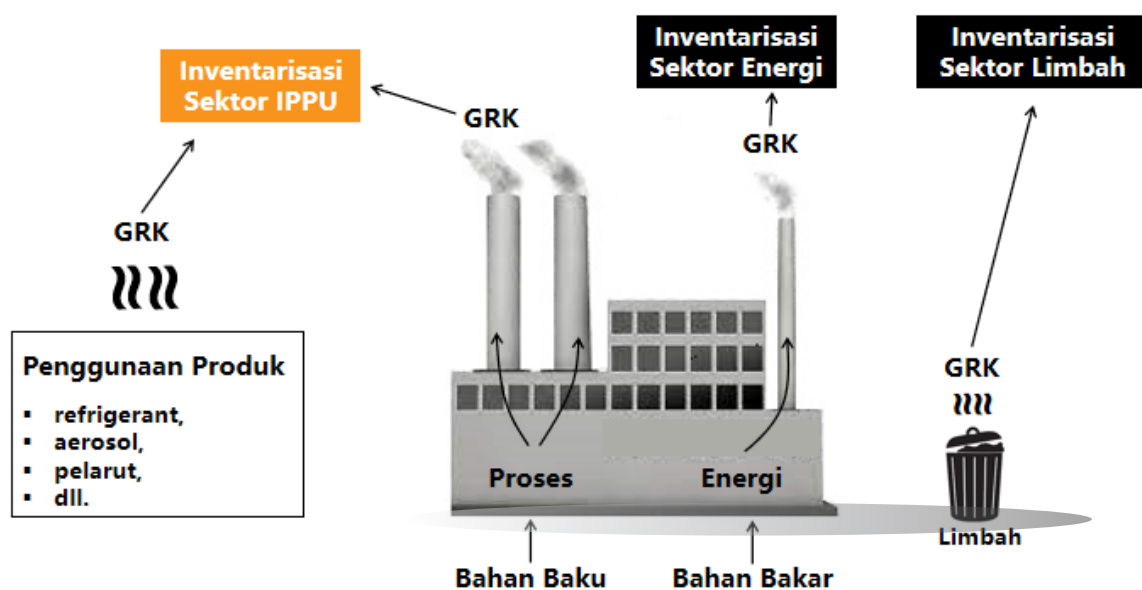
Nomor	Kategori	Data Aktivitas	Faktor Emisi
1B.2.b.i	Eksplorasi gas (konvensional)	- Sebelum produksi (jumlah sumur yang dibor per tahun)	CO2: 4,72. CH4: 5,78, N2O: 0,000034 (ton/sumur)
		- Sumur pengembangan	CO2: 0,03. CH4: 0,03, N2O: 0,00000022 (ton/total sumur)
		- Produksi	CO2: 0,05. CH4: 0,06, N2O: 0,00000036 (ton/MMCF onshore)
1.B.2.b.ii	Produksi gas	- Onshore	CO2: 1,45. CH4: 4,09, N2O: 0,000025 (ton/MMCF onshore)
		- Onshore	CO2: 2,51. CH4: 7,07, N2O: 0,000043 (ton/sumur aktif)
		- Offshore	CO2: 4,8. CH4: 2,94, N2O: 0,000082 (ton/MMCF offshore gas)
		- Gathering	CO2: 0,35. CH4: 3,2, N2O: 0,000006 (ton/MMCF onshore gas)
1.B.2.b.iii	Proses Gas	- Without LDAR	CO2: 0,12. CH4: 1,33, N2O: 0,0000013 (ton/MMCF proses)
		- Limited LDAR	CO2: 0,11. CH4: 1,65, N2O: 0,0000012 (ton/MMCF proses)
		- Extensive LDAR	CO2: 9,45. CH4: 0,75, N2O: 0,0001 (ton/MMCF proses)
		- > 50% sentrifugal compressor have dry seal	CO2: 7,21. CH4: 0,57, N2O: 0,000079 (ton/MMCF gas proses)
		- Source gas	CO2: 66,7. CH4: 0,1, N2O: 0,0000013 (ton/MMCF sour gas proses)
1.B.2.b.iv	Transmisi dan Storage	- Limited LDAR	CO2: 0,23. CH4: 3,36 (ton/MMCF konsumsi gas)
		- < 50% sentrifugal compressor have dry seal	CO2: 0,28. CH4: 4,10 (ton/km pipa transmisi)
		- Extensive LDAR atau > 50% SC dry seal	CO2: 0,04. CH4: 0,29 (ton/konsumsi gas)
		- LNG ekspor/impor	CO2: 14,687. CH4: 1,66 (ton/station)
		- LNG Storage	CO2: 277. CH4: 22 (ton/station)
1.B.2.b.v	Distribusi	- < 50% pipa plastik	CO2: 0,09. CH4: 2,92 (ton/MMCF konsumsi gas)
		- no/limited LDAR	CO2: 0,03. CH4: 1,27 (ton/km pipa)
		- > 50% pipa plastik	CO2: 0,02. CH4: 0,62 (ton/MMCF konsumsi gas)
		- LDAR	CO2: 0,01. CH4: 0,23 (ton/km pipa)
		- Storage jangka pendek	CO2: 0,034. CH4: 5 (ton/MMCF storage)
		- Storage jangka pendek	CO2: 0,000021. CH4: 0,003 (ton/konsumsi gas)
		- Jargas (gas kota)	CO2: 0,00183. CH4: 0,58 (ton/km pipa)
4.2.4.k	post-meter	- Transportasi	CO2: 0,0000023. CH4: 0,0003 (ton/car)
		- Komersial dan rumah tangga	CO2: 0,000033. CH4: 0,004 (ton/peralatan atau kompor)
		- Industri dan pembangkit	CO2: 0,0033. CH4: 0,4 (ton/konsumsi gas)

4.2. IPPU



Dalam suatu industri, terdapat berbagai kegiatan yang menghasilkan emisi GRK, mencakup:

- Emisi GRK selama proses/reaksi kimia di industri,
- Penggunaan gas-gas kategori GRK di dalam produk, dan
- Penggunaan karbon bahan bakar fosil untuk kegiatan non-energi (produksi).



Gambar 4.1 | Pengelompokan Inventarisasi Emisi GRK dari Kegiatan Industri (Pedoman IGRK KLHK, 2012)

Perhitungan inventarisasi emisi GRK tahunan di sektor IPPU didapatkan melalui perkalian data aktivitas dan faktor emisi untuk setiap proses industri dan penggunaan produk yang mengemisikan GRK. Data aktivitas (DA) adalah besaran kuantitatif (jumlah) bahan yang diproduksi dan/atau yang dikonsumsi. Sementara itu, faktor emisi (EF) pada kegiatan IPPU adalah faktor yang menunjukkan intensitas emisi per unit aktivitas yang bergantung pada berbagai parameter terkait proses kimia yang terjadi di masing-masing industri. Data Aktivitas dan Faktor Emisi Sektor IPPU ada yang tetap menggunakan

IPCC-2006, tetapi ada juga menggunakan **Refinement 2019**. Perbaikan Data Aktivitas dan Faktor Emisi pada **Refinement 2019** terjadi karena mengikuti perkembangan teknologi mutakhir atas pengoperasian suatu proses produksi.

Sumber data IGRK dari kegiatan IPPU dapat diperoleh dari Dinas Perindustrian, pelaku usaha (industri), asosiasi industri, BPS, hasil penelitian, atau proyek-proyek CDM. Sumber emisi GRK dari sektor IPPU diklasifikasikan ke dalam 8 (delapan) kategori utama (lihat **Tabel 4.8**):

Tabel 4.8. | Sumber Emisi Sektor IPPU

KATEGORI			JENIS KEGIATAN	KATEGORI			JENIS KEGIATAN
2A			Industri Mineral	2F			Penggunaan produk pengganti ODS
	2A1		Produksi Semen		2F1		<i>Refrigeration and Air Conditioning</i>
	2A2		Produksi Kapur			2F1a	<i>Refrigeration & Stationary Air Conditioning</i>
	2A3		Produksi Kaca			2F1b	<i>Mobile Air Conditioning</i>
	2A4		Konsumsi Karbonat Lainnya		2F2		<i>Foam Blowing Agents</i>
		2A4a	Produksi Keramik		2F3		<i>Fire Protection</i>
		2A4b	Penggunaan Lain Karbonat & Soda Abu		2F4		Aerosols
2B			Industri Kimia		2F5		Solvents
	2B1		Produksi Ammonia		2F6		<i>Other Applications</i>
	2B2		Produksi Asam Nitrat	2G			Manufaktur & penggunaan produk lainnya
	2B5		Produksi Karbid		2G1		<i>Electrical Equipment</i>
	2B8		Petrokimia dan Carbon Black			2G1a	<i>Manufacture of Electrical Equipment</i>
		2B8a	Methanol			2G1b	<i>Use of Electrical Equipment</i>
		2B8b	Ethylene			2G1c	<i>Disposal of Electrical Equipment</i>
		2B8c	Ethylene Dichloride and VCM		2G2		<i>SF6 and PFCs from Other Product Uses</i>
		2B8f	Carbon Black			2G2a	<i>Military Applications (AWACS)</i>
2C			Industri Logam			2G2b	<i>Accelerators</i>
	2C1		Produksi Besi dan Baja			2G2c	<i>Waterproofing of Electronic Circuits</i>
	2C3		Produksi Aluminium			2G2d	<i>Other (please specify)</i>
	2C5		Produksi Timbal	2H			Lain-lain
	2C6		Produksi Seng		2H1		Natrium karbonat di industri pulp&paper
2D			Produk Non-Energi dari Bahan Bakar dan Pelarut		2H2		Natrium karbonate di industri makanan&minuman
	2D1		Penggunaan Pelumas				
	2D2		Penggunaan Lilin Parafin				
2E			Industri Elektronik				
	2E1		Integrated Circuit or Semiconductor				
	2E2		Displays				
	2E3		Photovoltaics				
	2E4		Microelectromechanical Systems				
	2E5		Other (please specify)				

Estimasi tingkat emisi GRK dapat menggunakan salah satu dari 3 metodologi, yang didasarkan pada tingkat ketelitian (*Tier*). Semakin tinggi *Tier* yang digunakan, semakin spesifik data yang diperlukan, baik data aktivitas maupun faktor emisinya. Pada modul ini akan dibahas perhitungan emisi dengan metodologi yang paling sederhana, yaitu *Tier 1*. Untuk metodologi yang lebih lengkap, dapat dilihat di **Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi GRK Nasional KLHK Vol 2 (2012)** dan **IPCC Guideline, Vol. 3 (2006)**.

4.2.1. INDUSTRI MINERAL (2A)

4.2.1.1. Produksi Semen (2A1)

Dalam pembuatan semen, CO₂ dihasilkan pada proses produksi *klinker* (padatan semen). Pada *Tier 1* dan *Tier 2*, data aktivitas adalah jumlah produksi *klinker* per pabrik. Pada *Tier 1*, perkiraan jumlah produksi *klinker* didasarkan pada data produksi semen (digunakan fraksi), serta data impor dan ekspor *klinker*. Sementara, jumlah produksi *klinker* pada *Tier 2* didasarkan pada data real produksi *klinker* di pabrik. Metodologi penghitungan emisi IPPU untuk produksi semen menggunakan **IPCC-2006**.

Tabel 4.9. | Data Aktivitas dan Parameter Emisi Sektor Produksi Semen

TIER	DATA AKTIVITAS	FAKTOR EMISI	KETERANGAN
TIER 1	Produksi Semen per Jenis Semen (per Pabrik)	FE <i>Klinker default IPCC Guidelines 2006</i> (=0,52 ton CO ₂ /ton klinker)	- Fraksi <i>klinker</i> dalam semen <i>default</i> - Faktor koreksi <i>cement kiln dust</i> (CKD) = 1,02
TIER 2	Produksi <i>klinker</i> per Pabrik	- FE <i>klinker</i> pabrik - FE karbonat (Tabel 2.1 Vol 3, Ch 2, IPCC 2006)	- Fraksi <i>klinker</i> dalam semen (Tabel 2.2, Vol 3, Ch 2, IPCC 2006). - Berat CKD, fraksi karbonat awal
TIER 3	Konsumsi Karbonat per Pabrik	- FE karbonat per pabrik - FE penggunaan karbon pada bahan bakar fosil untuk aplikasi non-energi	- Tingkat kalsinasi karbonat dan CKD - Berat CKD

Tabel 4.10. | Faktor Emisi Default Karbonat (IPCC, 2006)

JENIS KARBONAT	NAMA MINERAL	BM	Efc (ton CO ₂ /ton karbonat)**
CaCO₃	Calcite, arogonite	100,0886	0,43971
MgCO₃	Magnesite	84,3139	0,52197
CaMg(CO₃)₂	Dolomite	184,4008	0,47732
FeCO₃	Siderite	115,8539	0,37987
Ca(Fe,Mg,Mn (CO₃)₂	Ankerite	185,0225 -215,6160	0,40822 - 0,47572
MnCO₃	Rhodochrosite	114,9470	0,38286
Na₂CO₃	Sodium carbonate or Soda ash	106,0685	0,41492

** Asumsi CO₂ yang teremisikan terjadi akibat 100%, contoh: setiap 1 ton *calcite* mengemisikan 0,43971 ton CO₂
 Sumber: **Tabel 2.1 Vol 3, Ch 2, IPCC 2006**

Pada metode *Tier-1*, emisi CO₂ dihitung berdasarkan produksi klinker semen yang diperkirakan berdasarkan data produksi semen, impor *klinker* dan ekspor *klinker*.

$$\text{Emisi CO}_2 = \sum [(M_{ci} * C_{cli}) - Im + Ex] * EF_{clc}$$

Di mana:

Emisi CO₂ : Emisi CO₂ dari produksi semen, ton

M_{ci} : Berat semen jenis i yang diproduksi, ton

C_{cli} : Fraksi klinker pada semen jenis i, fraksi

Im : Impor klinker, ton

Ex : Ekspor klinker, ton

EF_{clc} : Faktor emisi, ton CO₂/ton klinker

Faktor emisi *default* dari produksi *klinker* adalah 0,51 ton CO₂/ton *klinker*. Faktor emisi ini dikoreksi dengan CKD (*cement kiln dust*) yang tidak tercatat dalam data produksi. Pada *Tier-1* faktor koreksi CKD adalah 2%, sehingga faktor emisi *klinker* adalah:

$$EF_{clc} = 0.51 \bullet 1.02 \text{ (koreksi CKD)} = 0.52 \text{ ton CO}_2/\text{ton klinker}$$

4.2.1.2. Produksi Kapur (2A2)

Kalsium oksida (CaO atau kapur tohor) dihasilkan dari dekomposisi karbonat yang terdapat pada batu kapur melalui pemanasan. Dekomposisi karbonat tersebut menghasilkan CO₂. Metodologi penghitungan emisi IPPU untuk produksi kapur menggunakan **IPCC-2006**.

Tabel 4.11. | Data Aktivitas dan Faktor Emisi Sektor Produksi Kapur

TIER	DATA AKTIVITAS	FAKTOR EMISI	KETERANGAN
TIER 1	Produksi Batu Kapur	<i>Default</i> IPCC (=0,75 ton CO ₂ / ton produksi kapur)	Tidak perlu untuk memperhitungkan Lime Kiln Dust (LKD)
TIER 2	Produksi Batu Kapur per Jenis	FE per jenis batu kapur (ton CO ₂ / ton produksi kapur) ▪ <i>High-calcium lime</i> = 0,75 ▪ <i>Dolomitic lime</i> = 0,77 ▪ <i>Hydraulic lime</i> = 0,59	Faktor koreksi LKD = 1,02
TIER 3	Jumlah Konsumsi Karbonat Sesuai Jenisnya dan Jumlah LKD	Faktor emisi karbonat per jenis karbonat	▪ Fraksi kalsinasi untuk karbonat diperoleh dari aktual data, namun dapat juga diasumsi = 1. Fraksi kalsinasi untuk LKD <1 ▪ Berat fraksi karbon diperoleh dengan cara yang sama ketika menghitung CF _{lkd}

Metode *Tier 1* didasarkan pada data produksi kapur dengan asumsi jenis kapur yang diproduksi dan proporsi produksi kapur yang terhidrasi mengikuti *default* dari pedoman **IPCC 2006** (85% berjenis kapur kalsium tinggi, 15% kapur dolomite). Faktor emisi berasal dari **IPCC Guidelines 2006** tanpa memperhatikan faktor kalibrasi LKD dan faktor emisi untuk *Tier 1* (= 0,75 ton CO₂/ ton produksi kapur), dihitung dengan:

$$EF_{clc} = 0.85 \cdot EF_{\text{high calcium lime}} + 0.15 \cdot EF_{\text{dolomitic lime}}$$

$$= 0.85 \cdot 0.75 + 0.15 \cdot 0.77 = 0.75 \text{ ton CO}_2/\text{ton kapur yang diproduksi}$$

Di mana:

- EF_{clc}** : Faktor emisi default untuk produksi kapur
- EF_{high calcium lime}** : Faktor emisi default untuk kapur kalsium tinggi
- EF_{dolomite lime}** : Faktor emisi default untuk kapur dolomite. 0,85 dan 0,15 adalah asumsi proporsi kedua jenis kapur

4.2.1.3. Produksi Kaca (2A3)

Proses produksi gelas/kaca menghasilkan CO₂ dari proses pelelehan bahan baku yang mengandung karbonat, yaitu: batu kapur (CaCO₃), dolomit CaMg (CO₃)₂, dan soda abu (Na₂CO₃).

Di samping menggunakan bahan baku tersebut, produksi kaca/gelas pada umumnya menambahkan kaca/gelas daur ulang (*cullet*) ke dalam umpan proses. Proporsi *cullet* dalam umpan proses produksi umumnya cukup tinggi. Metodologi penghitungan emisi IPPU untuk produksi kaca menggunakan **IPCC-2006**.

Tabel 4.12. | Data Aktivitas dan Faktor Emisi Sektor Produksi Kaca

TIER	DATA AKTIVITAS	FAKTOR EMISI	PARAMETER LAINNYA
TIER 1	Produksi Gelas/Kaca (ton)	Default IPCC 2006 (= 0,20 ton CO ₂ /ton gelas/kaca)	Rasio <i>cullet</i> (= 50%)
TIER 2	Produksi per Jenis Gelas/Kaca (ton)	EF per jenis gelas/kaca) (Tabel 2.6, Vol 3, Ch 2, IPCC 2006)	Rasio <i>cullet</i> (Tabel 2.6, Vol 3, Ch 2, IPCC 2006)
TIER 3	Jumlah Karbonat (per jenis) Dikonsumsi	EF per jenis karbonat	

Emisi GRK dari produksi kaca dapat dihitung dengan menggunakan data berat kaca yang diproduksi jika data karbonat tidak tersedia. *Cullet Ratio* (CR) juga diperhitungkan dalam penentuan emisi GRK ini.

Data yang digunakan dalam perhitungan estimasi emisi produksi kaca dengan metode *Tier 1*, antara lain:

- Data total berat kaca yang diproduksi dalam unit ton
- Faktor emisi dari *default IPCC Guidelines* sebesar 0,2 ton CO₂ / berat kaca
- Nilai rasio *cullet* dalam unit fraksi sebesar 0,5 untuk angka *default IPCC 2006 Guidelines* atau menggunakan nilai CR spesifik yang berlaku di Indonesia apabila tersedia

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Mg} \cdot \text{EF} \cdot (1 - \text{CR})$$

Di mana:

- Emisi CO₂** : Emisi CO₂ dari produksi kaca, ton
- EF** : Faktor emisi default produksi kaca, ton CO₂/ton kaca
- Mg** : Berat kaca yang diproduksi, ton
- CR** : *Cullet Ratio*, fraksi
- EF_d** : Faktor emisi kalsinasi dolomite, ton CO₂/ton karbonat

4.2.1.4. Proses Karbonat Lainnya (2A4)

Produksi Keramik

Keramik diproduksi dari tanah liat. Proses produksi keramik melibatkan pemanasan temperatur tinggi. Emisi CO₂ pada produksi keramik terjadi dari proses pemanasan karbonat yang terkandung dalam tanah liat. Metodologi penghitungan emisi IPPU untuk produksi keramik menggunakan **IPCC-2006**.

Penggunaan Lain Soda Abu

Soda abu digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk diantaranya produksi kaca, sabun, dan deterjen, gas buang desulfurisasi, bahan kimia, pulp dan kertas serta produk konsumen umum lainnya. Produksi dan konsumsi soda abu (termasuk kalsium karbonat, Na₂CO₃) menghasilkan CO₂. Emisi dari produksi soda abu dilaporkan dalam kategori industri kimia.

Tabel 4.13. | Data Aktivitas dan Faktor Emisi Pada Sektor Produksi yang Menggunakan Karbonat

TIER	DATA AKTIVITAS	FAKTOR EMISI	KETERANGAN
TIER 1	Total Konsumsi Karbonat	= (0,85*EF _{batu kapur}) + (0,15*EF _{dolomit}), dalam ton CO ₂ /ton karbonat	
TIER 2	Konsumsi: ▪ Batu Kapur (<i>limestone</i>) CaCO₃ ▪ Dolomit CaMg(CO₃)₂ ▪ Kalsium Karbonat Teknis ▪ Natrium Karbonat/ Soda abu (Na₂CO₃)	Default, Tabel 2.1 IPCC 2006 (ton CO ₂ /ton karbonat): ▪ Batu Kapur = 0,43971 ▪ Dolomit = 0,47732 ▪ Kalsium Karbonat Teknis = 0,43971 ▪ Soda abu = 0,41492	
TIER 3	Data Konsumsi Karbonat per Jenis	FE masing-masing jenis karbonat	Fraksi karbonat yang terkalsinasi diperhitungkan

Metode *Tier 1* mengasumsikan bahwa karbonat yang digunakan industri hanya berasal dari kapur dan dolomit, dengan asumsi fraksi 85% (kapur) dan 15% (dolomit). Perhitungan dengan *Tier* yang lebih tinggi, fraksi konsumsi kapur dan dolomit disesuaikan dengan spesifik konsumsi daerah. Perhitungan menggunakan *Tier-1* mengikuti persamaan berikut:

$$\text{Emisi CO}_2 = M_c \bullet (0.85EF_{Is} + 0.15EF_d)$$

Di mana:

Emisi CO₂ : Emisi CO₂ dari produksi kaca, ton

Mc : Berat karbonat jenis i yang dikonsumsi, ton

EF_{Is} : Faktor emisi kalsinasi limestone, ton CO₂/ton karbonat

EF_d : Faktor emisi kalsinasi dolomite, ton CO₂/ton karbonat

Fraksi karbonat yang digunakan mengikuti *default IPCC 2006*, 0,85 untuk kapur dan 0,15 untuk dolomit. Namun, jika ada data penggunaan batu/karang karbonat, asumsi kemurnian yang digunakan adalah 95%.

4.2.2. INDUSTRI KIMIA (2B)

4.2.2.1. Produksi Ammonia (2B1)

Amonia diproduksi melalui sintesis N₂ (gas nitrogen) dan H₂ (gas hidrogen). N₂ diperoleh dari udara, sedangkan H₂ diperoleh dari proses *steam reforming* gas bumi (CH₄). Proses produksi amonia menghasilkan CO₂ sebagai *by-product*, yaitu:

- Konversi CO menjadi CO₂;
- Absorpsi CO₂ oleh larutan scrubber kalium karbonat panas, Monoetanolamina (MEA), Sulfinol (alkanol amina dan karbon *tetrahydrothiophene*) atau yang lain;
- Metanasi sisa CO₂ untuk memurnikan gas sintesis.

Emisi CO₂ juga terjadi dari proses *stripping* kondensat yang dihasilkan pada pendinginan gas sintesis setelah proses *shift conversion* temperatur rendah. Metodologi penghitungan emisi IPPU untuk produksi pupuk menggunakan **IPCC-2006**.

Tabel 4.14. | Data Aktivitas dan Faktor Emisi pada Sektor Produksi Amonia

TIER	DATA AKTIVITAS	FAKTOR EMISI	KETERANGAN
TIER 1	▪ Produksi Amonia ▪ Kebutuhan Bahan Bakar untuk Produksi Amoniak (Tabel 3.1, Vol. 3, Ch.3, IPCC 2006 Guidelines)	<i>Carbon content factor</i> (CCF) & <i>carbon oxidation factor</i> (COF) dapat dilihat di Tabel 3.1, Vol. 3, Ch.3, IPCC 2006 Guidelines	Kurangi dengan CO ₂ <i>recovery</i> di hilir (produksi urea), <i>default</i> = 0.
TIER 2	▪ Produksi Amonia Tiap Pabrik ▪ Jenis Proses Tiap Pabrik	CCF & COF <i>default</i> IPCC (per tipe proses dapat digunakan)	Kurangi dengan CO ₂ <i>recovery</i> di hilir (produksi urea, CO ₂ <i>capture and storage</i> , CCS).
TIER 3	Konsumsi Fuel per Pabrik	Data CCF & COF produsen dari produsen, atau gunakan data spesifik Indonesia	Dikelompokkan per jenis bahan bakar

Emisi CO₂ (*Tier 1*) dihitung berdasarkan produksi amonia dan kebutuhan bahan bakar per unit output, yaitu:

$$\text{Emisi CO}_2 = AP \bullet FR \bullet CCF \bullet COF \bullet 44/12 - R_{\text{CO}_2}$$

Di mana:

Emisi CO₂ : Emisi CO₂ dari produksi amonia, ton

AP : Produksi amonia, ton

FR : Kebutuhan bahan bakar (non-energi) per satuan output, GJ/ton amonia

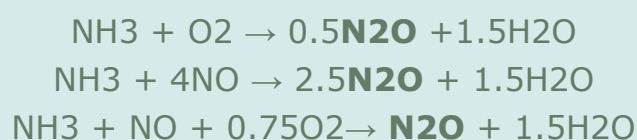
CCF : Kandungan karbon dalam bahan bakar, kg C/GJ

COF : Faktor oksidasi karbon, fraksi

Apabila data **FR**, **CCF**, & **COF** tidak tersedia, dapat menggunakan nilai *default* **IPCC 2006**.

4.2.2.2 Produksi Asam Nitrat (2B2)

Metodologi penghitungan emisi IPPU untuk produksi asam nitrat mengalami perbaikan sesuai **Refinement 2019**. Proses produksi asam nitrat (HNO₃) melibatkan oksidasi katalitik amonia pada temperatur tinggi yang menghasilkan produk samping N₂O, yaitu:



Tabel 4.15. | Data Aktivitas dan Faktor Emisi pada Sektor Produksi Asam Nitrat

TIER	DATA AKTIVITAS	FAKTOR EMISI	KETERANGAN
TIER 1	Produksi Asam Nitrat (HNO₃)	Tabel 3.3A, Vol.3, Ch.3 Refinement 2019	Jika data produksi tidak tersedia, Informasi kapasitas produksi dapat digunakan
TIER 2	Data Produksi Tingkat Pabrik menurut jenis teknologi dan <i>abatement technology</i>	Tabel 3.3, Vol. 3, Ch.3, Refinement 2019	Pilih faktor emisi sesuai dengan jenis abatement teknologi yang digunakan
TIER 3	Data Produksi Tingkat Pabrik Menurut Jenis Teknologi dan <i>Abatement Technology</i>		Gunakan data emisi spesifik pabrik dan data aktivitas, dari pengambilan sampel berkala, pemantauan berkala, atau pemantauan emisi kontinyu

Tabel 4.16. | Faktor Emisi Default Produksi Asam Nitrat

PROSES PRODUKSI	FAKTOR EMISI N ₂ O (berkaitan dengan 100% asam murni)
Pabrik tua (pra-1975) * (semua proses)	10-19 kg N ₂ O/ton asam nitrat ^a
Pabrik tekanan rendah tunggal	5 kg N ₂ O/ton asam nitrat±10%
Pabrik tekanan sedang tunggal	8 kg N ₂ O/ton asam nitrat±20%
Pabrik tekanan tinggi tunggal	9 kg N ₂ O/ton asam nitrat±40%
Pabrik tekanan tunggal dengan teknologi pengurangan (abatement)**	2,5 kg N ₂ O/ton asam nitrat±10% ^b
Tekanan ganda (M/H)	9 kg N ₂ O/ton asam nitrat±30% ^b
Tekanan ganda (M/H) dengan teknologi pengurangan	2,5 kg N ₂ O/ton asam nitrat±20% ^b
Tekanan ganda (L/M)	7 kg N ₂ O/ton asam nitrat±20% ^b
Tekanan ganda (L/M) dengan teknologi pengurangan	1,5 kg N ₂ O/ton asam nitrat±10% ^b

Perhitungan dengan metode *Tier 3* memerlukan hasil pengukuran langsung menggunakan CEM (*continuous emission monitoring*). Sementara itu, perhitungan emisi N₂O dengan metode *Tier-1* dihitung berdasarkan produksi asam nitrat dan faktor emisi **Refinement 2019**, yaitu:

$$Emisi\ N_2O = EF \times NAP$$

Di mana:

Emisi N₂O : Emisi N₂O dari produksi asam nitrat, kg

NAP : Produksi asam nitrat, ton

EF : Faktor emisi (*default*) N₂O, kg N₂O/ ton produksi asam nitrat

4.2.2.2. Produksi Karbida (2B5)

Produksi karbida dapat mengakibatkan emisi karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), karbon monoksida (CO) dan sulfur dioksida (SO₂). Metodologi penghitungan emisi IPPU untuk produksi karbida menggunakan **IPCC-2006**.

Tabel 4.17. | Data Aktivitas dan Faktor Emisi Sektor Produksi Karbida

TIER	DATA AKTIVITAS	FAKTOR EMISI	KETERANGAN
TIER 1	Data kokas minyak bumi yang digunakan dalam produksi karbida atau produksi karbida	Tabel 3.7 & Tabel 3.8, Vol 3, Ch 3, IPCC 2006	- Jika produksi karbida digunakan sebagai data aktivitas, EF merupakan emisi CO₂ per /ton produksi karbida. - Jika konsumsi kokas minyak bumi digunakan sebagai data aktivitas, EF = <i>carbon content factor</i> (CCF) * <i>carbon oxidation factor</i> (COF) * 44/12, dan memperhitungkan C terkandung dalam produk, ton bahan CO₂/ton konsumsi
TIER 2	Produksi karbida tiap pabrik. Jumlah CaC₂ digunakan dalam produksi asetilena untuk pengelasan	- Tabel 3.7 & Tabel 3.8, Vol 3, Ch 3, IPCC 2006 - Jumlah C terkandung dalam produk.	
TIER 3	Produksi karbida tiap pabrik. Jumlah CaC₂ digunakan dalam produksi asetilena untuk pengelasan	Data tingkat pabrik	CCF dan COF dari kokas minyak bumi spesifik negara dapat digunakan.

Emisi CO₂ dari produksi karbida dihitung dengan faktor emisi rata-rata CO₂ per unit produk karbida (ton CO₂/ton produksi karbida).

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{AD} \bullet \text{EF}$$

Di mana:

Emisi CO₂ : Emisi CO₂ dari produksi karbida, kg

AD : Data aktivitas konsumsi petroleum coke atau produksi karbida, ton bahan baku atau ton produksi karbida

EF : Faktor emisi CO₂

Dua opsi untuk faktor emisi CO₂:

- Jika produksi karbida digunakan sebagai data aktivitas, EF = rata-rata faktor emisi CO₂ per satuan output karbida, ton CO₂/ton produksi karbida.
- Jika konsumsi *petroleum coke* digunakan sebagai data aktivitas

EF = CCF (*carbon content factor*) * COF (*carbon oxidation factor*) * 44/12 * faktor koreksi C dalam produk, ton CO₂/ton material yang dikonsumsi.

$$\begin{array}{ll} \text{SiC} & = 0,35 \rightarrow \text{EF} = 0,65 \bullet \text{CCF} \bullet \text{COF} \bullet 44/12 \\ \text{CaC}_2 & = 0,67 \rightarrow \text{EF} = 0,33 \bullet \text{CCF} \bullet \text{COF} \bullet 44/12 \end{array}$$

Di mana:

CCF : Faktor kandungan karbon
COF : Faktor oksidasi karbon
0,35 dan 0,65 : Faktor koreksi

4.2.2.3. Produksi Petrokimia dan Black Carbon

Industri petrokimia menggunakan bahan bakar fosil (misalnya, gas alam) atau produk kilang minyak bumi (misalnya: nafta) sebagai bahan baku, dengan emisi GRK terkait yang relatif besar. Metodologi penghitungan emisi IPPU untuk produksi petrokimia dan karbon hitam (*black karbon*) menggunakan **IPCC-2006**.

Tabel 4.18. | Data Aktivitas dan Faktor Emisi Sektor Produksi Petrokimia dan Black Carbon

TIER	DATA AKTIVITAS	FAKTOR EMISI	KETERANGAN
TIER 1	Dihitung dari bahan baku tertentu	Default IPCC Guidelines 2006: Tabel 3.12: EF CO₂ dari produksi metanol Tabel 3.13: faktor konsumsi <i>feedstock</i> untuk produksi metanol Tabel 3.14: EF CO₂ dari produksi <i>steam cracking ethylene</i> Tabel 3.15: Faktor penyesuaian EF CO₂ dari produksi <i>steam cracking ethylene</i> Tabel 3.16: EF CH₄ dari produksi <i>ethylene</i> Tabel 3.17: EF CO₂ dari proses <i>Ethylene Dichloride/ Vinyl Chloride</i> Tabel 3.18: faktor konsumsi <i>feedstock</i> untuk proses <i>monomer ethylene dichloride/vinyl chloride</i>. Tabel 3.19: EF CH₄ dari proses <i>Ethylene Dichloride/ Vinyl Chloride</i> Tabel 3.20: EF CO₂ dari konsumsi (<i>feedstocks</i>) <i>ethylene oxide</i> Tabel 3.21: EF CH₄ dari produksi <i>ethylene oxide</i> Tabel 3.22: EF CO₂ dari produksi <i>acrylonitrile</i> Tabel 3.23: EF CO₂ dari produksi <i>carbon black</i> Tabel 3.24: EF CH₄ dari produksi <i>carbon black</i>	Produksi tahunan petrokimia = (konsumsi bahan baku k untuk produksi petrokimia) * (faktor produksi spesifik untuk petrokimia dan bahan baku k)

TIER	DATA AKTIVITAS	FAKTOR EMISI	KETERANGAN
TIER 2	Dihitung dari bahan baku tertentu	- Metode keseimbangan massa karbon bahan baku total tidak berlaku untuk estimasi emisi CH₄. - Metode neraca massa karbon total memperkirakan total emisi karbon dari proses tetapi tidak secara langsung memberikan perkiraan jumlah total emisi karbon yang dipancarkan sebagai CO₂, CH₄, CO, atau NMVOC.	
TIER 3	Dihitung dari bahan baku tertentu	Mungkin berhubungan dengan produksi tahunan untuk estimasi emisi antara pengukuran saat ini yang tidak terus menerus	CO ₂ yang dihasilkan dari bahan bakar atau proses berdasarkan produk yang dibakar. Pengukuran emisi CO ₂ di cerobong

Note: Nilai faktor penyesuaian terhadap geografis dapat dilihat di Tabel 3.15, Vol 3, Ch. 3 (IPCC, 2006)

Emisi CO₂

Emisi CO₂ (*Tier 1*) dihitung berdasarkan produksi produk petrokimia per jenis (metanol, etilen, etilen diklorida, etilen oksida dan akrilonitril dan *black carbon*)

$$\text{Emisi CO}_2i = PP_i \bullet EF_i \bullet GAF / 100$$

Di mana:

Emisi CO₂i : Emisi CO₂ dari produksi petrokimia jenis i, ton

PP_i : Produksi tahunan petrokimia jenis i, ton

EF_i : Faktor emisi CO₂ e untuk petrokimia jenis i, ton CO₂/ton produk

GAF : *Geographic Adjustment Factor* (*Tier 1* EF CO₂ untuk produksi ethylene, lihat Tabel 3.15, Vol 3, Ch 3 IPCC 2006), dalam %

Apabila data tahunan produksi produk utama tidak tersedia maka dapat diestimasi dari konsumsi bahan baku, dengan:

$$PP_i = \sum (FA_{i,k} \cdot SP_{P_i,k})$$

Di mana:

PP_i : Produksi tahunan petrokimia jenis i, ton

FA_{i,k} : Konsumsi tahunan bahan baku k untuk produksi petrokimia jenis i, ton

SP_{P_i,k} : Faktor produksi produk primer untuk produksi petrokimia jenis i dan bahan baku k, ton produk primer/ton konsumsi bahan baku

i : Jenis produk petrokimia

k : Jenis bahan baku (*feedstock*)

Emisi CH₄

Prinsip penghitungan metode *Tier 1* emisi CH₄ sama dengan prinsip penghitungan metode *Tier 1* emisi CO₂. Data yang digunakan adalah produksi produk petrokimia per tahun. Apabila data tidak tersedia, maka data produksi per tahun dapat diestimasi menggunakan persamaan seperti pada metode *Tier 1* emisi CO₂.

Total emisi CH₄ adalah penjumlahan dari emisi fugitif CH₄ dengan emisi CH₄ dari proses ventilasi. Emisi fugitif terdiri dari emisi yang diemisikan oleh flensa (*flanges*), katup (*valves*) dan peralatan proses lainnya. Selain itu, emisi CH₄ juga berasal dari proses ventilasi dari pembakaran tidak sempurna dari *flaring* gas buang.

$$ECH4_{\text{fugitive},i} = PP_i \bullet EFf_i$$

$$ECH4_{\text{Process vent},i} = PP_i \bullet EFP_i$$

$$ECH4_{\text{Total},i} = ECH4_{\text{fugitive},i} + ECH4_{\text{Process vent},i}$$

Di mana:

ECH₄ Total,<i>i</i>	: Total emisi CH ₄ dari produksi petrokimia <i>i</i> , kg
ECH₄ Fugitive,<i>i</i>	: Emisi <i>fugitive</i> CH ₄ dari produksi petrokimia jenis <i>i</i> , kg
ECH₄ Process Vent,<i>i</i>	: Emisi CH ₄ <i>vent</i> proses dari produksi petrokimia jenis <i>i</i> , kg
PP_{<i>i</i>}	: Produksi tahunan petrokimia jenis <i>i</i> , ton
EF_{<i>f</i>}	: Faktor emisi CH ₄ <i>fugitive</i> untuk petrokimia jenis <i>i</i> , kg CH ₄ /ton produk
EF_{<i>p</i>}	: Faktor emisi CH ₄ <i>vent</i> proses untuk petrokimia jenis <i>i</i> , kg CH ₄ /ton produk

4.2.2.4. Produksi Fluorochemical

Fluorochemical merupakan bahan kimia yang banyak digunakan sebagai pendingin dalam AC dan lainnya. Pabrik *fluorochemical* (HCFC) belum ada di Indonesia dan merupakan komoditas impor. Penghitungan emisi GRK untuk produksi *fluorochemical* menggunakan metodologi **Refinement 2019**, baik *Tier-1*, *Tier-2*, dan *Tier-3*.

4.2.2.5. Produksi Hidrogen (2.B.10)

Produksi hidrogen merupakan sub-sektor baru dalam industri kimia yang belum dipertimbangkan dalam **IPCC-2006**, sehingga metodologi perhitungan emisi GRK untuk produksi hidrogen menggunakan **Refinement 2019** (.2.B.10).

Pada dasarnya, produksi hidrogen dapat berlangsung pada pabrik hidrogen atau pabrik lainnya yang memerlukan hidrogen skala besar, misalnya industri pupuk dan industri pengilangan minyak bumi. Karenanya, data produksi hidrogen selain terdapat di Kementerian Perindustrian, juga Kementerian ESDM, dan institusi lainnya yang terkait.

Dalam **Refinement 2019**, penghitungan emisi GRK atas produksi hidrogen dapat dilakukan menggunakan Tier-1A, Tier-1B, Tier-1C, Tier-2B, Tier-2C, Tier-3B, Tier-3C, dengan formula sebagai berikut:

Tier-1C:

$$Eco_2 = \sum_j (FC_j * CCF_j * 44/12) - Rco_2$$

Tier-2B:

$$Eco_2 = \sum_j (HP_j * FRF_j * 44/12) - Rco_2$$

Tier-1A:

$$Eco_2 = HP * FRF * CCF * 44/12 - Rco_2$$

Tier-2C:

$$Eco_2 = \sum_j (FC_j * CCF_j * 44/12) - Rco_2$$

Tier-2B:

$$Eco_2 = \sum_j (HP_j * FRF_j * 44/12) - Rco_2$$

Tier-3C:

$$Eco_2 = \sum_{j,n} (HP_{j,n} * CCF_{j,n} * 44/12) - (Rco_2 + S_c * 44/12)$$

Tier-3B:

$$Eco_2 = \sum_{j,n} (HP_{j,n} * CCF_{j,n} * 44/12) - (Rco_2 + S_c * 44/12)$$

Di mana:

FC : Feedstock Consumption (GJ)

CCF : Kandungan Karbon (ton C/GJ Feedstock)

FRF : Kebutuhan Feedstock per ton produk (GJ/Ton produk hidrogen)

HP : Produksi Hidrogen (Ton)

R_{co2} : CO₂ recovered

S_c : Stored Solid Carbon (ton)

Kandungan karbon dari berbagai *feedstock hidrogen* ditunjukkan pada **Table 3.30 Vol 3: IPPU Refinement 2019**.

4.2.3. INDUSTRI LOGAM (2C)

4.2.3.1. Produksi Kokas, Besi dan Baja (2C1)

Produksi Kokas:

Produksi besi dan baja memerlukan kokas. Kokas bisa dipabrikasi terpisah atau masuk dalam rangkaian proses pabrik besi dan baja. Metodologi penghitungan industri kokas serta industri besi dan baja mengikuti **Refinement 2019**. Dalam **Refinement 2019**, selama pabrikasi kokas terdapat perbaikan metodologi dan tambahan emisi CO₂ yang harus dipertimbangkan. Emisi GRK yang timbul selama pabrikasi kokas eksternal maupun internal industri besi dan baja dikelompokkan dalam emisi Sektor Energi tetapi

metodologinya dicantumkan dalam Sektor IPPU.

Metodologi pabrikasi kokas mengalami update dan penambahan. Update terjadi karena perbedaan kandungan karbon atas bahan baku yang digunakan untuk pembuatan kokas. Selain itu, juga terjadi *update* dan penambahan emisi CO₂ selama produksi kokas berlangsung. Tetapi sekali lagi bahwa emisi GRK yang terjadi merupakan emisi GRK akibat pembakaran energi yang harus dilaporkan dalam Sektor Energi.

Tabel 4.19. | Emisi GRK Selama Produksi Kokas yang Harus Dijumlahkan dalam Emisi GRK Sektor Energi

Produksi	Jenis Emisi	Formula	Keterangan
Kokas	CO ₂	$E_{CO_2, energy} = CK \cdot EF_{CO_2}$	Update, Tier-1 ke Tier-1A
	CH ₄	$E_{CH_4, energy} = CK \cdot EF_{CH_4}$	New, Tier-1A
	CO ₂	$E_{CO_2, energy} = (CC \cdot C_{cc} - CK \cdot C_{CK}) \cdot \frac{44}{12}$	New, Tier-1B
Onsite Coke	CO ₂	$E_{CO_2, energy} = [CC \cdot C_{CC} + \sum_a (PM_a \cdot C_a) + BG \cdot C_{BG} - CO \cdot C_{CO} - COG \cdot C_{COG} - \sum_b (COB_b \cdot C_b) - E_{flaring}] \cdot 44 / 12$	Updated, Tier-2
Offsite Coke	CO ₂		

Keterangan:

- CK** : Produksi Kokas, ton
- CC** : Konsumsi batubara untuk pembuatan kokas, ton
- Ccc** : Kandungan karbon batubara
- CCK** : Kandungan karbon kokas
- PMa** : Kuantitas material proses lainnya *a* (di luar gas bumi dan BBM), yang dikonsumsi untuk produksi coke dan sinter dalam pabrik besi dan baja terintegrasi, ton
- BG** : Kuantitas gas *blast furnace gas* yang dikonsumsi pada *coke ovens*, m³ (atau unit lain misalnya ton atau GJ). Konversi unit harus konsisten dengan Panduan Sektor Energi
- CO** : Produksi metalurgi kokas
- CCO** : Kandungan karbon CO (metallurgical coal)
- Eflaring** : Emisi CO₂ dari *flaring* (ton), dikurangkan dari neraca massa karbon, karena emisi ini diperkirakan sebagai emisiz *fugitive* menggunakan metodologi yang dijelaskan dalam Bagian 4.3.2.2 Bab 4 Volume 2 dari **Refinement 2019**.

Tabel 4.20. | Kandungan Karbon Berbagai Jenis Bahan Baku untuk Pembuatan Kokas

Material untuk Proses	Kandungan Karbon (ton C/Ton produk)	
	IPCC-2006	Perbaikan IPCC-2006 Tahun 2019
Blast Furnace gas	0,17	0,17
Charcoal	0,91	0,91
BF Injection Coal	-	0,806
Steam Coal (combustion coal)	0,67	0,671
Coal Tar	0,62	0,62
Coke	0,83	0,83
Coke Oven Gas	0,47	0,47
Cooking Coal	0,73	0,73
DRI Gas-based	0,02	0,02
DRI Coal-based	0,02	0,02
Dolomite/Crude Dolomite	0,13	0,13
EAF Carbon Electrode	0,82	1
EAF Charge Carbon (Coal)	0,83	0,89
Gas Coke	0,83	
Heavy Oil	0,86	0,793
Light Oil	-	0,709
Kerosene	-	0,858
LPG	-	0,814
Hot Briquette Iron	0,02	0,02
Limestone	0,12	0,121
Natural Gas	0,73	0,73
Oxygen Steel Furnace Gas or Converter gas	0,35	0,35
Petroleum Coke	0,87	0,87
Purchased Pig Iron	0,04	0,047
Scrap Iron	0,04	0,04
Steel Scrap and Steel	0,01	0,01

Tabel 4.21. | Faktor Emisi Tier-1 Produksi Kokas

PROSES	JENIS GRK	SEKTOR	FAKTOR EMISI (ton CO ₂ /ton produk)	
			IPCC-2006	Perbaikan IPCC-2006 Tahun 2019
Produksi kokas tanpa <i>by-product</i>	CO ₂	Energi	0,56	0,51
Produksi kokas menggunakan <i>by-product</i>	CO ₂	Energi	-	1,23
<i>Coke Production</i>	CH ₄	Energi	0,1	0,089

Produksi Besi dan Baja

Metoda perhitungan inventarisasi emisi GRK (CO₂, CH₄, dan N₂O) atas produksi baja dan besi dapat dilakukan dengan pendekatan *Tier-1*, *Tier-2*, dan *Tier-3*. Metode *Tier 1* hanya sesuai jika produksi sinter (metal) dan produksi besi dan baja bukan kategori utama. Metode *Tier 2* didasarkan pada pendekatan keseimbangan massa karbon sesuai data nasional. Jika tidak tersedia dapat menggunakan metodologi hibrid dengan memilih data kandungan karbon *default Refinement 2019*, asalkan produksi besi dan baja bukan merupakan kategori kunci. Metode *Tier-3* didasarkan pada pengukuran di cerobong atau hasil pemodelan.

Pada Metode *Tier-1*, terdapat 1 tambahan metodologi pada *Refinement 2019*, yaitu metode akibat pembakaran (*flaring*) *blast furnace gas* (BFG) dan *converter gas* (LDG). Produk gas dari kokas metalurgi dan produksi besi dan baja terutama digunakan untuk menghasilkan panas dan listrik, dan dalam beberapa kasus sebagai agen pereduksi. Ada sebagian kecil dari total gas yang diproduksi, biasanya kurang dari 5%, yang hilang dari aliran produksi dan dibakar, terutama selama keadaan darurat atau pemeliharaan. Fasilitas industri yang terintegrasi biasanya membakar campuran gas yang dihasilkan, termasuk gas oven kokas (COG), gas tanur sembur (BFG) dan *Gas Linz-Donawitz* (konverter) (LDG) [juga dikenal sebagai gas tungku oksigen dasar (BOFG)], di tumpukan

yang sama. Situasi ini menjadi tantangan bagi pelaporan emisi GRK, karena (1) emisi GRK dari pembakaran COG harus dilaporkan di bawah Sektor Energi dan (2) emisi GRK dari pembakaran BFG dan LDG harus dilaporkan di bawah IPPU. Oleh karena itu, dalam pabrik baja terintegrasi, terjadi *flare gas* gabungan sehingga *flaring* COG, BFG dan LDG tidak dapat ditentukan. Untuk itu, praktik inventarisasi emisi GRK yang baik adalah melaporkan semua emisi *flaring gas* ke sector IPPU, guna menghindari penghitungan ganda.

Selain emisi CO₂, selama proses produksi baja dan besi juga menghasilkan emisi CH₄ di mana metodologi perhitungan inventarisasi emisi CH₄ *Tier-1 IPCC 2006* tidak mengalami perubahan. Namun, **Refinement 2019** menambahkan metodologi perhitungan inventarisasi emisi N₂O untuk *flaring gas* BFG dan CFG. Adapun metodologi penghitungan inventarisasi emisi GRK *Tier-2 Refinement 2019* untuk emisi CO₂ atas produksi baja dan besi serta produksi sinter merupakan pembaharuan (*update*) atas **IPCC-2006**, baik karena metode penghitungannya maupun karena kandungan karbon bahan bakunya. Untuk penghitungan inventarisasi emisi *Direct Reduced Iron Tier-2 IPCC-2006* tidak mengalami perubahan. Selain Data Aktivitas, **Refinement 2019** juga membuat beberapa perbaikan Faktor Emisi sesuai dengan kondisi mutakhir.

Tabel 4.22. | Metodologi Perhitungan Emisi GRK Besi dan Baja Sesuai Refinement 2019

PRODUKSI	JENIS EMISI	PERBAIKAN IPCC 2006 TAHUN 2019	KETERANGAN
<i>Iron and Steel</i>	CO₂	$E_{CO_2, non-energy} = BOF \bullet EF_{BOF} + EAF \bullet EF_{EAF} + OHF \bullet EF_{OHF}$	<i>Tier-1</i>
<i>Pig Iron Not Processed into Steel</i>	CO₂	$E_{CO_2, non-energy} = IP \bullet EF_{IP}$	<i>Tier-1</i>

PRODUKSI	JENIS EMISI	PERBAIKAN IPCC 2006 TAHUN 2019	KETERANGAN
Direct Reduced Iron (Reducing Agent Consumption)	CO ₂	$E_{CO_2, non-energy} = DRI \cdot EF_{DRI}$	Tier-1
Sinter	CO ₂	$E_{CO_2, non-energy} = SI \cdot EF_{SI}$	Tier-1
Pellet	CO ₂	$E_{CO_2, non-energy} = P \cdot EF_P$	Tier-1
BFG and LFG Flaring	CO ₂	$E_{CO_2, non-energy} = BFG \cdot (EF_{CO_2})_{BFG \text{ flaring}} + LDG \cdot (EF_{CO_2})_{LDG \text{ flaring}}$ $= BFG \cdot (R_{BFG \text{ flared}} \cdot CC_{BFG} \cdot \frac{44}{12}) + LDG \cdot (R_{LDG \text{ flared}} \cdot CC_{LDG} \cdot \frac{44}{12})$	New, Tier-1
Iron and Steel	CO ₂	$E_{CO_2, non-energy} = [PC \cdot C_{PC} + \sum_a (COB_a \cdot C_a) + CI \cdot C_{CI} + L \cdot C_L + D \cdot C_D + CE \cdot C_{CE}$ $+ \sum_b (O_b \cdot C_b) + COG \cdot C_{COG} - S \cdot C_S - IP \cdot C_{IP} - BFG \cdot C_{BFG}] \cdot \frac{44}{12}$	Updated, Tier-2
Sinter	CO ₂	$E_{CO_2, non-energy} = \left[CBR \cdot C_{CBR} + COG \cdot C_{COG} + BFG \cdot C_{BFG} + \sum_a (PM_a \cdot C_a) \right] \cdot \frac{44}{12}$	Updated, Tier-2
Direct Reduced Iron (combustion fuel, coal breeze, etc)	CO ₂	$E_{CO_2, non-energy} = (DRI_{NG} \cdot C_{NG} + DRI_{BZ} \cdot C_{BZ} + DRI_{CK} \cdot C_{CK}) \cdot \frac{44}{12}$	Tier-2
Sinter	CH ₄	$E_{CH_4, non-energy} = SI \cdot EF_{SI}$	Tier-1
Blast Furnace of Pig Iron	CH ₄	$E_{CH_4, non-energy} = PI \cdot EF_{PI}$	Tier-1
DRI	CH ₄	$E_{CH_4, non-energy} = DRI \cdot EF_{DRI}$	Tier-1
BFG and LFG Flaring	N ₂ O	$E_{N_2O, non-energy} = BFG \cdot R_{BFG \text{ flared}} \cdot EF_{N_2O \text{ BFG flared}}$ $+ LDG \cdot R_{LDG \text{ flared}} \cdot EF_{N_2O \text{ LDG flared}}$	New, Tier-1

Tabel 4.23. | Faktor Emisi *Tier-1 Refinement 2019*

PRODUKSI	JENIS EMISI	FAKTOR EMISI <i>TIER-1</i>	
		IPCC-2006	Perbaikan IPCC-2006 Tahun 2019
<i>Pellet production</i>	CO₂	0,03	0,19
<i>Iron Production</i>	CO₂	1,35	1,43
<i>Sinter Production</i>	CO₂	0,20	0,21
<i>Direct Reduce Iron</i>	CO₂	0,70	0,70
<i>Electric Arc Furnace</i>	CO₂	0,08	0,18
<i>Basic Oxygen Furnace</i>	CO₂	1,46	1,58
<i>Open Hearth Furbace</i>	CO₂	1,72	1,72
<i>BFG</i>	CO₂	0	0
<i>LFG</i>	CO₂	0	0
<i>Sinter Production</i>	CH₄	0,07	0,07
<i>Direct Reduce Iron</i>	CH₄	1,00	1,00
<i>Blast Furnace gas flaring</i>	N₂O	0	$1,4 \times 10^{-6}$
<i>Blast Furnace gas flaring</i>	N₂O	0	$5,6 \times 10^{-7}$
<i>Converter gas flaring</i>	N₂O	0	$2,8 \times 10^{-6}$
<i>Converter gas flaring</i>	N₂O	0	$4,0 \times 10^{-7}$

4.2.3.2. Produksi Aluminium (2C3)

Perhitungan emisi CO₂ akibat proses produksi aluminium menggunakan **IPCC-2006**. Selain itu, selama produksi aluminium juga terjadi emisi PFCs yang belum dipertimbangkan dalam **IPCC-2006**, sehingga menggunakan **Refinement 2019**.

Emisi CO₂ terjadi karena bahan baku aluminium jika ditambah dengan karbon akan menghasilkan aluminium dan CO₂ dengan formula sebagai berikut:



Emisi CO₂

Metode *Tier 1*

Metode ini hanya menghitung emisi CO₂ dari karakteristik teknologi *broad cell* (*prebake* dan *Soderberg*). Data yang digunakan berasal dari statistik produksi yaitu jumlah metal yang dihasilkan dan faktor emisi yang digunakan dari **IPCC Guidelines 2006** Tabel 4.10 halaman 4.47 atau spesifik tingkat negara.

$$ECO_2 = EFP \cdot MPP + EFS \cdot MPS$$

Di mana:

ECO₂ : Emisi CO₂ dari anode dan/atau konsumsi pasta, ton CO₂

EFP : Faktor emisi (*Prebake technology*) (1,6-ton CO₂/ton produksi Al)

MPP : Produksi logam dari proses *Prebake*, ton Al

EFS : Faktor emisi (*Söderberg technology*) (1,7-ton CO₂/ton produksi Al)

MPS : Produksi logam dari proses *Söderberg* (ton Al)

Metode *Tier 2* dan *Tier 3*

Dihitung dengan menggunakan pendekatan neraca massa yang mengasumsikan bahwa kandungan karbon konsumsi anoda bersih atau konsumsi perekat akhirnya dipancarkan sebagai CO₂. Metode *Tier 2* menggunakan data industri komposisi rata-rata anoda, sedangkan metode *Tier 3* menggunakan fasilitas khusus komposisi data untuk bahan anoda.

Tier 2 dan 3 CO₂ emisi dari konsumsi *prebaked* anoda

$$E_{CO_2} = NAC \cdot MP \frac{100 - S_a - ASha}{100} \frac{44}{12}$$

Di mana:

ECO₂ : Emisi CO₂ dari konsumsi *prebaked anode*, ton CO₂

MP : Produksi logam total, ton Al

NAC : Konsumsi neto anode per ton Al, ton C/ ton Al

S_a : Kandungan sulfur dalam *baked anodes sulphur content in baked anodes*, wt %

ASha : Kandungan abu dalam baked anodes, % berat

Tier 2 dan 3 Emisi dari *Pitch* Pembakaran *Volatile*

$$E_{CO_2} = (GA - H_w - BA - WT) \frac{44}{12}$$

Di mana:

ECO₂ : Emisi CO₂ dari *pitch volatiles combustion*, ton CO₂

GA : Berat awal *green anodes*, ton

H_w : Kandungan hIdrogen dalam *green anodes*, ton

BA : Produksi *baked anode*, ton

WT : Limbah tar yang terkumpul, ton

Tier 2 dan 3 CO₂ Emisi dari Bake Furnace Packing Material

$$E_{CO_2} = \left(PC \cdot MP - \frac{CSM \cdot MP}{1000} - \frac{BC}{100} \cdot PC \cdot MP \frac{S_p + Ash_p + H_p}{100} - \frac{100 - BC}{100} PC \cdot MP \frac{PC + Ash_c}{100} - MP \cdot CD \right) \frac{44}{12}$$

Di mana:

- ECO₂** : Emisi CO₂ dari konsumsi *prebaked anode*, ton CO₂
MP : Produksi logam total, ton Al
PC : Konsumsi pasta, ton/ ton Al
CSM : Emisi *cyclohexane soluble matter*, kg/ton Al
Ashp : Kandungan binder dalam pasta, % berat
Sp : Kandungan sulfur dalam *pitch*, % berat
Hp : Kandungan hidrogen dalam *pitch*, % berat
Sc : Kandungan sulfur dalam *calcined coke*, % berat
Ashc : Kandungan abu dalam *calcined coke*, % berat
CD : Karbon dalam debu yang dikumpulkan dari *Söderberg cells*, ton C/ton Al

Beberapa data teknis terkait perhitungan *Tier-2* dan *Tier-3* Emisi CO₂ dapat dilihat pada **Tabel 4.14** Chapter 4 Sektor IPPU: Pedoman **IPCC-2006**.

Emisi PFCs

Selama elektrolisis, alumina (Al₂O₃) dilarutkan dalam lelehan fluorida yang terdiri dari 80% berat kriolit (Na₃AlF₆). Perfluorokarbon (PFC) terbentuk dari reaksi anoda karbon dengan lelehan kriolit selama proses gangguan yang dikenal sebagai 'efek anoda'. Efek anoda terjadi ketika konsentrasi alumina dalam elektrolit terlalu rendah untuk mendukung reaksi anoda standar. Ketika Pedoman IPCC 2006 dikembangkan, efek anoda dicirikan oleh peningkatan mendadak tegangan yang umumnya lebih besar dari 8V (**US EPA 2008**) untuk jangka waktu sekitar 3 detik. Efek anoda ini sekarang dikenal sebagai 'efek anoda tegangan tinggi' (HVAE), yang melepaskan CF₄ dan C₂F₆.

Sejak akhir 2000-an, didorong oleh pengembangan teknologi sel ampere tinggi

yang lebih produktif dengan banyak anoda besar, emisi 'efek anoda tegangan rendah' (LVAE) dari CF₄ telah diidentifikasi. Emisi LVAE telah menjadi fokus dari banyak penelitian dan terjadi sebagai akibat dari kondisi gangguan proses yang sama seperti emisi HVAE tetapi seringkali pada skala lokal yang lebih kecil. Panduan untuk memperkirakan emisi LVAE C₂F₆ belum disediakan di sini karena konsentrasi C₂F₆ dari LVAE sebagian besar tidak terdeteksi (dalam tingkat kebisingan alat ukur) atau pada tingkat ppb rendah. Selama LVAE, tegangan sel biasanya tetap di bawah tegangan formasi C₂F₆. Beberapa penelitian bahkan menyimpulkan bahwa pembentukan C₂F₆ dari LVAE tidak terjadi, atau terjadi pada tingkat yang sangat rendah, sehingga dianggap dapat diabaikan. Emisi LVAE belum dimasukkan dalam inventarisasi GRK

nasional karena informasi dan metodologi untuk estimasinya tidak tersedia, tetapi estimasi sekarang harus dimasukkan untuk memastikan inventarisasi GRK selengkap mungkin.

$$\begin{aligned} Total E_{CF_4} &= (HVAE E_{CF_4} + LVAE E_{CF_4} + CSU E_{CF_4}) \\ &\text{and} \\ Total E_{C_2F_6} &= (HVAE E_{C_2F_6} + CSU E_{C_2F_6}) \end{aligned}$$

Di mana:

- Total ECF4** : Total CF4 dari produksi aluminium, kg CF4
- Total EC2F6** : Total C2F6 dari produksi aluminium, kg C2F6
- HVAE ECF4** : Emisi HVAE CF4 dari produksi aluminium, kg CF4
- HVAE EC2F6** : Emisi HVAE C2F6 dari produksi aluminium, kg C2F6
- LVAE ECF4** : Emisi LVAE CF4 dari produksi aluminium, kg CF4
- CSU ECF4** : Jumlah total CF4 yang dihasilkan selama sel *start-up* untuk periode tertentu, kg CF4
- CSU EC2F6** : Jumlah total C2F6 yang diproduksi selama *start-up* untuk periode tertentu, kg C2F6

Tier-1: HVAE Berbasis Produksi (Updated):

$$\begin{aligned} HVAE E_{CF_4} &= (HVAE EF_{CF_4} \bullet MP) \\ &\text{and} \\ HVAE E_{C_2F_6} &= (HVAE EF_{C_2F_6} \bullet MP) \end{aligned}$$

Di mana:

- HVAE ECF4** : Emisi HVAE CF4 dari produksi aluminium, kg CF4.
- HVAE EC2F6** : Emisi HVAE C2F6 dari produksi aluminium, kg C2F6.
- HVAE EFCF4** : Faktor emisi HVAE *default* menurut jenis teknologi sel untuk CF4, kg CF4/ton Al.
- HVAE EFC2F6** : Faktor emisi HVAE *default* menurut jenis teknologi sel untuk C2F6, kg C2F6/ton Al.
- MP** : Produksi logam menurut jenis teknologi sel, ton Al.

Tier-2a dan Tier-3a: HVAE by Slope Method (Updated)

v

$$HVAE E_{CF_4} = SCF_4 \cdot AEM \cdot MP$$

and

$$HVAE E_{C_2F_6} = HVAE E_{CF_4} \cdot F_{C_2F_6 / CF_4}$$

Di mana:

- HVAE ECF4** : Emisi HVAE CF4 dari produksi aluminium, kg CF4
- HVAE EC2F6** : Emisi HVAE C2F6 dari produksi aluminium, kg C2F6
- SCF4** : Koefisien kemiringan untuk CF4 menurut jenis teknologi sel (*Tier 2a*) atau rasio emisi spesifik smelter (*Tier 3a*) (kg CF4/ton Al)/(AE-Mins/cell-day)
- AEM** : Menit efek anoda per sel-hari, AE-Mins/sel-hari
- MP** : Produksi logam, ton Al
- FC2F6/CF4** : Fraksi berat HVAE C2F6/CF4, kg C2F6/kg CF4

Tier-3a: HVAE PFC dengan Metode Overvoltage (Updated)

$$HVAE E_{CF_4} = OVC \cdot \frac{AEO}{CE / 100} \cdot MP$$

and

$$HVAE E_{C_2F_6} = HVAE E_{CF_4} \cdot F_{C_2F_6 / CF_4}$$

Di mana:

- HVAE ECF4** : Emisi HVAE CF4 dari produksi aluminium, kg CF4
- HVAE EC2F6** : Emisi HVAE C2F6 dari produksi aluminium, kg C2F6
- OVC** : Koefisien tegangan lebih untuk CF4, (kg CF4/ton Al)/mV
- AEO** : Tegangan lebih efek anoda, mV
- CE** : Efisiensi arus proses produksi aluminium dinyatakan, persen (mis., 95 persen)
- MP** : Produksi logam, ton Al
- F C2F6/CF4** : Fraksi berat C2F6/CF4, kg C2F6/kg CF4

Tier-2B dan Tier-3B: HVAE PFC Metode Marks & Nunez (New)

v

$$HVAE E_{CF_4} = \sum [(K_1 \cdot AED_i^{K_2}) \cdot \frac{kA_i}{1000}]$$

and

$$HVAE E_{C_2F_6} = HVAE E_{CF_4} \cdot F_{C_2F_6 / CF_4}$$

Di mana:

- HVAE ECF4** : Total HVAE CF4 yang dihasilkan selama periode yang dipertimbangkan, sebagai jumlah dari semua emisi HVAE individu 'i', kg CF4
- HVAE EC2F6** : Emisi HVAE C2F6 dari produksi aluminium, kg C2F6
- AED_i** : Total durasi setiap individu 'i' HVAE, selama tegangan sel berada di atas ambang deteksi HVAE, s
- kA_i** : Arus potline rata-rata selama setiap individu 'i' HVAE, kA
- K1** : Koefisien laju emisi bergantung pada AED, fraksi
- K2** : Koefisien laju emisi tergantung pada AED, fraksi
- FC2F6/CF4** : Fraksi berat HVAE C2F6/CF4, kg C2F6/kg CF4

Tier2B dan Tier-3B: HVAE PFC Metode Dion dkk (New)

v

$$HVAE E_{CF_4} = \sum [(C_1 \cdot AED_i^{C_2}) \cdot MP_{Day}] / 1000$$

and

$$HVAE E_{C_2F_6} = \sum [(C_3 \cdot AED_i^{C_4}) \cdot MP_{Day}] / 1000$$

Di mana:

- HVAE ECF4** : Total HVAE CF4 yang dihasilkan selama periode yang dipertimbangkan, sebagai jumlah dari semua emisi HVAE individu, kg CF4
- HVAE EC2F6** : Total HVAE C2F6 yang dihasilkan selama periode yang dipertimbangkan, sebagai jumlah dari semua emisi HVAE individu, kg C2F6
- AED_i** : Total durasi setiap individu 'i' HVAE selama tegangan sel berada di atas ambang deteksi HVAE, s
- MPDay** : Rata-rata produksi logam harian per sel8, ton Al
- C1** : Koefisien laju emisi untuk CF4 tergantung pada produksi logam sel, g CF4 /s-ton Al
- C2** : Koefisien laju emisi untuk CF4 tergantung pada produksi logam sel, fraksi.
- C3** : Koefisien laju emisi untuk C2F6 tergantung pada produksi logam sel, g C2F6/s-ton Al
- C4** : Koefisien laju emisi untuk C2F6 bergantung pada produksi logam sel, fraksi.

Tier-1 dan Tier-3: LVAE PFC Berbasis Produksi (New)

$$LVAE E_{CF_4} = (LVAE EF_{CF_4} \bullet MP)$$

Di mana:

- HVAE ECF4** : Total HVAE CF4 yang dihasilkan selama periode yang dipertimbangkan, sebagai jumlah dari semua emisi HVAE individu, kg CF4
- HVAE EC2F6** : Total HVAE C2F6 yang dihasilkan selama periode yang dipertimbangkan, sebagai jumlah dari semua emisi HVAE individu, kg C2F6
- LVAE ECF4** : Emisi LVAE CF4 dari produksi aluminium, kg CF4
- LVAE ECF4** : Faktor emisi LVAE untuk CF4 (*default Tier 1* menurut jenis teknologi sel, atau fasilitas khusus *Tier 3*), kg CF4/ton Al
- MP** : Produksi logam menurut jenis teknologi sel, ton Al.

Tier-3: LVAE PFC Metode As Ratio HVAE Emission

$$LVAE E_{CF_4} = HVAE E_{CF_4} \bullet ER_{LV CF_4}$$

Di mana:

- LVAE ECF4** : Emisi efek anoda tegangan rendah CF4 dari produksi aluminium, kg CF4
- HVAE ECF4** : Emisi efek anoda tegangan tinggi CF4 dari produksi aluminium dengan teknologi sel, kg CF4
- ERLV CF4** : Rasio spesifik peleburan dari emisi LVAE/HVAE CF4

Tier-3 Total Emisi PFC untuk *Start-up of Electrolysis Cells* (New)

$$CSU E_{CF_4} = (EF_{CSU CF_4} \bullet N_{CSU})$$

And

$$CSU E_{C_2F_6} = (EF_{CSU C_2F_6} \bullet N_{CSU})$$

Di mana:

- ECF4** : Jumlah total CF4 yang diproduksi selama *start-up* untuk periode tertentu, kg CF4
- EC2F6** : Jumlah total C2F6 yang diproduksi selama *start-up* untuk periode tertentu, kg C2F6
- EFCSU_ CF4** : Jumlah rata-rata CF4 yang dihasilkan selama periode sel *start-up*, kg CF4 / sel *start-up*
- EFCSU_ C2F6** : Jumlah rata-rata C2F6 yang dihasilkan selama periode *start-up* sel, kg C2F6 / sel *start-up*
- NCSU** : Jumlah total permulaan sel selama periode tertentu yang dipertimbangkan, permulaan sel

Berbagai faktor emisi tersebut di atas dapat dilihat mulai **Tabel 4.15** Volume 3: IPPU, **Refinement 2019**.

4.2.3.3. Produksi Timbal (2C5)

Emisi CO₂ (*Tier 1*) dihitung berdasarkan produksi timbal dalam negeri dan, jika tersedia, data jumlah yang dihasilkan oleh jenis tungku dan produksi timbal dari materi sekunder. Faktor emisi default **IPCC 2006**.

$$E_{CO_2} = DS \bullet EF_{DS} + ISF \bullet EF_{ISF} + S \bullet EF_S$$

Di mana:

- E_{CO₂}** : Emisi CO₂ dari produksi timbal, ton
- DS** : Kuantitas timbal yang diproduksi dengan *Direct Smelting*, ton
- EF_{DS}** : Faktor emisi untuk Direct Smelting, ton CO₂/ton produksi timbal
- ISF** : Kuantitas produksi timbal dari *Imperial Smelting Furnace*, ton
- EF_{ISF}** : Faktor emisi untuk Imperial Smelting Furnace, ton CO₂/ton produksi timbal
- S** : Kuantitas timbal yang diproduksi dari bahan sekunder, ton
- EF_S** : Faktor emisi bahan sekunder, ton CO₂/ton produksi timbal

Untuk data aktivitas berupa total produksi timbal (tanpa keterangan sumber dan jenis tungku), maka nilai faktor emisi = 0,52 ton CO₂/produksi timbal. Sedangkan, untuk data aktivitas produksi yang dikelompokkan dalam sumber dan jenis tungku, gunakan faktor emisi di **Tabel 4.21 Vol 3, Ch. 3, IPCC (2006)**.

4.2.3.4. Produksi Seng (2C6)

Emisi CO₂ (*Tier 1*) dihitung berdasarkan total produksi per jenis proses produksi seng. Jika data tidak tersedia, dapat menggunakan data total produksi seng, dan sebaiknya gunakan faktor emisi default pada **Tabel 4.24, Vol 3, Ch 3, IPCC (2006)**.

$$E_{CO_2} = Zn \bullet EF_{Default}$$

Di mana:

- E_{CO₂}** : Emisi CO₂ dari produksi seng, ton
- Zn** : Produksi Zn, ton
- EF_{default}** : Faktor emisi, ton CO₂/ton produksi seng

$$E_{CO_2} = ET \cdot EF_{ET} + PM \cdot EF_{PM} + WK \cdot EF_{WK}$$

Di mana:

ECO₂ : Emisi CO₂ dari produksi Zn, ton

ET : Total Zn yang diproduksi dengan *electro-thermic distillation*, ton

EF_{ET} : Faktor emisi untuk *electro-thermic distillation*, ton CO₂/ton produksi Zn

PM : Total Zn yang diproduksi dengan proses pirometalurgi (*Imperial Smelting Furnace Process*), ton

EF_{PM} : Faktor emisi untuk proses pirometalurgi, ton CO₂/ton produksi Zn

WK : Total Zn yang diproduksi dengan proses *Waelz Kiln*, ton

EF_{WK} : Faktor emisi untuk proses *Waelz Kiln*, ton CO₂/ton produksi Zn

4.2.3.5. Produksi Tanah Jarang (2C7)

'Tanah Jarang' (*Rare Earth*) digunakan untuk merujuk pada kelompok 17 unsur logam yang mirip secara kimiawi dari skandium (Sc), itrium (Y) dan lantanida, yaitu: lantanum (La), serium (Ce), praseodymium (Pr), neodmium (Nd), promethium (Pm), samarium (Sm), europium (Eu), gadolinium (Gd), terbium (Tb), dysprosium (Dy), holmium (Ho), erbium (Er), thulium (Tm), ytterbium (Yb) dan lutetium (Lu). Bahan baku dan barang dagangan seringkali berupa *rare earth oxides* (REO). Emisi GRK yang timbul selama proses 'Tanah Jarang' belum dipertimbangkan dalam **IPCC-2006**, sehingga ini merupakan tambahan metodologi baru dalam **Refinement 2019** sub-sektor industri kimia.

Di seluruh dunia, produksi utama dari banyak logam dan paduan RE dilakukan menggunakan proses reduksi elektrolitik garam fluorida cair yang mirip dengan proses *Hall-Heroult* aluminium primer 21. Selama proses tersebut akan menghasilkan emisi CO₂ akibat dari:

- Melarutkan dan mereduksi REO secara elektrolisis (misalnya Nd₂O₃) dalam garam cair fluorida tanah jarang (REF₃) dan litium fluorida (LiF) – komposisi contoh adalah 85 persen berat NdF₃, 10 persen LiF dan 5 persen Nd₂O₃ untuk produksi logam Nd;
- Karbon anoda (misalnya grafit), yang dikonsumsi dalam proses;
- Katoda, baik yang inertia (misalnya tungsten katoda untuk produksi logam Nd) atau dikonsumsi dalam proses (misalnya katoda Fe untuk produksi paduan Dy-Fe);
- Proses yang dilakukan pada suhu tinggi (~1050-1100 °C);
- Tergantung pada teknologinya, suatu proses yang mungkin secara berkala terganggu atau terganggu oleh penggantian anoda, pelepasan/ penggantian katoda dan penghilangan logam/ paduan RE cair, dll.

Emisi CO₂

Tier-1: Konsumsi Anode (New)

$$E_{CO_2} = \sum_i \left[EF_{CO_2} \cdot (AW_{base} / AW_i) \cdot MP_i \right]$$

Di mana:

ECO₂ : Total emisi CO₂ dari konsumsi anoda karbon, ton CO₂

EFCO₂ : Faktor emisi default CO₂ untuk logam/paduan RE, (0,56 ton CO₂/ton logam RE)

AW_{base} : Berat atom logam tanah jarang kasus dasar, yaitu neodymium = 144,24 g/mol

AW_i : Berat atom logam tanah jarang/paduan jenis i, g/mol

MP_i : Total produksi logam untuk logam RE/paduan tipe i, ton logam RE

Tier-3: Konsumsi Anode sesuai Material Balance (New)

$$E_{CO_2} = \sum_i (NAC_i \cdot MP_i) \cdot [(100 - Imp_a) / 100] \cdot (44 / 12)$$

Di mana:

ECO₂ : Total emisi CO₂ dari konsumsi anoda karbon, ton CO₂

NAC_i : Konsumsi anoda bersih per ton logam RE/paduan tipe i, ton anoda/ton logam RE

MP_i : Total produksi logam untuk logam RE/paduan tipe i, ton logam RE

Imp_a : Total kandungan pengotor non-karbon (misalnya belerang, abu, dll) dalam anoda karbon panggang, % berat

44/12 : Massa molekul CO₂: rasio massa atom karbon, fraksi

Emisi PFCs

$$E_{CF_4} = \sum_i [(EF_{CF_4,i} / 1000) \bullet MP_i]$$

and

$$E_{C_2F_6} = \sum_i [(EF_{C_2F_6,i} / 1000) \bullet MP_i]$$

and

$$E_{C_3F_8} = \sum_i [(EF_{C_3F_8,i} / 1000) \bullet MP_i]$$

Di mana:

- ECF4** : Emisi CF4 dari produksi logam RE, kg CF4
EC2F6 : Emisi C2F6 dari produksi logam RE, kg C2F6
EC3F8 : Emisi C3F8 dari produksi logam RE, kg C3F8
EFCF4, i : Faktor emisi oleh logam RE i untuk CF4, g CF4/ton REmetal
EFC2F6,i : Faktor emisi oleh logam RE i untuk C2F6, g C2F6/ton logam RE
EFC3F8,i : Faktor emisi oleh logam RE i untuk C3F8, g C3F8/ton REmetal
MPi : Produksi logam oleh RE logam i, ton REmetal

Faktor emisi PFCs dapat dilihat pada **Tabel 4.28 Volume 3: IPPU Refinement 2019**.

4.2.4. PRODUK NON-ENERGI DARI BAHAN BAKAR DAN PELARUT (2D)

4.2.4.1. Penggunaan Pelumas (2D1)

Pelumas digunakan dalam aplikasi industri dan transportasi. Pelumas yang diproduksi di kilang-kilang melalui pemisahan dari minyak mentah atau di fasilitas petrokimia, dan dibagi lagi menjadi: (a) minyak motor dan minyak industri, dan (b) minyak gemuk.

Tabel 4.24. | Data Aktivitas dan Faktor Emisi untuk Penggunaan Pelumas

TIER	DATA AKTIVITAS	FAKTOR EMISI
TIER 1 dan TIER 2	Penggunaan data produksi, impor dan ekspor pada penggunaan non-energi	Faktor kandungan karbon <i>default</i> = 20 kg C/GJ

Metode *Tier 1* dan 2 memiliki pendekatan yang sama yaitu penggunaan pelumas dan karbon konten dari pelumas tersebut. Hanya saja, Metode *Tier 2* menggunakan data jumlah penggunaan pelumas spesifik berdasarkan jenisnya (minyak pelumas untuk motor dan industri). Emisi CO₂ (*Tier 1*) diperoleh menggunakan persamaan berikut

$$\text{CO}_2 \text{ Emissions} = \text{PW} \cdot \text{CC}_{\text{Lubricant}} \cdot \text{ODU}_{\text{Lubricant}} \cdot 44 / 12$$

Di mana:

- Emisi CO₂** : Emisi CO₂ dari penggunaan pelumas, ton
LC : Konsumsi pelumas, TJ
CC_{Lubricant} : Kandungan karbon dari pelumas (default), ton C/TJ (*default* = 20 kg C/GJ)
ODU_{Lubricant} : Faktor ODU faktor (berdasarkan komposisi default minyak dan grease), default = 0,2
44/12 : Rasio massa CO₂/C

4.2.4.2. Penggunaan Lilin Parafin (2D2)

CO₂ ter-emisi-kan dari pembakaran lilin dengan atau tanpa pemulihan panas, atau di pengolahan air limbah (untuk surfaktan).

Tabel 4.25. | Data Aktivitas dan Faktor Emisi untuk Konsumsi Lilin Paraffin

TIER	DATA AKTIVITAS	FAKTOR EMISI
TIER 1	Penggunaan lilin paraffin	Faktor default ODU = 0,2 Karbon konten lilin paraffin = 20 kg C / GJ
TIER 2	Penggunaan lilin paraffin	Faktor ODU negara tertentu

Metode *Tier 1* dan *2* memiliki pendekatan yang sama yaitu penggunaan lilin dan karbon konten dari lilin tersebut. Hanya saja Metode *Tier 2* menggunakan data jumlah penggunaan lilin yang spesifik berdasarkan jenisnya. Emisi CO₂ (*Tier 1*):

$$\text{CO}_2 \text{ Emissions} = \text{PW} \cdot \text{CC}_{\text{wax}} \cdot \text{ODU}_{\text{wax}} \cdot 44 / 12$$

Di mana:

- Emisi CO₂** : Emisi CO₂ dari penggunaan lilin (waxes), ton
PW : Total konsumsi lilin, TJ
CC_{Wax} : Kandungan karbon dari lilin, ton C/TJ (= 20 kg C/GJ)
ODU_{Wax} : Faktor ODU lilin (= 0,2)
Fraksi 44/12 : Rasio massa CO₂/C

4.2.4.3. Penggunaan Ozone Depletion Substances (2F)

HFCs dan PFCs merupakan bahan pengganti ODS mencakup penggunaan untuk kulkas dan pendingin ruangan, pemadam kebakaran dan perlindungan ledakan, aerosol, larutan pembersih, hembusan busa, dan lainnya. Jenis HFCs dan PFCs yang banyak digunakan untuk berbagai keperluan ditunjukkan pada **Tabel 4.26**.

Tabel 4.26. | Berbagai area penggunaan HFCs dan PFCs

Chemical	Refrigeration and Air Conditioning	Fire Suppression and Explosion Protection	Aerosols		Solvent Cleaning	Foam Blowing	Other Application ²
			Propellants	Solvents			
HFC-23	X	X					
HFC-32	X						
HFC-125	X	X					
HFC-134a	X	X	X			X	X
HFC-143a	X						
HFC-152a	X		X			X	
HFC-227ea	X	X	X			X	X
HFC-236fa	X	X					
HFC-245fa	X			X		X	
HFC-365mfc				X	X	X	
HFC-43-10mee				X	X		
PFC-14 ³ (CF ₄)		X					
PFC-116 (C ₂ F ₆)							X
PFC-218 (C ₃ F ₈)							
PFC-31-10 (C ₄ F ₁₀)		X					
PFC-51-14 ⁴ (C ₆ F ₁₄)					X		

Metodologi penghitungan emisi GRK akibat penggunaan HFCs dan PFCs masih mengikuti IPCC-2006, yaitu dengan pendekatan net konsumsi yang berlaku secara nasional (produksi+impor-ekspor-rusak atau pendekatan net konsumsi per peralatan. Dalam **Refinement 2019**, terdapat update terkait dengan pangsa distribusi berbagai jenis pengganti ODS menurut negara Anggota dan Non-Anggota Article 5

(**Tabel 7.3**), tambahan informasi (*New*) terkait pangsa penggunaan berbagai jenis HFCs dan PFCs menurut peralatan (**Tabel 7.3a, 7.3.b, 7.3.c**). Perbaikan metodologi hanya berlangsung untuk penggunaan HFCs pada AC dan kulkas, selain itu masih menggunakan metodologi IPCC-2006. Dalam **Refinement 2019** terdapat 51 jenis FCFCs/PFCs/CFCs yang sering digunakan sebagai bahan pending kulkas dan AC (**Tabel 7.8 Chapter 7 Sektor IPPU**).

Tier 1-a/b:

Metode ini menggunakan *software* dalam menghitung emisi. Data yang dibutuhkan adalah data produksi HFC-143a, data import dan ekspor, nilai-nilai seperti laju pertumbuhan dan sebagainya diperoleh dari asumsi yang terdapat di *software* tersebut.

Dari pengalaman mempelajari dinamika konsumsi refrigeran di beberapa negara, penilaian penggunaan refrigeran yang dapat membantu dalam menilai penjualan refrigeran tertentu di tingkat negara dapat menggunakan asumsi *Tier-1 a/b* berikut:

- Servis peralatan yang mengandung zat pendingin baru dimulai setelah 3 tahun terpasang.
- Emisi dari refrigeran rata-rata 15 % per tahun di seluruh sector pengguna.
- 2/3 dari penjualan refrigeran digunakan untuk servis dan 1/3 digunakan untuk mengisi peralatan baru.
- *Lifetime* peralatan rata-rata adalah 15 tahun.
- Transisi ke teknologi refrigeran baru akan berlangsung selama periode 10 tahun.
- Faktor emisi *default Tier-1 Refinement 2019* terdapat pada **Tabel 7.9 Volume 3 IPPU**.

Tier-2a: Data Nasional

Metodologi *Tier-2* mempertimbangkan:

- Menghentikan atau menurunkan penggunaan CFC dan HCFC sesuai jadwal Protokol Montreal dan peraturan nasional atau regional
- Mengukur volume refrigeran per peralatan per sub-sektor;
- Menentukan faktor emisi untuk pengisian bahan pendingin, selama operasi, saat servis dan pada akhir masa pakai.

Faktor emisi *default Refinement 2019* dapat dilihat pada **Tabel 7.9** Halaman 7.32.

$$E_{total,t} = E_{containers,t} + E_{Charge,t} + E_{lifetime,t} + E_{end-of-life,t}$$

Tier-2b: Neraca Massa

Pendekatan keseimbangan massa *Tier-2b* bergantung pada data penjualan tahunan refrigeran, refrigeran yang dimusnahkan, dan setiap perubahan stok peralatan (penjualan peralatan baru dan peralatan yang dinonaktifkan) per sub-sektor.

$$\begin{aligned} \text{Emissions} = & \text{Annual Sales of New Refrigerant} - \text{Total Charge of New Equipment} \\ & + \text{Original Total Charge of Retiring Equipment} - \text{Amount of Intentional Destruction} \end{aligned}$$

- Penjualan Tahunan Refrigeran Baru adalah jumlah bahan kimia yang dimasukkan ke dalam peralatan pada tahun tertentu. Ini mencakup semua bahan kimia yang digunakan untuk mengisi atau mengisi ulang peralatan, tetapi tidak termasuk bahan kimia daur ulang atau reklamasi.
- Pengisian Peralatan Baru adalah jumlah bahan kimia dari semua peralatan baru yang dijual pada tahun tertentu, tetapi tidak termasuk emisi pengisian atau bahan kimia yang digunakan untuk mengisi ulang peralatan saat servis.
- Pengisian untuk Peralatan Pensiun adalah jumlah bahan kimia dari semua peralatan yang dinonaktifkan pada tahun tertentu.
- Jumlah Pemusnahan yang Disengaja adalah jumlah bahan kimia yang dimusnahkan dengan benar oleh teknologi pemusnahan yang diakui.

Sumber Emisi atas Manajemen Kontainer:

$$E_{\text{containers}, t} = RM_t \cdot \frac{c}{100}$$

Di mana:

- E_{containers, t}** : Emisi dari seluruh wadah (container) HFC dalam tahun *t*, kg
RM_t : Pasar HFC untuk peralatan-peralatan baru dan jasa perawatan refrigerasi pada tahun *t*, kg
c : Faktor emisi manajemen wadah HFC pada tahun pelaporan, persen

Sumber Emisi atas Pengisian Peralatan Baru:

$$E_{\text{charge}, t} = M_t \cdot \frac{k}{100}$$

Di mana:

- E_{charge, t}** : Emisi selama pabrikasi pada tahun *t*, kg
M_t : Jumlah HFC yang diisi ke peralatan baru per jenis peralatan per tahun (kg)
K : Faktor emisi kehilangan HFC saat pengisian ke peralatan baru, %

Emisi Selama Usia Pakai (Lifetime) Peralatan (Operasi dan Perawatan)

$$E_{lifetime, t} = B_t \cdot \frac{x}{100}$$

Di mana:

- $E_{lifetime, t}$** : Jumlah emisi HFC saat pengoperasian peralatan pada tahun t , kg
 B_t : Jumlah HFC yang disimpan pada sistem eksisting pada tahun t , kg
 x : Faktor emisi HFC (berdasarkan kebocoran rata-rata tahunan), % (lihat **Tabel 7.9 Volume 3 IPPU**)

Emisi pada Akhir Umur Peralatan:

$$E_{end-of-life, t} = M_{t-d} \cdot \frac{p}{100} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{rec, d}}{100}\right)$$

Di mana:

- $E_{end-of-life, t}$** : Volume HFC pada sistem pembuangan pada tahun t , kg
 M_{t-d} : Volume HFC yang semula diisi pada sistem baru pada $(t-d)$, kg
 p : Isi residu HFC dalam peralatan yang dibuang, % dari saat terisi penuh
 $\eta_{rec, d}$: Efisiensi pengambilan HFC sisa (*recovery*)

4.2.5. INDUSTRI LAINNYA (2H)**4.2.5.1. Industri Pulp and Paper (2H1)**

Data aktivitas (konsumsi karbonat) dan faktor emisi (per jenis karbonat) sama dengan kode kategori 2A. Emisi CO₂ dihitung berdasarkan total konsumsi dan EF dari jenis karbonat yang dikonsumsi.

4.2.5.2. Food and Beverages (2H2)

Data aktivitas (konsumsi karbonat) dan faktor emisi (per jenis karbonat) sama dengan kode kategori 2A. Emisi CO₂ dihitung berdasarkan total konsumsi dan EF dari jenis karbonat yang dikonsumsi.

4.3. AFOLU (AGRICULTURE, FORESTRY, AND OTHER LANDUSE)



Inventarisasi GRK untuk sektor AFOLU atau pertanian, kehutanan, dan tata guna lahan lainnya, memperkirakan emisi dan serapan GRK CO₂ dan non-CO₂ secara terpisah ke dalam 6 kategori penggunaan lahan. Kategori emisi CO₂ dan non-CO₂ lainnya, seperti emisi terkait peternakan, emisi dari pengelolaan N tanah, emisi pengapuran tanah, emisi metan budidaya padi sawah dan

produk kayu yang dipanen, dapat diperkirakan pada skala nasional, karena seringkali hanya data agregat yang tersedia. Namun, mereka dapat dipilah menurut kategori penggunaan lahan jika data tersedia. Untuk penyederhanaan sektor ini, dalam **IPCC 2006 Guideline**, dibedakan ke dalam 3 kategori, yaitu: (i). Peternakan (3.A), (ii). Kehutanan dan penggunaan lahan lain (3.B), dan (iii). Emisi sumber-sumber agregat dan non-CO₂ pada lahan (3.C).

4.3.1. PETERNAKAN (3.A)

Emisi peternakan dibedakan atas emisi metana yang berasal dari fermentasi enterik ternak, emisi metana dan nitrogen oksida yang dihasilkan dari pengelolaan kotoran ternak. Emisi CO₂ dari peternakan diasumsikan nol karena CO₂ diserap oleh tanaman melalui fotosintesis dan dikembalikan ke atmosfer sebagai CO₂ melalui respirasi.

4.3.1.1. Data Populasi Ternak dan Karakterisasi Pakan

Karakterisasi dasar *Tier 1* untuk sebagian besar spesies hewan umumnya cukup memadai dan tersedia. Praktik yang baik untuk memperkirakan emisi adalah mengumpulkan data karakterisasi ternak berikut:

- **Spesies ternak:** daftar populasi ternak menurut spesies (misalnya, sapi perah, sapi potong, kerbau, domba, kambing, unta, rusa, kuda, kelinci, keledai, babi, dan unggas) yang memiliki nilai faktor emisi default harus disiapkan jika spesies ini relevan dengan wilayah inventarisasi. Populasi menurut spesies juga dapat dibagi lagi berdasarkan kategori jenis kelamin, usia atau tujuan produktif

dalam sistem produksi yang relevan di wilayah tertentu (misalnya dalam kasus sapi: jantan dan betina dewasa, sapi dara pengganti, anak sapi, dll.).

- **Populasi tahunan:** Penyusun inventarisasi harus menggunakan data populasi ternak dari statistik nasional resmi (BPS atau Kementan) atau sumber industri. Data dari FAO, FAOSTAT dan statistik FAO lainnya, dapat digunakan jika data nasional tidak tersedia. Umumnya data populasi ternak tersedia secara berkala pada publikasi BPS seperti Kota/Kabupaten dalam Angka yang diterbitkan setiap tahun.

Populasi rata-rata tahunan didefinisikan sebagai jumlah spesies ternak per kategori dalam suatu negara ($N_{(T)}$). Namun, untuk populasi yang sedang berkembang seperti ayam pedaging, sapi potong atau babi, maka perkiraan $N_{(T)}$ memerlukan evaluasi lebih lanjut karena sebagian besar hewan dalam populasi yang berkembang tersebut hanya hidup selama beberapa bulan dalam satu tahun. Ini dapat diperkirakan dengan persamaan di bawah ini.

$$\text{Populasi Rata-Rata Tahunan (Updated)} \\ N_t = \text{Days_alive} \bullet (\text{NAPA}/365)$$

Dimana:

N_T : Jumlah jenis / kategori ternak T (ekuivalen dengan populasi rata-rata tahunan);

Di mana:

NAPA : Jumlah hewan yang diproduksi setiap tahun;

Days_alive : Jumlah hari hidup dari jenis kategori ternak.

4.3.1.2. Emisi Metana dari Fermentasi Enterik (3.A.1)

Pada sub-kategori ini berdasarkan Penyempurnaan 2019 (**Refinement 2019**), perkiraan emisi metana dari fermentasi enterik menggunakan faktor emisi yang diperbarui, *Tier 1a*, untuk sapi, kerbau, domba, dan kambing jika populasinya dapat dibedakan kedalam sistem produksi tinggi dan rendah. Bilamana tidak memungkinkan memilah populasi ke dalam sistem produksi ini, perkiraan emisi dapat menggunakan faktor emisi *Tier 1*.

Emisi metana dengan pendekatan *Tier 1* diperoleh dengan mengalikan jumlah total populasi ternak

dan faktor emisi CH₄ enterik untuk setiap kategori ternak seperti pada persamaan di bawah. Sementara pendekatan *Tier 1a* bergantung pada ketersediaan jumlah populasi ternak di setiap sistem produktivitas (yaitu, sistem produktivitas rendah dan sistem produktivitas tinggi) dan faktor emisi CH₄ untuk setiap kategori ternak yang dipelihara dalam sistem produktivitas tertentu.

Persamaan untuk memperkirakan emisi metana dari fermentasi enterik menggunakan *Tier 1* atau *Tier 1a* adalah sebagai berikut.

$$E_r = \sum_p EF_{(T,P)} \circ \left(\frac{N_{(T,P)}}{10^6} \right)$$

Di mana:

E_T : Emisi metana dari fermentasi enterik pada kategori hewan T (Gg CH₄ per tahun);

$EF_{(T,P)}$: Faktor emisi untuk populasi ternak T pada sistem produktivitas P (kg CH₄ per ekor per tahun);

T : Jenis / kategori ternak;

P : Sistem produktivitas, baik produktivitas tinggi maupun rendah untuk digunakan pada *Tier 1a*, dan tidak dipertimbangkan jika menggunakan metode *Tier 1*;

$(N_{(T,P)})$: Data aktivitas (jumlah jenis/kategori ternak), tersedia pada publikasi BPS, seperti Kabupaten/Kota dalam Angka

Untuk memperkirakan total emisi, emisi menurut jenis hewan yang diperoleh dari persamaan di atas dijumlahkan berdasarkan persamaan di bawah ini.

Di mana:

Total CH₄Enteric : total emisi metana dari fermentasi enterik (Gg CH₄ per tahun);

E_{i,pr} : emisi untuk kategori dan sub-kategori ternak ke-i berdasarkan sistem produktivitas (P).

Faktor emisi metana untuk fermentasi entrik dapat dilihat pada **Tabel 4.27** dan **Tabel 4.28** di bawah ini.

Tabel 4.27. | Faktor Emisi Metana untuk Fermentasi Entrik Tier 1/1a

PETERNAKAN	SISTEM PRODUKTIVITAS TINGGI	SISTEM PRODUKTIVITAS RENDAH	BOBOT
Domba	9	5	40 kg - sistem produktivitas tinggi 31 kg - sistem produktivitas rendah
Babi	1.5	5	72 kg - sistem produktivitas tinggi 52 kg - sistem produktivitas rendah
Kambing	9	5	50 kg - sistem produktivitas tinggi 28 kg - sistem produktivitas rendah
Kuda	18		550 kg
Unta	46		570 kg
Keledai	10		245 kg
Rusa	20		120 kg
Burung Unta	5		120 kg
Unggas	Data tidak cukup untuk dikalkulasi		
Alpaca	8		65 kg
Lainnya (Bison, dll)	Nilai ditentukan		

Semua perkiraan memiliki ketidakpastian +/- 30-50%.

Tabel 4.28. | Faktor Emisi Fermentasi Entrik untuk Sapi dan Kerbau Tier 1/1a

KARAKTERISTIK WILAYAH	KATEGORI HEWAN	FAKTOR EMISI Tier 1 dan Tier 1a 2,3 (kg CH ₄ head-1yr-1)	KETERANGAN
Asia			
Sapi: Sektor susu komersial mengalami perubahan mendasar karena meningkatnya jumlah peternakan besar dengan sistem produksi intensif berbasis padi-padian dan hijauan. Sapi yang dipelihara dengan sistem produksi tradisional bersifat multi guna, menghasilkan susu dan juga memberikan tenaga di wilayah pertanian (membajak). Semua jenis sapi rata-rata berukuran lebih kecil, jika dibandingkan dengan sapi di sebagian besar wilayah lain.	Sapi Perah	78	Produksi susu rata-rata 3200 kg kepala-1 thn-1
	Sistem produktivitas tinggi	96	Produksi susu rata-rata 5000 kg kepala-1 thn-1
	Sistem produktivitas rendah	71	Produksi susu rata-rata 2600 kg kepala-1 thn-1
	Ternak Lainnya	54	Termasuk jantan dewasa, betina dewasa, hewan tumbuh dan pengganti, serta anak sapi
	Sistem produktivitas tinggi	43	
	Sistem produktivitas rendah	56	

KARAKTERISTIK WILAYAH	KATEGORI HEWAN	FAKTOR EMISI Tier 1 dan Tier 1a 2,3 (kg CH ₄ head-1yr-1)	KETERANGAN
Kerbau: Kerbau umumnya jenis rawa. Kerbau dipelihara oleh petani kecil sebagai sumber tenaga penggerak. Jenis kerbau ini biasanya digembalakan di lapangan dan diberi makan produk sisa pertanian. Hasil susu per sapi rendah. Meskipun demikian, pembiakan kerbau perah berkembang pesat di pedesaan Asia.	Kerbau	76	Termasuk membiakkan dan memelihara sapi jantan, memelihara anak sapi

4.3.1.3. Emisi Metana dari Pengelolaan Kotoran Ternak (3.A.1)

Penyimpanan dan pengolahan kotoran, atau kotoran yang disimpan di padang rumput akan mengemisikan CH₄. Perkiraan emisi dengan pendekatan *Tier 1* atau *Tier 1a* didasarkan pada faktor emisi *default* per unit padatan yang mudah menguap (VS) menurut kategori hewan dan sistem penyimpanan kotoran. Sementara pendekatan *Tier 1a*, emisi metana dari manur didapat dari perkalian jumlah VS (padatan mudah menguap) yang diekskresi (dari semua spesies /

kategori ternak) pada setiap sistem pengelolaan kotoran dengan faktor emisi untuk jenis kategori ternak menurut zona iklim dan sistem pengelolaan kotoran, termasuk pengolahan kotoran seperti produksi biogas.

Persamaan untuk memperkirakan emisi metana dari pengelolaan kotoran ternak dengan pendekatan *Tier 1a* atau *Tier 1* dapat dilihat pada persamaan dibawah ini:

$$CH_{4(mm)} = \left[\sum_{T,S,P} (N_{(T,P)} \circ VS_{(T,P)} \circ AWMS_{(T,S,P)} \circ EF_{(T,S,P)}) / 1000 \right]$$

Di mana:

- CH₄_(mm)** : Emisi CH₄ dari Pengelolaan Kotoran (kg CH₄ per tahun);
- NT_(T,P)** : Jumlah jenis / kategori ternak T menurut sistem produktivitas P;
- VS_(T,P)** : Rata-rata tahunan ekskresi VS (*volatile solid*, padatan mudah menguap) per ekor jenis / kategori ternak T, untuk sistem produktivitas P (kg VS per ekor per tahun);
- AWMS_(T,S,P)** : Fraksi dari total VS tahunan untuk setiap spesies / kategori ternak T yang diolah dalam sistem pengelolaan kotoran S dan sistem produktivitas P;
- EF_(T,S,P)** : Faktor emisi untuk emisi CH₄ dari sistem pengelolaan kotoran S, menurut jenis/kategori ternak T, dalam sistem pengelolaan kotoran S dan sistem produktivitas P, jika dapat diterapkan (CH₄ kg per VS);
- S** : Sistem pengelolaan kotoran;
- T** : Jenis / kategori ternak;
- P** : Sistem produktivitas, baik produktivitas tinggi maupun rendah untuk digunakan pada Tier 1a, dihilangkan jika menggunakan metode *Tier 1*;
- (NT_(T,P))** : Data aktivitas (jumlah jenis/kategori ternak), tersedia pada publikasi BPS seperti Kabupaten/Kota dalam Angka.

Padatan mudah menguap atau VS dihitung menggunakan persamaan dibawah ini baik untuk *Tier 1* ataupun *Tier 1a*, di mana parameter dibagi berdasarkan kelas produktivitasnya dalam perhitungan ekskresi padat yang mudah menguap.

$$VS_{(T,P)} = \left(VS_{rate (T,P)} \circ \frac{TAM_{(T,P)}}{1000} \right) \times 365$$

Di mana:

- $VS_{(T,P)}$** : Rata-rata tahunan ekskresi VS (*volatile solid*, padatan mudah menguap) per ekor jenis / kategori ternak T, untuk sistem produktivitas P (kg VS per ekor per tahun);
- $VS_{rate}_{(T,P)}$** : *Default* laju ekskresi VS untuk sistem produktivitas P (kg VS per 1000 kg berat ternak per hari, lihat Tabel 10.13a);
- $TAM_{(T,P)}$** : Berat untuk kategori ternak T, untuk sistem produktivitas P (kg hewan).

Seperti halnya emisi metana fermentasi enterik, faktor emisi metana dari pengelolaan kotoran ternak juga dibedakan menurut sistem produktivitas, yaitu sistem produktivitas rendah dan sistem produktivitas tinggi untuk pendekatan *Tier 1a* (**Tabel 4.29**).

Jenis Ternak	Tingkat Produktivitas	Sistem Penyimpanan Kotoran	Cool (Dingin)				Temperate (Sedang)		Warm (Hangat)			
			Cool Temp. Moist	Cool Temp. Dry	Boreal Moist	Boreal Dry	Warm Temp. Moist	Warm Temp. Dry	Tropical Montane	Tropical Wet	Tropical Moist	Tropical Dry
Sapi Perah	Produktivitas Tinggi	Uncovered anaerobic lagoon	96.5	107.7	80.4	78.8	117.4	122.2	122.2	128.6	128.6	128.6
		Liquid/Slurry, Pit storage > 1 month	33.8	41.8	22.5	22.5	59.5	65.9	94.9	122.2	117.4	119
		Solid Storage	3.2				6.4		8			
		Dry Lot	1.6				2.4		3.2			
		Daily Spread	0.2				0.8		1.6			
		Anaerobic Digestion - Biogas	3.2				3.7		3.7			
		Burned for fuel										
	Produktivitas Rendah	Uncovered anaerobic lagoon	52.3	58.4	43.6	42.7	63.6	66.2	66.2	69.7	69.7	69.7
		Liquid/Slurry, Pit storage > 1 month	18.3	22.6	12.2	12.2	32.2	35.7	51.4	66.2	63.6	64.5
		Solid Storage	1.7				3.5		4.4			
		Dry Lot	0.9				1.3		1.7			
		Daily Spread	0.1				0.4		0.9			
		Anaerobic Digestion -Biogas	9.2				9.5		9.5			
		Burned for fuel	8.7									

Jenis Ternak	Tingkat Produktivitas	Sistem Penyimpanan Kotoran	Cool (Dingin)				Temperate (Sedang)		Warm (Hangat)			
			Cool Temp. Moist	Cool Temp. Dry	Boreal Moist	Boreal Dry	Warm Temp. Moist	Warm Temp. Dry	Tropical Montane	Tropical Wet	Tropical Moist	Tropical Dry
Sapi Non Perah	Produktivitas Tinggi	Uncovered anaerobic lagoon	72.4	80.8	60.3	59.1	88	91.7	91.7	96.5	96.5	96.5
		Uncovered anaerobic lagoon	25.3	31.4	16.9	16.9	44.6	49.4	71.2	91.7	88	89.2
		Liquid/Slurry, Pit storage > 1 month	2.4				4.8		6			
		Solid Storage	1.2				1.8		2.4			
		Dry Lot	0.1				0.6		1.2			
		Daily Spread	2.4				2.7		2.8			
		Anaerobic Digestion - Biogas	12.1									
	Produktivitas Rendah	Uncovered anaerobic lagoon	52.3	58.4	43.6	42.7	63.6	66.2	66.2	69.7	69.7	69.7
		Liquid/Slurry, Pit storage > 1 month	18.3	22.6	12.2	12.2	32.2	35.7	51.4	66.2	63.6	64.5
		Solid Storage	1.7				3.5		4.4			
		Dry Lot	0.9				1.3		1.7			
		Daily Spread	0.1				0.4		0.9			
		Anaerobic Digestion -Biogas	9.2				9.5		9.5			
		Burned for fuel	8.7									

Jenis Ternak	Tingkat Produktivitas	Sistem Penyimpanan Kotoran	Cool (Dingin)				Temperate (Sedang)		Warm (Hangat)			
			Cool Temp. Moist	Cool Temp. Dry	Boreal Moist	Boreal Dry	Warm Temp. Moist	Warm Temp. Dry	Tropical Montane	Tropical Wet	Tropical Moist	Tropical Dry
Babi Muda (Dalam masa pertumbuhan)	Produktivitas Tinggi	Uncovered anaerobic lagoon	180	202	150.8	147.7	220.1	220.1	220.1	241.2	241.2	241.2
		Liquid/Slurry, Pit storage > 1 month	63.3	78.4	42.2	42.2	111.6	123.6	177.9	229.1	220.1	223.1
		Liquid/Slurry, Pit storage < 1 month	18.1	24.1	12.1	12.1	39.2	45.2	75.4	114.6	108.5	126.6
		Solid Storage	6				12.1		15.1			
		Dry Lot	3				4.5		6			
		Daily Spread	0.3				1.5		3			
		Anaerobic Digestion -Biogas	6				6.8		7			
		Burned for fuel	30.2									
	Produktivitas Rendah	Uncovered anaerobic lagoon	116.6	130.2	97.2	95.2	141.8	147.7	147.7	155.4	155.4	155.4
		Liquid/Slurry, Pit storage > 1 month	40.8	50.5	27.2	27.2	71.9	79.7	114.6	147.7	141.8	143.8
		Liquid/Slurry, Pit storage < 1 month	11.7	15.5	7.8	7.8	25.3	29.1	48.6	73.8	69.9	81.6
		Solid Storage	3.9				7.8		9.7			
		Dry Lot	1.9				2.9		3.9			
		Daily Spread	0.2				1		1.9			
		Anaerobic Digestion -Biogas	20.6				21.1		21.2			
		Burned for fuel	19.4									

Jenis Ternak	Tingkat Produktivitas	Sistem Penyimpanan Kotoran	Cool (Dingin)				Temperate (Sedang)		Warm (Hangat)			
			Cool Temp. Moist	Cool Temp. Dry	Boreal Moist	Boreal Dry	Warm Temp. Moist	Warm Temp. Dry	Tropical Montane	Tropical Wet	Tropical Moist	Tropical Dry
Unggas	Produktivitas Tinggi	<i>Uncovered anaerobic lagoon</i>	156.8	175.1	130.7	128	190.7	198.6	198.6	209	209	209
		<i>Liquid/Slurry, Pit storage < 1 month</i>	54.9	67.9	36.6	36.6	96.7	107.1	154.2	198.6	190.7	193.4
		<i>Solid Storage</i>	5.2				10.5		13.1			
		<i>Dry Lot</i>	2.6				3.9		5.2			
		<i>Anaerobic Digestion -Biogas</i>	5.2				10.5		13.1			
		<i>Burned for fuel</i>					2.6					
	Produktivitas Rendah	<i>All System</i>					2.4					
Domba	Produktivitas Tinggi	<i>Solid Storage</i>	2.5				5.1		6.4			
		<i>Dry Lot</i>	1.3				1.9		2.5			

Seperti disebutkan pada persamaan di atas, padatan mudah menguap (VS) dihitung dari perkalian laju ekskresi padatan mudah menguap dengan berat ternak. Nilai default dari laju ekskresi padatan mudah menguap disajikan pada **Tabel 4.30** di bawah ini.

Kategori Hewan	Wilayah/ Region																		
	Amerika Utara	Eropa Barat	Eropa Timur	Oceania	Amerika latin			Afrika			Timur Tengah			Asia			India <i>subcontinent</i>		
					Mean (Nilai Tengah)	Sistem Produktivitas Tinggi	Sistem Produktivitas Rendah	Mean (Nilai Tengah)	Sistem Produktivitas Tinggi	Sistem Produktivitas Rendah	Mean (Nilai Tengah)	Sistem Produktivitas Tinggi	Sistem Produktivitas Rendah	Mean (Nilai Tengah)	Sistem Produktivitas Tinggi	Sistem Produktivitas Rendah	Mean (Nilai Tengah)	Sistem Produktivitas Tinggi	Sistem Produktivitas Rendah
Sapi Perah	9.3	7.5	6.7	6	7.9	9	7.1	18.2	21.7	15.2	10.7	8.4	11.8	9	8.1	9.2	14.1	9.1	16.1
Sapi Jenis Lainnya	7.6	5.7	7.6	8.7	8.5	8.1	8.6	12	10.2	12.7	14.1	10.5	16.8	9.8	6.8	10.8	12.2	14	12
Kerbau	NA	7.7	6.2	NA	11.2	NE		12.9	NE		9.8	NE		13.5	NE			NE	
Babi	3.3	4.6	4	4	5	3.3	8.3	7.2	4.3	8.7	4.3	3.9	7.2	5.8	4.3	7.1	7.7	5.5	8.7
Finishing	3.9	6.3	4.9	5.6	6.4	4.3	10	8.2	5.3	9.4	4.9	4.4	7.8	6.8	5.1	8.1	8.6	6.5	9.5
Breeding	1.8	2.4	2	2.1	2.7	1.7	4.8	4.4	2.4	6	2.5	2.3	4.6	3.4	2.3	4.3	4.6	3	5.5
Unggas	14.5	12.3	12.6	15.4	13.5	13.3	15.7	12.6	12.3	13	14.2	14.1	16.5	11.2	10.6	14.3	14.9	14	15.7
Ayam ± 1 thn	9.4	8.6	9.4	8.6	10.1	9.3	14.7	10.2	8	11.6	9	8.4	15.8	9.3	8.5	12.8	13.2	12	14.6
Anak Ayam	5.9	5.3	5.9	6.2	7.6	5.7	18.5	12	5.8	16.5	6.8	5.6	18.5	7.5	5.4	17.7	13.2	6.8	18.9
Ayam Pedaging	16.8	16.1	16	18.3	15.6	15.5	17.8	15.9	16	15.4	17.7	17.7	17.9	15.7	15.6	17.7	17.7	18	18.2
Kalkun	10.3																		
Bebek	7.4																		
Domba	8.2				8.3														
Kambing	9				10.4														
Kuda	5.65				7.2														
Keledai/ Mules	7.2																		
Unta	11.5																		

4.3.1.4. Emisi N₂O Langsung dari Pengelolaan Kotoran Ternak (3.A.2)

Selain emisi metana, Emisi N₂O juga dihasilkan secara langsung dan tidak langsung selama penyimpanan dan pengolahan kotoran sebelum diaplikasikan ke tanah atau digunakan untuk pakan, bahan bakar, atau keperluan konstruksi. Pendekatan tersebut didasarkan pada ekskresi N, faktor emisi emisi N₂O, serta faktor volatilisasi dan pelindian.

Pendekatan *Tier 1* atau *Tier 1a* menghitung emisi N₂O dengan perkalian jumlah total ekskresi N (dari semua spesies / kategori ternak) di setiap jenis sistem pengelolaan kotoran dengan faktor emisi untuk sistem pengelolaan kotoran tersebut menurut sistem produktivitas (*Tier 1a*). Perhitungan *Tier 1/1a* emisi N₂O langsung dari pengelolaan kotoran ternak didasarkan pada persamaan di bawah ini.

$$N_2O_{D(mm)} = \left[\sum_S \left[\sum_{T,P} \left((N_{(T,P)} \circ Nex_{(T,P)}) \circ AWMS_{(T,S,P)} \right) + N_{cdg(S)} \right] \circ EF_{3(S)} \right] \circ \frac{44}{28}$$

Di mana:

- N₂O_(D mm)** : Emisi N₂O langsung dari Pengelolaan Kotoran (kg N₂O per tahun);
- NT_(T,P)** : Jumlah jenis / kategori ternak T menurut sistem produktivitas P;
- N_{ex(T,P)}** : Ekskresi N rata-rata tahunan per ekor jenis / kategori ternak T untuk sistem produktivitas P (kg N per hewan per tahun);
- AWMS_(T,S,P)** : Fraksi dari ekskresi nitrogen tahunan untuk setiap spesies / kategori ternak T yang diolah dalam sistem pengelolaan kotoran S dan sistem produktivitas P;
- N_{cdg(S)}** : Masukan nitrogen tahunan melalui *co-digestate* (kg N per tahun), di mana system S mengacu secara khusus untuk *anaerobic digestion*;
- EF_{3(S)}** : Faktor emisi untuk emisi N₂O langsung dari sistem pengelolaan kotoran S (kg N₂O -N per kg N) dalam sistem pengelolaan kotoran S;
- S** : Sistem pengelolaan kotoran;
- T** : Jenis / kategori ternak;
- P** : Sistem produktivitas, baik produktivitas tinggi maupun rendah untuk digunakan pada Tier 1a, dihilangkan jika menggunakan metode Tier 1;
- 44/284** : Konversi emisi N₂O-N_(mm) menjadi emisi N₂O_(mm);
- (NT_(T,P))** : Data aktivitas (jumlah jenis/kategori ternak), tersedia pada publikasi BPS seperti Kabupaten/Kota dalam Angka.

Faktor emisi langsung N₂O dari pengelolaan kotoran ternak menurut jenis sistem pengelolaan manur disajikan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.31. | Faktor Emisi Default untuk Emisi N₂O Langsung dari Pengelolaan Kotoran

SISTEM	DEFINISI	EF3 [kg N ₂ O-N (kg Nitrogen excreted)-1]	
Pasture/ Range/ Paddock	Kotoran dari hewan yang hidup di padang rumput, dimana kotorannya dibiarkan apa adanya/ tidak dikelola.	Emisi N ₂ O langsung dan tidak langsung yang bercampur dengan kotoran yang disimpan di tanah pertanian dan padang rumput, kandang terbuka, sistem <i>paddock</i> diperlakukan dalam Bab 11, Bagian 11.2, emisi N ₂ O dari tanah yang dikelola.	
Daily Spread	Kotoran secara rutin dikeluarkan dari kandang dan diaplikasikan ke lahan pertanian atau padang rumput dalam waktu 24 jam setelah dikeluarkan. Emisi N ₂ O selama penyimpanan dan pengolahan diasumsikan nol. Emisi N ₂ O dari penggunaan lahan tercakup dalam kategori Tanah Pertanian.	0	
Solid Storage	Penyimpanan kotoran, dengan cara ditumpuk untuk jangka waktu beberapa bulan. Kotoran dapat ditumpuk karena adanya bahan alas tidur dalam jumlah yang cukup sehingga menyebabkan hilangnya kelembapan karena penguapan.	0.01	
Solid storage- Covered/ compacted	Mirip dengan <i>solid storage</i> , tetapi tumpukan kotorannya; (a) ditutup dengan lembaran plastik untuk mengurangi permukaan kotoran ternak yang terpapar udara dan / atau (b) dipadatkan untuk meningkatkan kepadatan dan mengurangi ruang udara bebas dalam materi.	0.01	
Solid storage - Bulking agent addition	Bahan khusus (<i>bulking agent</i>) dicampur dengan pupuk kandang untuk memberikan dukungan struktural. Hal ini memungkinkan aerasi alami tumpukan, sehingga meningkatkan dekomposisi. (misalnya serbuk gergaji, jerami, sekam kopi, tungku jagung).	0.005	
Solid storage – Additives (Penyimpanan padat dengan bahan tambahan)	Penambahan zat khusus ke tumpukan untuk mengurangi emisi gas. Penambahan senyawa tertentu seperti <i>attapulgate</i> , <i>disyandiamide</i> atau kompos matang terbukti mengurangi Emisi N ₂ O; sedangkan <i>phosphogypsum</i> mengurangi emisi CH ₄ .	0.005	
Dry Lot	Area kandang terbuka beraspal atau tidak beraspal tanpa tutupan vegetatif, sehingga kotoran yang terkumpul dapat dibuang secara berkala. <i>Dry Lot</i> paling sering ditemukan di iklim kering, tetapi juga digunakan di iklim lembab.	0.02	
Liquid/Slurry	Penyimpanan kotoran ternak dengan cara penambahan air untuk memudahkan penanganan dan disimpan di tangki atau kolam tanah.	Dengan penutup kerak alami	0.005
		Tanpa penutup kerak alami	0
		Penutup	0.005

SISTEM	DEFINISI	EF3 [kg N ₂ O-N (kg Nitrogen excreted)-1]	
Uncovered anaerobic lagoon	<i>Anaerobic lagoon</i> dirancang dan dioperasikan untuk menggabungkan stabilisasi dan penyimpanan limbah. <i>Lagoon supernatant</i> biasanya digunakan untuk membuang kotoran dari kandang ke laguna. <i>Anaerobic lagoon</i> dirancang dengan panjang penyimpanan yang bervariasi (hingga satu tahun atau lebih), tergantung pada wilayah iklim, tingkat pemuatan padatan yang mudah menguap, dan faktor operasional lainnya. Air dari laguna dapat didaur ulang sebagai air siram atau digunakan untuk mengairi ladang.	0	
Pit storage below animal confinements	Pengumpulan dan penyimpanan kotoran dengan penambahan sedikit air atau tanpa air, biasanya dilakukan di bawah lantai kandang hewan yang tertutup.	0.002	
Anaerobic digester atau biodigester	Biodigester dirancang dan dioperasikan untuk stabilisasi limbah dengan mereduksi mikroba senyawa organik kompleks menjadi CH ₄ dan CO ₂ , yang ditangkap dan dibakar atau digunakan sebagai bahan bakar.	0.0006	
Burned for fuel or as waste	Kotoran yang dibuang ke ladang, kemudian sisa kotorannya dijemur digunakan untuk bahan bakar.	Emisi yang terkait dengan pembakaran kotoran harus dilaporkan ke IPCC dengan kategori 'Pembakaran Bahan Bakar'. Jika kotoran tersebut digunakan sebagai bahan bakar maka masuk kategori 'Pembakaran Sampah' IPCC.	
	<i>Urine N</i> disimpan di padang rumput dan kandang kecil	Emisi N ₂ O langsung dan tidak langsung yang terkait dengan urin yang disimpan di tanah pertanian dan padang rumput, kisaran, sistem paddock dibahas dalam Bab 11, Bagian 11.2, emisi N ₂ O dari tanah yang dikelola.	
Cattle and swine deep bedding	Saat kotoran menumpuk, alas harus ditambahkan untuk menyerap kelembapan selama siklus produksi yaitu 6 sampai 12 bulan. Sistem pengelolaan kotoran ini juga dikenal sebagai sistem pengelolaan kotoran paket tempat tidur dan dapat dikombinasikan dengan tempat kering atau padang rumput.	Tidak ada pencampuran	0.01
		Pencampuran aktif	0.07
Composting - InVessel	Pengomposan di saluran tertutup, dengan aerasi buatan dan pencampuran terus menerus.	0.006	
Composting - Static Pile (Foced aeration)	Pengomposan dalam tumpukan dengan aerasi buatan tetapi tanpa pencampuran.	0.01	

SISTEM	DEFINISI	EF3 [kg N ₂ O-N (kg Nitrogen excreted)-1]	
Composting - Intensive Windrow, (Frequent turning)	Pengomposan di <i>windrows</i> /ruang terbuka dengan putaran teratur untuk pencampuran dan aerasi	0.005	
Composting-Passive windrow (infrequent turning)	Pengomposan di <i>windrows</i> /ruang terbuka dengan putaran tidak teratur/jarang untuk pencampuran dan aerasi	0.005	
Poultry manure with litter	Hampir sama dengan <i>deep bedding systems</i> (kotorannya tidak dikelarkan dari kandang). Biasanya digunakan untuk semua <i>flok</i> (gumpalan) peternak unggas termasuk ayam jenis daging (<i>broiler</i>) dan unggas lainnya.	0.001	
Poultry manure without litter	Hampir mirip dengan lubang terbuka di kandang hewan tertutup, atau mungkin dirancang dan dioperasikan untuk mengeringkan kotoran saat terkumpul. Yang terakhir ini dikenal sebagai sistem pengelolaan kotoran bertingkat tinggi dan merupakan bentuk pengomposan kincir angin pasif bila dirancang dan dioperasikan dengan benar.	0.001	
Perlakuan aerob	Oksidasi biologis pupuk kandang dikumpulkan sebagai cairan dengan aerasi buatan atau alami. Aerasi alami terbatas pada kolam aerobik dan fakultatif serta sistem lahan basah dan terutama disebabkan oleh fotosintesis. Oleh karena itu, sistem ini biasanya menjadi anoksik selama periode tanpa sinar matahari.	Sistem Aerasi alami	0.01
		Sistem aerasi buatan	0.005

Jumlah ekskresi rata-rata tahunan, $N_{ex(T,P)}$, dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini dengan cara mengalikan laju ekskresi N dengan berat rata-rata ternak.

$$N_{ex(T,P)} = N_{rate(T,P)} \circ \frac{TAM_{(T,P)}}{1000} \circ 365$$

Di mana:

- $N_{ex(T,P)}$** : Ekskresi N tahunan untuk jenis / kategori ternak T (kg N per ternak per tahun) untuk sistem produktivitas P;
- $N_{rate(T,P)}$** : *Default* laju ekskresi N (kg N per 1000 kg berat ternak per hari, untuk kategori ternak T dan untuk sistem produktivitas P (lihat Tabel 10.19);
- $TAM_{(T,P)}$** : Berat untuk kategori ternak T, untuk sistem produktivitas P (kg per hewan).
- P** : Kelas produktivitas, tinggi atau rendah, jika mempertimbangkan menggunakan metode *Tier 1a*.

Tabel 4.32. | Default Laju Ekskresi N

Kategori Hewan	Wilayah/ Region																		
	Amerika Utara	Eropa Barat	Eropa Timur	Oceania	Amerika latin			Afrika			Timur Tengah			Asia			India subcontinent		
					Mean (Nilai Tengah)	Sistem Produktivitas Tinggi	Sistem Produktivitas Rendah	Mean (Nilai Tengah)	Sistem Produktivitas Tinggi	Sistem Produktivitas Rendah	Mean (Nilai Tengah)	Sistem Produktivitas Tinggi	Sistem Produktivitas Rendah	Mean (Nilai Tengah)	Sistem Produktivitas Tinggi	Sistem Produktivitas Rendah	Mean (Nilai Tengah)	Sistem Produktivitas Tinggi	Sistem Produktivitas Rendah
Sapi Perah	0.6	0.5	0.42	0.72	0.39	0.6	0.28	0.44	0.41	0.45	0.5	0.49	0.51	0.44	0.55	0.41	0.65	0.51	0.7
Sapi Jenis Lainnya	0.4	0.42	0.47	0.46	0.31	0.36	0.29	0.44	0.42	0.45	0.55	0.51	0.58	0.38	0.36	0.38	0.44	0.63	0.4
Kerbau	NA	0.45	0.35	NA	0.41			0.41			0.39			0.44			0.57		
Babi	0.39	0.65	0.63	0.54	0.59	0.55	0.67	0.44	0.33	0.49	0.66	0.67	0.56	0.61	0.54	0.67	0.68	0.63	0.71
Finishing	0.46	0.76	0.77	0.72	0.73	0.69	0.8	0.49	0.39	0.54	0.73	0.75	0.6	0.7	0.63	0.76	0.76	0.74	0.76
Breeding	0.24	0.38	0.36	0.31	0.35	0.32	0.43	0.29	0.21	0.35	0.4	0.41	0.37	0.37	0.32	0.43	0.43	0.37	0.47
Unggas	1.45	0.99	0.96	1.42	1.2	1.13	2.14	1.29	1.16	1.44	1.29	1.27	1.79	1.1	1	1.62	1.62	1.48	1.83
Ayam >= 1 thn	1.13	0.87	0.81	1.04	1.17	1.02	2.01	1.2	0.99	1.34	1.11	1.06	1.7	1	0.89	1.5	1.65	1.6	1.7
Anak ayam	0.77	0.58	0.58	0.76	0.95	0.68	2.5	1.29	0.7	1.72	0.85	0.74	2.03	0.83	0.6	1.91	1.63	0.98	2.2
Ayam pedaging	1.59	1.14	1.12	1.59	1.23	1.21	2.39	1.4	1.34	1.58	1.43	1.42	1.95	1.35	1.31	1.84	1.58	1.47	2.11
Kalkun	0.74																		
Bebek	0.83																		
Domba	0.35	0.36	0.36	0.43	0.32														
Kambing	0.46	0.46	0.44	0.42	0.34														
Kuda dan Keledai/ Mules	0.3	0.26	0.3	0.3	0.46														
Unta	0.38				0.46														
Burung Unta	0.34																		

4.3.1.5. Perkiraan Emisi Tidak Langsung N₂O dari Pengelolaan Kotoran Ternak (3.C.6)

Emisi N₂O tidak langsung dihasilkan dari a) kehilangan nitrogen yang mudah menguap yang terjadi terutama dalam bentuk amonia dan NO_x dan b) kehilang nitrogen melalui limpasan dan pencucian ke tanah dari penyimpanan padat kotoran di area luar ruangan, di tempat pemberian pakan dan di mana hewan merumput di padang rumput.

Perkiraan *Tier 1* dari penguapan N dalam bentuk NH₃ dan NO_x dari sistem pengelolaan kotoran didasarkan pada perkalian jumlah nitrogen yang dieksresikan (dari semua kategori ternak) dan dikelola di setiap sistem pengelolaan kotoran dengan fraksi nitrogen yang diuapkan. Kehilangan N kemudian dijumlahkan di semua sistem pengelolaan kotoran ternak seperti diformulasi pada persamaan berikut:

$$N_{(volatilization-mm)} = \sum_S \left[\sum_{T,P} \left[\left((N_{(T,P)} \circ Nex_{(T,P)}) \circ AWMS_{(T,S,P)} \right) + N_{cdg(S)} \right] \circ Frac_{gasMS(T,S)} \right]$$

Di mana:

- N_{volatilization-MMS}** : Jumlah nitrogen kotoran yang hilang akibat penguapan NH₃ dan NO_x (kg N per tahun);
- NT(T,P)** : Jumlah jenis / kategori ternak T menurut sistem produktivitas P;
- N_{ex}(T,P)** : Ekskresi N rata-rata tahunan per ekor jenis / kategori ternak T untuk sistem produktivitas P (kg N per hewan per tahun);
- AWMS (T,S,P)** : Fraksi dari ekskresi nitogen tahunan untuk setiap spesies / kategori ternak T yang diolah dalam sistem pengelolaan kotoran S dan sistem produktivitas P;
- N_{cdg}(s)** : Masukan nitrogen tahunan melalui *co-digestate* (kg N per tahun), di mana sistem S mengacu secara khusus untuk *anaerobic digestion*;
- Frac_{gasMS}(T,S)** : Fraksi nitrogen kotoran yang dikelola untuk ternak kategori T yang menguap sebagai NH₃ dan NO_x dalam sistem pengelolaan kotoran S
- S** : Sistem pengelolaan kotoran;
- T** : Jenis / kategori ternak;
- P** : Sistem produktivitas, baik produktivitas tinggi maupun rendah untuk digunakan pada *Tier 1a*, dihilangkan jika menggunakan metode *Tier 1*.
- (NT(T,P))** : Data aktivitas (jumlah jenis/kategori ternak), tersedia pada publikasi BPS seperti Kabupaten/Kota dalam Angka.

Emisi N₂O tidak langsung karena volatilisasi N dihitung dengan persamaan berikut. Persamaan tidak berbeda dengan yang ada di **IPCC Guidelines 2006** atau **Pedoman IPCC 2006**, kecuali pembaharuan faktor emisinya.

$$N_2O_{g(m,m)} = (N_{volatilization-MMS} \circ EF_4) \circ 44/28$$

Di mana:

- N₂O_G(mm)** : Emisi N₂O tidak langsung akibat penguapan N dari Pengelolaan Kotoran (kg N₂O per tahun);
- EF₄** : Faktor emisi untuk emisi N₂O dari pengendapan nitrogen pada tanah dan permukaan air (kg N₂O-N per (kg NH₃-N + NO_x-N diuapkan). Lihat **Bab. 11 pada Tabel 11.3**.

Sementara, perhitungan *Tier 1* untuk limpasan dan pencucian N dari sistem pengelolaan kotoran didasarkan pada perkalian jumlah nitrogen yang dikeluarkan (dari semua kategori ternak) dan dikelola di setiap sistem pengelolaan kotoran dengan fraksi nitrogen yang tercuci.

$$N_{(leaching-MMS)} = \sum_S \left[\sum_{T,P} \left[\left((N_{(T,P)} \circ Nex_{(T,P)} \circ AWMS_{(T,S,P)}) + N_{cdg(S)} \right) \circ Frac_{leachMS(T,S)} \right] \right]$$

Di mana

- N_{leaching MMS}** : Jumlah nitrogen kotoran yang hilang karena pencucian (kg N per tahun);
- NT(T,P)** : Jumlah jenis / kategori ternak T menurut sistem produktivitas P;
- N_{ex}(T,P)** : Ekskresi N rata-rata tahunan per ekor jenis / kategori ternak T untuk sistem produktivitas P (kg N per hewan per tahun);
- AWMS (T,S,P)** : Fraksi dari ekskresi nitrogen tahunan untuk setiap spesies / kategori ternak T yang diolah dalam sistem pengelolaan kotoran S dan sistem produktivitas P;
- N_{cdg}(s)** : Masukan nitrogen tahunan melalui *co-digestate* (kg N per tahun), di mana sistem S mengacu secara khusus untuk *anaerobic digestion*;
- FracLeachMS(T,S)** : Fraksi nitrogen kotoran yang dikelola untuk ternak kategori T yang tercuci dari sistem pengelolaan kotoran S;
- S** : Sistem pengelolaan kotoran;
- T** : Jenis / kategori ternak;
- P** : Sistem produktivitas, baik produktivitas tinggi maupun rendah untuk digunakan pada Tier 1a, dihilangkan jika menggunakan metode *Tier 1*.
- (NT(T,P))** : Data aktivitas (jumlah jenis/kategori ternak), tersedia pada publikasi BPS seperti Kabupaten/Kota dalam Angka.

Emisi N₂O tidak langsung akibat pencucian dan limpasan dari Pengelolaan Kotoran (N₂O_{L(mm)}) diperkirakan menggunakan persamaan berikut:

$$N_2O_{G(m,m)} = (N_{leaching-MMS} \circ EF_5) \circ 44/28$$

Di mana:

N₂O_{G(mm)} : Emisi N₂O tidak langsung akibat pencucian dan limpasan dari Pengelolaan Kotoran (kg N₂O per tahun);

N_{leaching MMS} : Jumlah nitrogen kotoran yang hilang karena pencucian (kg N per tahun);

EF₅ : Faktor emisi untuk emisi N₂O dari pencucian dan limpasan nitrogen (kg N₂O-N per (kg N tercuci dan terlimpas), lihat **Bab 11 pada Tabel 11.3**.

Fraksi nitrogen kotoran yang dikelola untuk ternak kategori T yang tervolatilisasi atau tercuci dari sistem pengelolaan kotoran ternak dapat dilihat pada **Tabel 4.33** berikut.

Tabel 4.33. | Default Fraksi Kehilangan Nitrogen karena Volatisasi serta Pencucian dan Limpasan dari Pengelolaan Kotoran

SISTEM	Variasi Sistem yang Berlaku	BABI		SAPI PERAH		UNGGAS		SAPI JENIS LAINNYA		BINATANG LAINNYA	
		1FracGas_MS	2,5Frac leach_MS	FracGas_MS	2,5Frac leach_MS	FracGas_MS	2,5Frac leach_MS	FracGas_MS	2,5Frac leach_MS	FracGas_MS	2,5Frac leach_MS
Uncovered anaerobic lagoon		0.40 (0.25 – 0.75)	0	0.35 (0.20 – 0.80)	0	0.40 (0.25 – 0.75)	0	0.35 (0.20 – 0.80)	0	0.35 (0.20 – 0.80)	0
Liquid/Slurry	Dengan penutup kerak alami	0.30 (0.09 – 0.36)	0	0.30 (0.09 – 0.36)	0	NO	0	0.30 (0.09 – 0.36)	0	0.09	0
	Tanpa penutup kerak alami	0.48 (0.15 – 0.60)	0	0.48 (0.15 – 0.60)	0	0.40 (0.25 – 0.75)	0	0.48 (0.15 – 0.60)	0	0.15	0
	Dengan Penutup	0.10 (0.03 – 0.12)	0	0.10 (0.03 – 0.12)	0	0.08 (0.05-0.15)	0	0.10 (0.03 – 0.12)	0	0.03	0
Pit storage below animal confinements		0.25 (0.15 – 0.30)	0	0.28 (0.10 – 0.40)	0	0.28 (0.10 – 0.40)	0	0.25 (0.15 – 0.30)	0	0.25 (0.15 – 0.30)	0
Daily spread		0.07 (0.05 – 0.60)	0	0.07 (0.05 – 0.60)	0	0.07 (0.05 – 0.60)	0	0.07 (0.05 – 0.60)	0	0.07 (0.05 – 0.60)	0
7Solid storage		0.45 (0.10 – 0.65)	0.02	0.30 (0.10 – 0.40)	0.02	0.40 (0.12 – 0.60)	0.02	0.45 (0.10 – 0.65)	0.02	0.12 (0.05 – 0.20)	0.02
7Solid storage-Covered/compacted		0.22 (0.04-0.26)	0	0.14 (0.02-0.17)	0	0.20 (0.04-0.24)	0	0.22 (0.03-0.26)	0	0.05 (0-0.07)	0
7Solid storage – Bulking agent addition		0.58 (0.11-0.70)	0.02	0.38 (0.06-0.46)	0.02	0.54 (0.10-0.65)	0.02	0.58 (0.08-0.70)	0.02	0.15 (0.06-0.18)	0.02

SISTEM	Variasi Sistem yang Berlaku	BABI		SAPI PERAH		UNGGAS		SAPI JENIS LAINNYA		BINATANG LAINNYA	
		1FracGas_MS	2,5Frac leach_MS	FracGas_MS	2,5Frac leach_MS	FracGas_MS	2,5Frac leach_MS	FracGas_MS	2,5Frac leach_MS	FracGas_MS	2,5Frac leach_MS
7Solid storage – Additives		0.17 (0.03-0.21)	0.02	0.11 (0.01-0.14)	0.02	0.16 (0.03-0.20)	0.02	0.17 (0.02-0.21)	0.02	0.04 (0.01-0.05)	0.02
Dry lot		0.45 (0.10 – 0.65)	0.035 (0-0.07)	0.30 (0.20 – 0.50))	0.035 (0-0.07)	NA	0.035 (0-0.07)	0.30 (0.20 – 0.50)	0.035 (0-0.07)	0.30 (0.20 – 0.50)	0.035
3Anaerobic digester		0.05-0.509	0	0.05-0.50	0	0.05-0.50	0	0.05-0.50	0	0.05-0.50	0
Burned for fuel or as waste		NA									
Cattle and swine deep bedding		0.40 (0.10 – 0.60)	0.035	0.25 (0.10 – 0.30)	0.035	0.30 (0.20 – 0.40)	NA	0.25 (0.10 – 0.30)	0.035	0.40 (0.10 – 0.60)	0.035
3Composting – In-Vesselc		0.60 (0.12-0.65)	0	0.45 (0.07-0.54)	0	0.60 (0.12-0.65)	0	0.60 (0.12-0.65)	0	0.18 (0.04-0.21)	0
7Composting - Static Pilec		0.65 (0.14-0.70)	0.06	0.50 (0.07-0.60)	0.06	0.65 (0.14-0.70)	0.06	0.65 (0.14-0.70)	0.06	0.20 (0.05-0.24)	0.06
3Composting – Intensive Windrowc		0.65 (0.14-0.70)	0.06	0.50 (0.07-0.60)	0.06	0.65 (0.14-0.70)	0.06	0.65 (0.14-0.70)	0.06	0.20 (0.05-0.24)	0.06
7Composting – Passive Windrowc		0.60 (0.12-0.65)	0.04	0.45 (0.07-0.54)	0.04	0.60 (0.12-0.65)	0.04	0.60 (0.12-0.65)	0.04	0.18 (0.04-0.21)	0.04
Poultry manure with litter		NA				0.40 (0.10 – 0.60)	0	NA			

SISTEM	Variasi Sistem yang Berlaku	BABI		SAPI PERAH		UNGAS		SAPI JENIS LAINNYA		BINATANG LAINNYA	
		1FracGas_MS	2,5Frac leach_MS	FracGas_MS	2,5Frac leach_MS	FracGas_MS	2,5Frac leach_MS	FracGas_MS	2,5Frac leach_MS	FracGas_MS	2,5Frac leach_MS
Poultry manure without litter		NA				0.48 (0.15 – 0.60)	0	NA			
3Aerobic treatment	Sistem Aerasi alami	no data ⁶	0	no data ⁶	0	no data ⁶	0	no data ⁶	0	no data ⁶	0
	Sistem Aerasi Buatan	0.85 (0.27 – 1)	0	0.85 (0.27 – 1)	0	no data ⁶	0	0.85 (0.27 – 1)	0	0.27	0

Sumber : Nilai tersebut sebagian besar berasal dari Pedoman IPCC 2006, untuk sumber dan analisis lain dibahas dalam Lampiran B.7. Nilai-nilai yang dicetak miring tidak secara khusus diturunkan dari literatur tetapi diambil dari pengganti yang paling mungkin di antara nilai-nilai yang ada dan karena alasan itu rentan terhadap ketidakpastian yang lebih besar.

¹Kehilangan N akibat penguapan fraksi NH₃ + NO_x dari total N yang diekskresikan

²Kehilangan N akibat pencucian, sebagian kecil dari total N yang diekskresikan

³Kehilangan nitrogen dari penyimpanan pencernaan yang sangat bergantung pada komposisi pencernaan dan penutup penyimpanan. Pencernaan dengan kandungan bahan kering rendah dan tidak ada penutup dapat kehilangan hingga 0.5 nitrogen. Kehilangan N akan menjadi lebih rendah berkisar 0.005, ini berlaku untuk digesti dengan kandungan bahan kering yang tinggi dan ada penutup. Rentang yang ditunjukkan juga berlaku untuk *co-digestate*. Dianjurkan untuk digunakan, bubur cair tanpa penutup untuk cerna yang tidak tertutup.

⁴Rentang ketidakpastian 0 hingga 0.07. Nilai pencucian tergantung pada curah hujan tahunan. Data spesifik negara harus dikembangkan jika pencucian diamati menjadi sumber yang signifikan berdasarkan nilai default dan di iklim lembab harus menggunakan batas atas.

⁵Pencucian hanya disertakan untuk kasus kotoran yang tidak tertutup, dan tanpa batasan limpasan dimana N hilang ke lingkungan dan oleh karena itu hilang dari keseimbangan N reaktif secara keseluruhan.

⁶Tidak ada data yang menunjukkan bahwa tidak ada nilai literatur yang ditemukan, juga tidak ada kepastian yang memadai dalam memberikan nilai pengganti. nilai spesifik negara harus digunakan, atau pengganti harus dipilih dari Tabel dan dibenarkan berdasarkan pertimbangan faktor-faktor yang mengendalikan tingkat volatilisasi dalam sistem manajemen.

⁷Sumber dan asumsi untuk menghitung NH₃ dan EF pencucian/ run-off dengan kategori penyimpanan padat dan pengomposan (*static pile and passive windrows*) dirinci dalam **Lampiran 10 B.7.**

Faktor emisi default emisi N₂O tidak langsung dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.34. | Default Faktor Emisi N₂O Tidak Langsung karena Volatisasi serta Pencucian dan Limpasan dari Pengelolaan Kotoran

Faktor Emisi	Agregat		Disagregat		
	Nilai Default	Rentang Ketidakpastian	Disagregasi	Nilai Default	Rentang Ketidakpastian
EF4 [N volatilisation and redeposition], kg N ₂ O-N (kg NH ₃ -N + Nox-N volatilised)	0.01	0.02 - 0.018	Iklm Basah	0.014	0.011 - 0.017
			Iklm Kering	0.005	0.00 - 0.011
EF5 [leaching/runoff], kg N ₂ O-N (kg N leaching/runoff)	0.011	0.00 - 0.02	-	-	-
FracGASF [Volatilisation from synthetic fertiliser], (kg NH ₃ -N + Nox-N) (kg N applied)	0.11	0.02 - 0.33	Urea	0.15	0.03 - 0.43
			Ammonium-based	0.08	0.02 - 0.3
			Nitrate - based	0.01	0.00 -0.02
			Ammonium-Nitrate-Based	0.05	0.00 - 0.2
FracGASF [Volatilisation from all organic N fertilisers applied, and dung and urine deposited by grazing animals], (kg NH ₃ -N + Nox-N) (kg N applied or deposited)	0.21	0.00 - 0.31	-	-	-
FracLEACH (H)[N losses by leaching/runoff in wet climates], kg N (kg N additions or deposition by grazing animals)	0.24	0.01 - 0.73	-	-	-

4.3.2. Lahan (3.B)

Emisi dan serapan GRK antropogenik melalui sink pada sektor berbasis lahan (Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lain) diperkirakan pada semua yang terjadi di 'lahan yang dikelola' (*managed land*). Lahan yang dikelola adalah lahan di mana intervensi dan praktik manusia telah diterapkan untuk melakukan fungsi

produksi, ekologis, atau sosial. Emisi GRK tidak perlu dilaporkan untuk lahan yang tidak dikelola.

Lahan yang dikelola harus ditetapkan secara nasional dan diklasifikasikan secara transparan dan konsisten dari waktu ke waktu. Emisi dan serapan GRK tidak perlu dilaporkan untuk lahan yang tidak dikelola.

4.3.2.1. Tampungannya Karbon Lahan

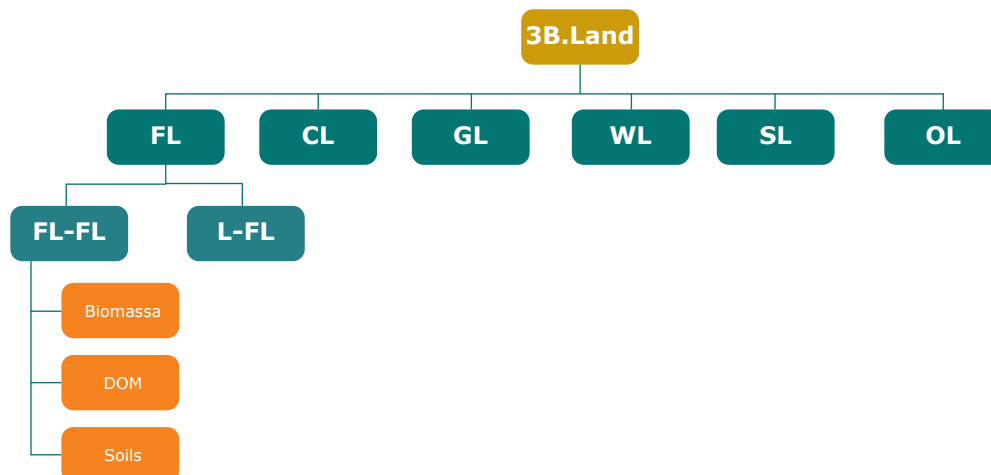
Perubahan stok karbon dan estimasi emisi serta serapan didasarkan 5 tampungan karbon: biomassa (1. Biomassa atas permukaan, 2. Biomassa bawah permukaan), bahan organik mati (3. Kayu mati, 4. Serasah), dan 5. Tanah (bahan organik tanah).

4.3.2.2. Kategori Penggunaan dan Pengelolaan Lahan

Enam kategori penggunaan lahan di Pedoman IPCC digunakan untuk merepresentasikan lahan yang dikelola, yaitu Lahan Hutan (**FL**), Lahan Pertanian (**CL**), Padang Rumput (**GL**), Lahan Basah (**WL**), Pemukiman (**SL**), dan Lahan Lainnya (**OL**).

Emisi/serapan CO₂ karena perubahan biomassa pada kategori penggunaan di atas diperkirakan pada 2 sub-kategori, yaitu (a). Lahan yang tersisa dalam kategori yang sama (misalnya,

Lahan Hutan sisa/tetap Lahan Hutan) dan (b). Lahan yang dikonversi dari satu kategori ke kategori lainnya (misalnya, Lahan Hutan dikonversi menjadi Lahan Pertanian) untuk setiap tampungan karbon (biomassa, bahan organik mati, dan tanah) seperti disajikan pada gambar di bawah ini. Sementara emisi non-CO₂ diperkirakan dari pembakaran biomassa pada kategori penggunaan lahan lahan hutan (**FL**), lahan pertanian (**CL**) dan padang rumput (**GL**).



Gambar 4.2 | Perubahan Simpanan Karbon pada Sub-Kategori Penggunaan Lahan Menurut Tampungan Karbon

KLHK membedakan penggunaan lahan lebih detil dari penggunaan lahan menurut IPCC dan jenis penggunaan lahan yang digunakan dalam menyusun inventarisasi GRK di sektor lahan. Hubungan antara penggunaan lahan IPCC dengan penggunaan lahan menurut KLHK dapat dilihat pada **Tabel 4.35** di bawah ini.

Tabel 4.35. | Hubungan Kategorisasi Penggunaan Lahan IPCC 2006 dan Kementerian Kehutanan

NO	KATEGORI IPCC 2006	KATEGORI PENUTUP LAHAN KEMENTERIAN KEHUTANAN
Lahan Hutan		
1.	FL	Hutan Lahan Kering Primer
2.	FL	Hutan Rawa Primer
		Hutan Mangrove Primer
3.	FL	Hutan Lahan Kering Sekunder
4.	FL	Hutan Rawa Sekunder
		Hutan Mangrove Sekunder
5.	FL	Hutan Tanaman
Lahan Pertanian		
6.	CL	Pertanian
7.	CL	Pertanian campur semak
8.	CL	Transmigrasi
9.	CL	Sawah
10.	CL	Perkebunan
Padang Rumput		
11.	GL	Belukar
12.	GL	Rumput
Lahan Basah		
13.	WL	Belukar Rawa
14.	WL	Rawa
15.	WL	Air
Pemukiman		
16.	ST	Pemukiman
Penggunaan Lahan Lain		
17.	OL	Tanah Terbuka
18.	OL	Tambak
19.	OL	Bandara

4.3.2.3. Pendugaan Emisi/Serapan CO₂ Perubahan Simpanan Karbon

Emisi dan serapan CO₂ untuk sektor lahan akibat perubahan simpanan karbon suatu ekosistem, diperkirakan untuk setiap kategori penggunaan lahan (lahan yang tersisa dalam kategori yang sama dan lahan dikonversi ke penggunaan lahan lain). Secara umum perubahan simpanan karbon pada sektor lahan dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

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

Di mana:

ΔCAFOU : Perubahan simpanan karbon pada lahan pertanian, kehutanan, dan penggunaan lain

FL : Lahan Hutan

CL : Lahan Pertanian

GL : Padang Rumput

WL : Lahan Basah

SL : Pemukiman

OL : Lahan lainnya

Untuk masing-masing kategori penggunaan lahan, perubahan simpanan karbon diperkirakan untuk semua strata atau sub-divisi lahan, seperti zona iklim, tipe ekosistem, jenis tanah, dan rejim pengelolaan, pada kategori lahan sebagaimana persamaan dibawah ini.

$$\Delta C_{LU} = \sum_i \Delta C_{LUi}$$

Di mana:

ΔCLU : Perubahan simpanan karbon untuk suatu penggunaan lahan

i : Strata atau subdivisi dalam kategori penggunaan lahan

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

$$\Delta C_{LU} = \Delta C_{AB} + \Delta C_{BB} + \Delta C_{DW} + \Delta C_{LI} + \Delta C_{SO} + \Delta C_{HWP}$$

Di mana:

- ΔCLU** : Perubahan simpanan karbon untuk suatu strata dari kategori penggunaan lahan
- ΔCAB** : Perubahan simpanan karbon dari biomassa diatas permukaan tanah
- ΔCBB** : Perubahan simpanan karbon dari biomassa dibawah permukaan tanah
- ΔCDW** : Perubahan simpanan karbon dari kayu mati
- ΔCLI** : Perubahan simpanan karbon dari serasah
- ΔCso** : Perubahan simpanan karbon dari bahan organik tanah
- ΔCHWP** : Perubahan simpanan karbon dari produk kayu yang dipanen

Perkiraan perubahan tampungan karbon dan fluks menggunakan persamaan di atas tergantung pada ketersediaan data dan model, sumber daya dan kapasitas untuk mengumpulkan dan menganalisis informasi tambahan serta metode *Tier* yang dipilih. Karena keterbatasan data aktivitas untuk memperkirakan beberapa perubahan simpanan karbon, metode *Tier 1* memasukan beberapa asumsi penyederhanaan sebagai berikut:

- Perubahan stok karbon biomassa di bawah permukaan bawah tanah diasumsikan nol pada *Tier 1*.
- Tampungan karbon dari kayu mati dan serasah sering disatukan sebagai bahan organik mati pada *Tier 1*.
- Simpanan bahan organik mati diasumsikan nol untuk kategori penggunaan lahan non-hutan. Untuk lahan hutan yang dikonversi ke lahan lain, simpanan karbon pada bahan organik mati diduga menggunakan nilai *default* IPCC.

Perubahan simpanan karbon dapat diperkirakan dengan dua pendekatan yang berbeda: 1). Pendekatan berbasis proses, yang memperkirakan keseimbangan akhir dari penambahan dan penyerapan dari simpanan karbon, dan; 2). Pendekatan berbasis simpanan, yang memperkirakan perbedaan simpanan karbon pada dua titik waktu. Metode berbasis proses sesuai diterapkan di negara-negara yang belum mengukur secara berkala simpanan karbon dari tampungan-tampungan biomassa yang berbeda. Oleh karena itu, pedoman ini fokus pada pendekatan berbasis proses yang dikenal dengan metode *Gain-Loss*.

Perubahan simpanan karbon tahunan di beberapa tampungan dengan pendekatan gain-loss menggunakan persamaan di bawah ini. *Gain* adalah pertumbuhan (kenaikan biomassa) dan transfer karbon dari tampungan lain (misalnya, transfer karbon dari tampungan karbon biomassa hidup ke bahan organik mati karena panen atau gangguan alam). *Gain* selalu ditandai dengan

tanda (+) positif. Sementara, *Loss* adalah transfer karbon dari satu tampungan ke yang lain (misalnya, karbon dalam potongan/tebangan selama operasi pemanenan adalah kehilangan dari tampungan biomassa di atas permukaan tanah), atau emisi karena pembusukan, panen, pembakaran, dan lain-lain. *Loss* selalu ditandai dengan tanda negatif (-).

$$\Delta C = \Delta C_G - \Delta C_L$$

Di mana:

DC : Perubahan simpanan karbon tahunan di tampungan, ton C/tahun

DC_G : Tambahan (*gain*) karbon tahunan, ton C/tahun

DC_L : Kehilangan (*loss*) karbon tahunan, ton C/tahun

A. PERUBAHAN SIMPANAN KARBON BIOMASSA

Untuk tujuan inventori, perubahan dalam simpanan karbon pada biomassa (biomassa di atas dan di bawah permukaan) diperkirakan dari: (i). Lahan yang kategorinya sama dengan kategori penggunaan lahan sebelumnya dan; (ii). Lahan yang dikonversi ke kategori penggunaan lahan lain.

Lahan yang tersisa dalam Kategori Penggunaan Lahan yang Sama

Perubahan simpanan karbon pada biomassa dapat dihitung dari pendekatan *gain-loss method*, yang merupakan selisih antara perolehan karbon biomassa dan kehilangan karbon biomassa dengan persamaan:

$$\Delta C_B = (\Delta C_G - \Delta C_L)$$

Di mana:

ΔCB : Perubahan simpanan karbon tahunan dari biomassa (termasuk karbon biomassa di atas dan di bawah permukaan), ton C per tahun

ΔCG : Penambahan simpanan karbon tahunan akibat pertumbuhan biomassa, ton C per tahun

ΔCL : Penurunan simpanan karbon tahunan akibat kehilangan biomassa, ton C per tahun

Penambahan simpanan karbon tahunan pada biomassa (ΔC_G) dapat diduga dengan persamaan:

$$\Delta C_G = \sum_{ij} (A_{ij} \times G_{TOTALij} \times CF)$$

Di mana:

- ΔC_G** : Penambahan simpanan karbon tahunan akibat pertumbuhan biomassa, ton C per tahun
 A_{ij} : Luas dari lahan tersisa dalam kategori penggunaan lahan yang sama pada zona ekologi ke i dan iklim ke j, ha
 $G_{TOTALij}$: Rata-rata tahunan pertumbuhan biomas (riap), ton per (ha tahun) dalam berat kering
 C : Fraksi karbon dalam berat kering, ton C per berat kering

Besaran **$G_{TOTALij}$** adalah total pertumbuhan biomassa yang merupakan jumlah dari pertumbuhan biomassa di atas permukaan (**G_W**) dan pertumbuhan biomassa dibawah permukaan. Untuk *Tier 1* **$G_{TOTALij}$** dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$G_{TOTALij} = \sum_{ij} \{G_W \times (1 + R)\}$$

Di mana:

- $G_{TOTALij}$** : Rata-rata tahunan pertumbuhan biomas (riap) atas dan bawah permukaan, ton per (ha tahun) dalam berat kering
 G_W : Rata-rata tahunan pertumbuhan biomas atas permukaan, ton per (ha tahun) dalam berat kering
 R : Rasio biomassa bawah permukaan dan biomassa di atas permukaan

Default rata-rata pertumbuhan biomassa untuk hutan primer dapat menggunakan nilai **2019 IPCC** sebesar 0,7 ton per ha per tahun, sedangkan nilai **R** untuk hutan alam berumur lebih dari 125 tahun 0,212, kurang dari 125 tahun 0,207, dan untuk hutan tanaman 0,325. Untuk pertumbuhan biomassa hutan sekunder dan penggunaan lahan lain termasuk simpanan karbon dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 4.36. | Simpanan Karbon dan Pertumbuhan Hutan dan Penggunaan Lahan Lain.

		NTT/NTB	Jawa	Kalimantan	Maluku	Papua	Sulawesi	Sumatera	Nasional	Nasional
Tipe PL	Group	Stock (Ton Dm)	Stock (Ton Dm)	Stock (Ton Dm)	Stock (Ton Dm)	Stock (Ton Dm)	Stock (Ton Dm)	Stock (Ton Dm)	Growth(Ton C)	Growth (Ton Dm)
Belukar (B)	GL	63.8	63.8	63.8	63.8	63.8	63.8	63.8	0.2	0.40
Belukar Rawa (Br)	GL	63.8	63.8	63.8	63.8	63.8	63.8	63.8	0.6	1.20
Hutan Lahan Kering Primer (Hp)	FL	274.4	415.7	269.4	301.4	239.1	275.2	268.6	0	-
Hutan Lahan Kering Sekunder (Hs)	FL	162.7	170.5	203.3	222.1	180.4	206.5	182.2	1.075	2.15
Hutan Mangrove Primer (Hmp)	FL	361.7	361.7	263.9	361.7	361.7	361.7	361.7	0	-
Hutan Mangrove Sekunder (Hms)	FL	255.3	255.3	201.7	255.3	255.3	255.3	255.3	2.8	5.60
Hutan Rawa Primer (Hrp)	FL	417.0	417.0	274.8	417.0	178.8	214.4	220.8	0	-
Hutan Rawa Sekunder (Hrs)	FL	329.8	329.8	170.5	329.8	145.7	128.3	151.4	1.075	2.15
Hutan Tanaman (Ht)	FL	136.2	136.2	136.2	136.2	136.2	136.2	136.2	4.8	9.60
Pemukiman (Pm)	SL	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	0.2	0.40
Perkebunan (Pk)	CL	134.0	134.0	134.0	134.0	134.0	134.0	134.0	2.52	5.04
Pertambangan (Tb)	OL	-	-	-	-	-	-	-	0	-
Pertanian Lahan Kering (Pt)	CL	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	0.2	0.40
Pertanian Lahan Kering Campur (Pc)	CL	63.8	63.8	63.8	63.8	63.8	63.8	63.8	0.6	1.20
Rawa (Rw)	WL	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.20
Savanna/ Padang rumput (S)	GL	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	0.2	0.40
Sawah (Sw)	CL	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	0	-
Tambak (Tm)	OL	-	-	-	-	-	-	-	0	-
Tanah Terbuka (T)	OL	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	0.1	0.20
Transmigrasi (Tr)	CL	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	1.32	2.64

Sementara, penurunan simpanan karbon tahunan pada biomassa (ΔC_L) diduga dari kehilangan biomassa akibat pemanenan kayu, pengambilan kayu bakar, dan gangguan seperti hama/penyakit, kebakaran, dan badai. Hubungan tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\Delta C_L = L_{\text{wood-removal}} + L_{\text{fuelwood}} + L_{\text{disturbances}}$$

Di mana:

ΔC_L : Penurunan simpanan karbon tahunan akibat kehilangan biomassa, ton C per tahun

$L_{\text{wood-removal}}$: Kehilangan karbon akibat pemanenan kayu, ton C per tahun

L_{fuelwood} : Kehilangan karbon akibat pengambilan kayu bakar, ton C per tahun

$L_{\text{disturbances}}$: Kehilangan karbon akibat gangguan hama/penyakit, kebakaran, dan badai, ton C per tahun

Metode untuk menduga kehilangan karbon karena pemanen kayu ($L_{\text{wood-removal}}$) dapat diperoleh dari persamaan di bawah ini.

$$L_{\text{wood-removal}} = \{H \times BCEF_R (1 + R) \times CF\}$$

Di mana:

- $L_{\text{wood-removal}}$** : Kehilangan karbon akibat pemanen kayu, tonC per tahun
H : Pemanenan kayu tahunan, kayu bulat, m3per tahun
BCEFR : Faktor konversi biomassa dan ekspansi dari pengambilan kayu dalam volume kayu yang diperdagangkan terhadap total biomassa (termasuk kulit), ton biomassa per m3
R : Nisbah biomassa bawah permukaan dengan biomassa atas permukaan
CF : Fraksi karbon dalam berat kering, *ton C per ton berat kering*

Pengambilan kayu bakar (L_{fuelwood}) sering dihitung dari dua komponen. Pertama, pengambilan untuk kayu bakar dari pohon hidup dan bagian-bagian dari pohon seperti ranting dan cabang. Perkiraan kehilangan karbon akibat pengambilan kayu bakar dihitung dengan persamaan di bawah ini.

$$L_{\text{fuelwood}} = [\{FG_{\text{trees}} \times BCEF_R (1 + R)\} + FG_{\text{part}} \times D] \times CF$$

Di mana:

- L_{fuelwood}** : Kehilangan karbon akibat pengambilan kayu bakar, ton C per tahun
 FG_{trees} : Volume tahunan kayu bakar yang diambil dari seluruh pohon, m3 per tahun
 FG_{part} : Volume tahunan kayu bakar yang diambil dari bagian-bagian pohon, m3 per tahun
R : Nisbah biomassa bawah permukaan dengan biomassa atas permukaan
D : Berat jenis kayu, ton/m3
BCEFR : Faktor konversi biomassa dan ekspansi dari pengambilan kayu dalam volume kayu yang diperdagangkan terhadap total biomassa (termasuk kulit), ton biomassa per m3
CF : Fraksi karbon dalam **berat** kering, *ton C per ton berat kering*

Kehilangan biomassa dan karbon akibat gangguan ($L_{\text{disturbances}}$) pada kategori penggunaan lahan dapat diduga dengan persamaan berikut:

$$L_{\text{disturbances}} = \{A_{\text{disturbances}} \times BW (1 + R) \times CF \times fd\}$$

Di mana:

- $L_{\text{disturbances}}$** : Kehilangan karbon lainnya akibat gangguan hama/penyakit, kebakaran, dan badai, ton C per tahun
- $A_{\text{disturbances}}$** : Luas lahan yang mengalami gangguan, ha per tahun
- BW** : Rata-rata biomassa atas permukaan dari lahan yang mengalami gangguan, ton berat kering per ha
- R** : Nisbah biomassa bawah permukaan dengan biomassa atas permukaan
- fd** : Fraksi kehilangan biomassa
- CF** : Fraksi karbon dalam berat kering, ton C per ton berat kering

Lahan Dikonversi ke Penggunaan Lahan Lain

Emisi dan serapan CO₂ pada lahan yang dikonversi ke kategori penggunaan lahan lain termasuk dalam perubahan simpanan karbon biomassa di atas permukaan dan bawah permukaan. Perubahan simpanan karbon untuk masing-masing tampungan dapat diduga dengan menggunakan persamaan $\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L$, dimana ΔC_G adalah penambahan simpanan karbon, dan ΔC_L adalah kehilangan simpanan karbon. ΔC_B diperkirakan secara terpisah untuk setiap kategori penggunaan lahan (misalnya, Lahan Hutan, Lahan Pertanian, Padang Rumput).

Pendugaan perubahan simpanan karbon (ΔC_B) pada lahan yang dikonversi ke lahan hutan (**L-**

FL) dapat menggunakan cara perhitungan seperti diuraikan pada lahan yang kategorinya sama dengan kategori penggunaan lahan sebelumnya, sedangkan pada lahan yang dikonversi ke lahan pertanian (**L-CL**), ke padang rumput (**L-GL**), ke pemukiman (**L-SL**), dan ke penggunaan lahan lainnya (**L-OL**) dihitung sebagai penjumlahan dari penambahan simpanan karbon akibat pertumbuhan biomassa (ΔC_G), perubahan simpanan karbon akibat konversi (perbedaan antar stok biomassa sebelum dan sesudah konversi), dan penurunan simpanan karbon akibat kehilangan biomassa (ΔC_L). Hubungan ini dapat dinyatakan dengan persamaan di bawah ini:

$$\Delta C_B = (\Delta C_G + \Delta C_{\text{CONVERSION}} - \Delta C_L)$$

Di mana:

- ΔC_B** : Perubahan simpanan karbon tahunan dari biomassa (termasuk Karbon Biomassa di Atas dan di Bawah Permukaan), ton C per tahun
- ΔC_G** : Kenaikan simpanan karbon tahunan akibat pertumbuhan biomassa, ton C per tahun
- $\Delta C_{\text{CONVERSION}}$** : Perubahan simpanan karbon pada lahan dikonversi ke kategori penggunaan lahan lain, ton C per tahun
- ΔC_L** : Penurunan simpanan karbon tahunan akibat kehilangan biomassa, ton C per tahun

Persamaan ΔC_g dan ΔC_L sama dengan persamaan seperti diuraikan sebelumnya, yaitu pada lahan yang kategorinya sama dengan kategori penggunaan lahan sebelumnya. Sementara, perubahan simpanan karbon pada konversi lahan ($\Delta C_{\text{CONVERSION}}$) dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta C_{\text{CONVERSION}} = \{(B_{\text{AFTER}} - B_{\text{BEFORE}}) \times \Delta A_{\text{TO_OTHER}}\} \times CF$$

Di mana:

$\Delta C_{\text{CONVERSION}}$	: Perubahan simpanan karbon pada lahan dikonversi ke kategori penggunaan lahan lain, ton C per tahun
B_{AFTER}	: Simpanan biomassa dari penggunaan lahan sesudah konversi lahan, ton C berat kering per ha
B_{BEFORE}	: Simpanan biomassa dari penggunaan lahan sebelum konversi lahan, ton C berat kering per ha
$\Delta A_{\text{TO_OTHER}}$	: Luas dari konversi lahan, ha
CF	: Fraksi karbon dalam berat kering, <i>ton C per ton berat kering</i>

B. PERUBAHAN SIMPANAN KARBON PADA BAHAN ORGANIK MATI

Bahan organik mati terdiri dari kayu mati dan serasah. Pendugaan dinamika karbon dari tampungan bahan organik mati yang lepas ke atmosfer karena proses dekomposisi akan meningkat akurasi dalam pelaporan inventarisasi GRK. Meskipun dinamika karbon dari tampungan bahan organik mati sudah dipahami dengan baik, tetapi data nasional terkait dengan tampungan bahan organik mati dan dinamikanya sulit didapat atau tidak tersedia.

Lahan yang Tersisa dalam Kategori Penggunaan Lahan yang Sama

Untuk kategori ini metode *Tier 1* mengasumsikan bahwa tidak ada perubahan simpanan karbon pada kayu mati dan serasah dari waktu ke waktu. Dengan kata lain, karbon dalam biomassa yang mati akibat adanya gangguan atau pengelolaan (pengambilan sedikit dari produk kayu yang dipanen) diasumsikan akan dilepas sepenuhnya ke atmosfer pada tahun kejadian.

Lahan Dikonversi ke Penggunaan Lahan Lain

Perubahan simpanan karbon pada bahan organik mati terjadi pada kategori konversi lahan hutan menjadi penggunaan lahan lain. Semua perubahan simpanan karbon dan emisi gas non-CO₂ pada kategori ini dalam kategori ini dilaporkan pada penggunaan lahan baru atau terakhir. Sebagai contoh, konversi Lahan Hutan (**FL**) menjadi lahan pertanian, kedua perubahan simpanan karbon yang terkait dengan pembukaan hutan serta setiap perubahan simpanan karbon berikutnya sebagai hasil dari konversi dilaporkan pada kategori Lahan Pertanian (**CL**). Beberapa asumsi yang diambil pada kategori di atas untuk *Tier 1* adalah sebagai berikut:

- Tumpungan biomassa mati pada kategori Bukan Lahan Hutan setelah konversi adalah Nol.
- Kehilangan karbon dari biomassa mati terjadi pada tahun dimana konversi penggunaan lahan terjadi.
- Penambahan karbon biomassa mati pada lahan yang dikonversi menjadi lahan hutan terjadi secara linier, mulai dari nol, selama periode transisi (asumsi *default* adalah 20 tahun).

Untuk memperkirakan perubahan simpanan karbon pada kayu mati dan serasah adalah dengan menghitung perbedaan stok C pada kategori penggunaan lahan lama dan baru dan membaginya dengan periode transisi 20 tahun seperti terformulasikan pada persamaan di bawah:

$$\Delta C_{DOM} = [(C_n - C_o) \cdot A_{on}] / T_{on}$$

Di mana

- CDOM** : Perubahan tahunan dalam stok karbon pada kayu mati atau serasah, ton C per tahun
Co : Stok kayu mati/serasah pada kategori penggunaan lahan lama, ton C per ha
Cn : Stok kayu mati/serasah pada kategori penggunaan lahan baru, ton C per ha
Aon : Luas lahan yang mengalami konversi dari kategori penggunaan lahan lama ke baru, ha
Ton : Periode waktu transisi dari kategori penggunaan lahan lama ke baru, tahun (*default* 20 tahun)

C. PERUBAHAN SIMPANAN KARBON DALAM TANAH

Bentuk C organik dan anorganik ditemukan di tanah mineral dan organik. Penggunaan dan pengelolaan lahan biasanya memiliki dampak yang lebih besar pada simpanan C organik. Secara keseluruhan, pengaruh penggunaan dan pengelolaan lahan terhadap C organik tanah sangat berbeda dalam mineral dibandingkan dengan jenis tanah organik.

Persamaan untuk memperkirakan perubahan simpanan karbon tanah total diberikan dalam persamaan di bawah ini.

$$\Delta C_{\text{Soils}} = (\Delta C_{\text{Mineral}} + L_{\text{Organic}} - \Delta C_{\text{Inorganic}})$$

Di mana:

- ΔC_{Soils}** : Perubahan tahunan dari simpanan karbon dalam tanah, ton C per tahun
- $\Delta C_{\text{Minerals}}$** : Perubahan tahunan dari simpanan karbon dalam tanah mineral, ton C per tahun
- L_{Organic}** : Kehilangan karbon dari drainase tanah organik, ton C per tahun
- $\Delta C_{\text{Inorganic}}$** : Perubahan tahunan dari simpanan karbon inorganik dari tanah, *ton C per tahun* (diasumsikan 0 kecuali menggunakan pendekatan *Tier 3*)

Simpanan karbon organik tanah dalam tanah mineral diperkirakan dari perbedaan stok karbon organik tahun pertama (SOC_{0-T}) dan terakhir (SOC_0), yang dihitung berdasarkan perkalian stok referensi karbon dengan faktor-faktor perubahan stok, seperti diberikan pada persamaan berikut.

$$\Delta C_{\text{Mineral}} = (\text{SOC}_0 - \text{SOC}_{(0-T)})/D$$

$$\text{SOC} = \text{SOC}_{\text{REF}} \times F_{\text{LU}} \times F_{\text{MG}} \times F_{\text{IX}} \times A$$

Di mana:

- $\Delta C_{\text{Minerals}}$** : Perubahan tahunan dari simpanan karbon dalam tanah mineral, ton C per tahun
- SOC_0** : Stok karbon organik tanah pada tahun terakhir pada suatu periode waktu inventori, ton C per tahun
- $\text{SOC}(0-T)$** : Stok karbon organik tanah pada tahun awal pada suatu periode waktu inventori, ton C per tahun
- D** : Periode waktu transisi dari $\text{SOC}(0-T)$ ke SOC_0 , tahun. Nilai *default* adalah 20 tahun.
- SOC_{REF}** : Stok karbon referensi, ton C per tahun
- F_{LU}** : Faktor perubahan simpanan karbon untuk sistem penggunaan lahan atau sub-sistem untuk suatu penggunaan lahan tertentu
- F_{MG}** : Faktor perubahan simpanan karbon untuk regim pengelolaan
- F_{I}** : Faktor perubahan simpanan karbon untuk input bahan organik
- A** : Luas lahan pada semua strata, *ha*

Sementara, emisi karbon dari tanah organik diperkirakan dengan persamaan berikut:

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

Di mana:

LOrganics : Kehilangan karbon dari drainase tanah organik, ton C per tahun

A : Luas lahan dari tanah organik yang didrainase, ha

EF : Faktor emisi, *ton C per (ha tahun)*

4.3.2.4. Emisi Non-CO₂

Emisi gas rumah kaca dari Non-CO₂ dari pembakaran biomassa cukup signifikan. Kebakaran tidak hanya mengemisikan CO₂, tetapi juga gas rumah kaca lainnya, yang berasal dari pembakaran tidak sempurna dari bahan bakar. Emisi dari gas Non-CO₂ diperkirakan untuk semua situasi kebakaran yang terjadi di Lahan Hutan (**FL**), Lahan Pertanian (**CL**) dan Padang Rumput (**GL**) termasuk yang dihasilkan dari kebakaran tidak terkendali (*wild fire*) seperti kebakaran di lahan gambut.

Metodologi umum untuk memperkirakan emisi dari gas rumah kaca individual untuk semua tipe kebakaran disajikan pada persamaan di bawah ini.

$$L_{Fire} = A \times M_b \times Cf \times G_{ef} \times 10^{-3}$$

Di mana:

LFire : Jumlah emisi GRK dari api, ton C untuk setiap GHK (misalnya CH₄, NO₂, dsb.)

A : Luas lahan yang terbakar

Mb : Berat bahan bakar yang tersedia untuk pembakaran, ton per ha. Ini termasuk biomassa, serasah dan kayu mati. Jika Tier 1 yang digunakan, tampungan serasah dan kayu mati diasumsikan nol, kecuali bila ada perubahan penggunaan lahan.

Cf : Faktor pembakaran

Gef : Faktor emisi, *g per kg bahan kering*

4.3.3. PERTANIAN (3.C)

Istilah emisi GRK dari sektor pertanian sesungguhnya adalah emisi sumber-sumber agregat dan non-CO₂ bagian dari AFOLU.

Kategori dari sumber emisi ini adalah: (i) Non-CO₂ dari pembakaran biomas (3.C.1); (ii) Emisi CO₂ karena penambahan kapur pertanian (3.C.2) dan pupuk urea (3.C.3); (iii) Emisi N₂O langsung (3.C.4) dan tidak langsung (3.C.5) dari tanah yang dikelola, dan; (iv) Emisi CH₄ dari budidaya padi sawah (3.C.7).

Untuk menghitung emisi dari sektor pertanian perlu disiapkan data aktivitas seperti luas lahan pertanian yang dibakar, jumlah penggunaan kapur pertanian dan urea, jumlah penggunaan pupuk anorganik dan organik yang mengandung N (nitrogen), dan luas panen padi sawah. Data aktivitas tersebut bisa diperoleh dari berbagai sumber misalnya publikasi BPS.

4.3.3.1. Emisi Non CO₂ dari Pembakaran Biomassa

Emisi dari kebakaran tidak hanya mencakup gas CO₂, tetapi juga GRK lain, karena pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna, termasuk karbon monoksida (CO), metana (CH₄), senyawa organik volatil non-metana (NMVOC) dan nitrogen (misalnya, N₂O, NO_x). Emisi Non-CO₂ dari biomas yang mungkin dibakar di sektor pertanian dibedakan dari pembakaran biomassa pada lahan pertanian (*cropland*) dan pembakaran biomassa dari padang rumput (*grass land*). Kedua sumber emisi ini dihitung secara terpisah.

Emisi Non CO₂ dari Pembakaran Biomassa pada Lahan Pertanian

Emisi Non-CO₂ dari biomas yang dibakar (terutama CH₄, CO, NO_x and N₂O) umumnya berkaitan dengan sisa pertanian (jerami padi, tebu, dll) yang dibakar. Emisi CO₂ dari biomas yang dibakar tidak dihitung karena karbon yang dilepaskan selama proses pembakaran diasumsikan akan diserap kembali oleh tanaman pada musim berikutnya. Persentase sisa tanaman yang dibakar yang disebut sebagai massa

bahan bakar yang tersedia, dihitung dengan terlebih mengurangi dengan fraksi tanaman yang digunakan sebagai pakan ternak, kompos, membusuk di lahan, atau digunakan oleh sektor lain (misalnya untuk *biofuel*, pakan ternak domestik, bahan bangunan, dll) untuk menghindari kemungkinan *double counting*. Persamaan untuk menghitung emisi non-CO₂ dari biomassa yang dibakar adalah :

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

Di mana:

L_{fire} : Jumlah emisi GRK dari pembakaran , ton CH₄, N₂O, CO dan NO_x.

A : Luas area yang dibakar, ha

MB : 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

Luas lahan pertanian yang dibakar (**A**) tidak tersedia dalam data statistik pertanian (BPS), meskipun di lapangan masyarakat biasa membakar sisa biomassa padi sawah di lahan dari 10% sampai 70% tergantung lokasi, sedangkan luas tanam atau luas panen sawah tercatat dalam data BPS. Untuk itu perlu dikembangkan asumsi berapa % lahan yang dibakar dan perlu

dikonsultasikan dengan Dinas Pertanian atau PPL setempat.

Jika data **MB** and **Cf** tidak tersedia nilai *default* dari jumlah bahan bakar yang dibakar untuk beberapa sisa pertanian dapat dilihat pada **Tabel 4.37**, sedangkan *default* faktor emisi menurut IPCC disajikan pada **Tabel 4.38**.

Tabel 4.37. | Nilai Konsumsi Bahan Bakar Biomas/Bahan Organik Mati dan Biomas Hidup (Ton Bahan Kering/Ha) untuk Menduga $Mb \cdot Cf$ dari Pembakaran Sisa Pertanian

SUB KATEGORI	RATA-RATA (TON/HA)	CATATAN
Residu gandum	4.0	Hanya pembakaran pada permukaan
Residu jagung	10.0	
Jerami padi	5.5	
Tebu*	6.5	
		*Untuk tebu merupakan nilai sebelum tanaman dipanen

Tabel 4.38. | Faktor Emisi Dari Pembakaran Berbagai Jenis Ekosistem (g/kg bahan kering yang dibakar)

KATEGORI	CO ₂	CO	CH ₄	N ₂ O	NO _x
Sabana dan padang rumput	1613± 95	65±20	2.3±0.9	0.21±0.10	3.9±2.4
Residu pertanian	1515±177	92±84	2.7	0.07	2.5±1.0
Hutan tropis	1580±90	104±1.4	6.8±2.0	0.20	1.6±0.7
Hutan extra tropis	1569± 31	107±37	4.7±1.9	0.26±1.9	3.0±1.4
Bahan bakar nabati	1550 ±95	78± 31	6.1±2.2	0.06	1.1±0.6

Emisi non CO₂ dari Pembakaran Biomassa pada Padang Rumput

Emisi Non-CO₂ dari pembakaran biomas padang rumput diduga dari pertanian ladang berpindah. Sistem perladangan berpindah masih banyak ditemukan di luar pulau Jawa dan biasanya untuk membuka lahan dilakukan dengan membakar lahan yang ditumbuhi rumput atau belukar. Persamaan untuk menghitung emisi sama dengan persamaan untuk menghitung emisi Non-CO₂ dari pembakaran biomas pada lahan pertanian.

4.3.3.2. Emisi Karbon Dioksida (CO₂) dari Pengapuran Tanah Pertanian (3.C.2)

Panambahan kapur pertanian (pengapuran) bertujuan untuk mengurangi kemasaman tanah dan meningkatkan pertumbuhan tanaman khususnya pada lahan pertanian. Penambahan karbonat ke tanah dalam bentuk kapur, misalnya batu kapur [CaCO₃] atau dolomit [CaMg (CO₃)₂], menyebabkan emisi CO₂ karena kapur karbonat larut dan melepaskan bikarbonat (2HCO₃⁻), yang selanjutnya menjadi CO₂ dan air (H₂O).

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

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

Di mana:

CO₂-Emission : Emisi C tahunan dari aplikasi pengapuran, ton C per tahun

M : Jumlah atau berat dari kapur *limestones* (CaCO₃) dan dolomit (CaMg (CO₃)₂) yang diaplikasikan, ton per tahun

EF : Faktor emisi, ton C per (*limestones* atau dolomit). *Default IPCC (Tier 1)* faktor emisi untuk *limestone* adalah 0.12 dan 0.13 untuk dolomit.

Kapur pertanian (dolomit) umumnya digunakan pada perkebunan kelapa sawit, lahan kering masam dan tanah gambut. Data konsumsi kapur tidak tersedia, sehingga konsumsi kapur diduga dari luas areal tanam dan dosis rekomendasi yang digunakan. Dosis Dolomit yang biasa digunakan pada tanah sulfat masam adalah 2 ton/ha dan pada tanah gambut 0.5 ton/ha dan biasanya

diberikan 2 kali setahun pada musim hujan dan musim kemarau.

Data konsumsi kapur pertanian biasa tidak tersedia, dan bisa diduga dari luas lahan pertanian yang menggunakan kapur pertanian dan mengalikannya dengan dosis kapur pertanian.

4.3.3.3. Emisi Karbon Dioksida (CO₂) dari Penggunaan Pupuk Urea (3.C.2)

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

Emisi CO₂ dari penggunaan pupuk Urea dihitung dengan persamaan berikut.

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

Di mana:

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

M_{Urea} : Jumlah pupuk Urea yang diaplikasikan, ton per tahun

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

Jumlah pupuk urea yang digunakan dapat dihitung melalui dua pendekatan, yaitu berdasarkan data konsumsi urea nasional untuk sektor pertanian yang dikeluarkan oleh kementan (pupuk subsidi) atau APPI atau berdasarkan luas tanam dan dosis rekomendasi. Pupuk urea umumnya digunakan dalam budidaya tanaman pangan, hortikultura dan perkebunan. Jumlah

penggunaan pupuk urea untuk Kabupaten dan Kota dapat menggunakan jumlah pupuk subsidi yang biasanya ada di Dinas Pertanian atau Dinas Ketahanan Pangan. Jumlah ini perlu ditambah dengan penggunaan pupuk urea di perkebunan besar seperti sawit jika dalam wilayah kabupaten dan kota terdapat perkebunan sawit besar.

4.3.3.4. Emisi Nitrogen Oksida (N₂O) dari Tanah yang Dikelola

Secara alami nitrogen oksida (N₂O) dihasilkan dalam tanah melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi dari N. Nitrifikasi adalah proses oksidasi senyawa amonium oleh mikroba aerobik menjadi nitrit dan selanjutnya ion nitrit menjadi nitrat. Sementara, denitrifikasi adalah proses reduksi nitrat oleh mikroba anaerob menjadi gas nitrogen (N₂). Nitrogen oksida adalah gas antara hasil dari reaksi denitrifikasi dan dari reaksi nitrifikasi yang lepas dari sel-sel mikroba ke dalam tanah dan akhirnya ke atmosfer. Salah satu faktor pengendali utama dalam reaksi ini adalah ketersediaan N anorganik dan organik dalam tanah.

Emisi N₂O juga dihasilkan dari penambahan N antropogenik ke dalam tanah yang bisa berasal dari pupuk sintetis atau organik, deposit kotoran ternak, sisa tanaman, limbah lumpur; atau mineralisasi N dalam bahan organik tanah melalui drainase/pengelolaan tanah organik. Emisi dapat terjadi secara: (i). Langsung dari tanah yang ditambahkan N dan (ii). Tidak langsung melalui (a). Volatisasi sebagai NH₃ dan NO_x yang selanjutnya gas-gas ini berserta produknya, NH₄⁺ dan NO₃⁻, diredeposisi ke tanah dan air; dan (b). Melalui pencucian dan limpasan.

A. Emisi N₂O langsung (3.C.4)

Jumlah N-tersedia melalui penambahan pupuk yang mengandung N atau perubahan penggunaan lahan dan atau praktek-praktek pengelolaan yang menyebabkan mineralisasi N organik tanah menentukan besar kecilnya emisi N₂O langsung dari tanah-tanah yang dikelola. Persamaan untuk menduga emisi N₂O langsung dari tanah yang dikelola adalah sebagai berikut:

$$N_2O_{Direct} = N_2O-N_{N input} + N_2O-N_{OS} + N_2O-N_{PRP}$$

Di mana:

N₂O-NN input	: {(FSN + FON + FCR + FSOM) x EF1} + {(FSN + FON + FCR + FSOM) x EF11FR}
N₂O-NOS	: {(FOS,CG,Temp x EF2CG,Temp) + (FOS,CG,Trop x EF2CG,Trop) + (FOS,F,Temp,NR x EF2F,Temp,NR) + (FOS,CG,Temp,NP x EF2F,Temp,NP) + (FOS,F,Trop x EF2F,Trop)}
N₂O-NPRP	: [(FPRP,CPP x EF3PRP,CPP) + (FPRP,SO x EF3PRP,SO)]

N2O-Direct	: Emisi tahunan N2O langsung dari tanah yang dikelola, kg N2O-N per tahun
N2O-N N input	: Emisi tahunan N2O langsung dari input N ke tanah yang dikelola, kg N2O-N per tahun
N2O-N OS	: Emisi tahunan N2O langsung dari pengelolaan tanah organik, kg N2O-N per tahun
N2O-N PRP	: Emisi tahunan N2O langsung dari <i>input</i> urin atau kotoran ternak ke padang rumput atau penggembalaan, 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
FCR	: Jumlah tahunan dari sisa tanaman (di atas tanah dan di bawah tanah), termasuk tanaman yang memfiksasi N dan dari pembaharuan hijauan atau padang rumput, kg N per tahun
FSOM	: Jumlah tahunan dari N pada tanah yang dimineralisasi, yang berhubungan dengan hilangnya bahan organik tanah akibat perubahan penggunaan lahan atau pengelolaan tanah mineral, kg N per tahun.
FPRP	: Jumlah tahunan dari input urin dan kotoran N yang dideposit di padang rumput atau padang penggembalaan, kg N per tahun (CPP: Sapi, Unggas, dan Babi, dan SO: domba, dan ternak lain)
FOS	: Luas dari tanah organik yang dikelola/didrainase, ha (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>])
EF1	: Faktor emisi untuk emisi N2O dari input N untuk lahan kering, kg N2O-N per (kg N input)
EF1FR	: Faktor emisi untuk emisi N2O dari input N untuk sawah irigasi, kg N2O-N per (kg N input)
EF2CG,F,Temp, Trop,R,P	: Faktor emisi untuk emisi N2O dari tanah organik yang dikelola/didrainase input N untuk sawah irigasi, kg N2O-N per (ha tahun); (CG, F, Temp, Trop, R dan P adalah kependekakan dari <i>crop land</i> dan <i>grass land</i> , <i>forest land</i> , <i>temperate</i> , <i>tropical</i> , kaya hara (<i>nutrient rich</i>), dan miskin hara (<i>nutrient poor</i>))
EF3PRP	: Faktor emisi untuk emisi N2O dari urin dan kotoran N yang dideposit di padang rumput atau padang penggembalaan, kg N2O-N per (kg N input); (CPP: sapi, unggas, dan babi, dan SO: domba, dan ternak lain)

Data aktivitas yang diperlukan untuk menghitung emisi N2O langsung adalah jumlah penggunaan pupuk yang mengandung N (F_{SN}) seperti urea, ZA atau NPK). Ketiga pupuk sintetis ini tergolong pupuk bersubsidi dan jumlah penggunaannya di kabupaten/kota tercatat di Dinas Pertanian atau Dinas Ketahanan Pangan. Sementara, jumlah pupuk kandang, kompos, urin dan kotoran ternak, dan N organik lainnya yang diaplikasikan ke tanah tidak tersedia datanya, kecuali bagian dari program pmda seperti bantuan pupuk

organik atau pertanian organik. Jika masyarakat rutin menggunakan pupuk organik untuk lahan pertaniannya, maka jumlah penggunaannya dapat diduga dengan mengetahui luas lahan pertanian yang menggunakan pupuk organik dikali dengan dosis pupuk organik.

Faktor-faktor emisi menduga emisi N₂O langsung dari tanah yang dikelola dapat menggunakan default faktor emisi IPCC yang tersedia dalam **Refinement 2019** seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.39. | Default Faktor Emisi untuk Menghitung Emisi N₂O Langsung

FAKTOR EMISI	AGREGAT		DISAGREGAT		RENTANG KETIDAKPASTIAN
	Nilai Default	Rentang Ketidakpastian	Disagregat	Nilai Default	
EF1 untuk N penambahan pupuk sintetis, amandemen organik dan sisa tanaman, Mineralisasi N dari tanah mineral sebagai akibat dari hilangnya karbon tanah ¹ [kg N ₂ O-N (kg N)-1]	0.01	0.01 - 0.018	Pupuk sintetis pada iklim basah	0.016	0.013 - 0.019
			N lainnya pada Iklim basah	0.006	0.001 - 0.011
			Semua yang mengandung N pada iklim kering	0.005	0.000-0.011
EF1FR Untuk sawah tergenang ^{2,7} [kg N ₂ O-N (kgN)-1]	0.004	0.00 - 0.29	Banjir terus menerus	0.003	0.000 - 0.010
			Drainase tunggal dan ganda	0.005	0.000 - 0.016
EF3PRP, CPP ternak (sapi perah, non perah dan kerbau) <i>poultry</i> and Babi ³ [kg N ₂ O-N (kgN)-1]	0.004	0.00 - 0.014	Iklim Basah	0.006	0.000 - 0.026
			Iklim Kering	0.002	0.000 - 0.006
EF3PRP, untuk domba dan hewan lainnya ³ [kg N ₂ O-N (kgN)-1]	0.003	0.000 - 0.010	-	-	-

B. EMISI N₂O TIDAK LANGSUNG (3.C.5)

Aplikasi N ke tanah yang dikelola juga menghasilkan emisi N₂O secara tidak langsung, yang diduga melalui persamaan berikut:

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

Di mana:

N₂O-Indirect	: Emisi tahunan N ₂ O langsung dari tanah yang dikelola, kg N ₂ O-N per tahun
N₂O(ATD)-N	: [(FSN x FracGASF) + ((FON + FPRP) x FracGASM)] x EF4
N₂O(L)-N	: (FSN + FON + FPRP + FCR + FSOM) x FracLEACH-(H) x EF5
N₂O(ATD)-N	: Jumlah tahunan N ₂ O-N yang dihasilkan volatilisasi N ke atmosfer dari tanah yang dikelola, kg N ₂ O-N per tahun
FSN	: Jumlah tahunan pupuk N sintetis yang diberikan ke tanah, kg N per tahun
FracGASF	: Fraksi pupuk N sintetis yang bervolatilisasi sebagai NH ₃ dan NO _x , kg N tervolatilisasi per kg N yang digunakan
FON	: Jumlah tahunan pupuk kandang, kompos, urin dan kotoran, dan bahan organik lain yang diaplikasikan ke tanah, kg N per tahun
FPRP	: Jumlah tahunan urin dan kotoran ternak yang dideposit di padang rumput atau padang penggembalaan, kg N per tahun
FracGASM	: Fraksi pupuk organik N (FON) dan urin dan kotoran ternak yang dideposit ternak (FPRP) yang tervolatilisasi sebagai NH ₃ and NO _x , kg N tervolatilisasi per kg of N yang diaplikasikan atau dideposit
EF4	: Faktor emisi N ₂ O dari deposit N pada tanah dan permukaan air, [kg N-N ₂ O per (kg NH ₃ -N + NO _x -N volatilised)]
FCR	: Jumlah tahunan dari sisa tanaman(di atas tanah dan di bawahan), termasuk tanamanyang memfiksasi N dan dari pembaharuan hijauan atau padang rumput, kg N per tahun
FSOM	: Jumlah tahunan dari N pada tanah yang dimineralisasi, yang berhubungan dengan hilangnya bahan organik tanah akibat perubahan penggunaan lahan atau pengelolaan tanah mineral, kg N per tahun.
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, kg N per kg of N yang ditambahkan
EF5	: Faktor emisi untuk emisi N ₂ O dari deposit N di atmosfer akibat pencucian dan aliran permukaan N, kg N ₂ O-N

Data aktivitas yang digunakan untuk memperkirakan emisi N₂O tidak langsung sama dengan emisi N₂O langsung. Jika data aktivitas untuk emisi N₂O langsung tersedia, maka dapat digunakan untuk menghitung emisi N₂O tidak langsung.

Faktor-faktor emisi menduga emisi N₂O tidak langsung dari tanah yang dikelola dapat menggunakan default faktor emisi IPCC seperti disajikan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.40. | Default Emisi, Faktor Volatilisasi, dan Pencucian untuk Emisi N₂O Tidak Langsung dari Tanah

FAKTOR EMISI	AGREGAT		DISAGREGAT		
	Nilai Default	Rentang Ketidakpastian	Disagregat	Nilai Default	Rentang Ketidakpastian
EF4 [<i>N volatilisation and redeposition</i>], kg N ₂ O-N (<i>kg NH₃ - N + Nox-N volatilised</i>)	0.01	0.02 - 0.018	Iklim Basah	0.014	0.011 - 0.017
			Iklim Kering	0.005	0.00 - 0.011
EF5 [<i>leaching/runoff</i>], kg N ₂ O-N (<i>kg N leaching/runoff</i>)	0.011	0.00 - 0.02	-	-	-
FracGASF [<i>Volatilisation from synthetic fertiliser</i>], (<i>kg NH₃-N + Nox-N</i>) (<i>kg N applied</i>)	0.11	0.02 - 0.33	Urea	0.15	0.03 - 0.43
			<i>Ammonium-based</i>	0.08	0.02 - 0.3
			<i>Nitrate - based</i>	0.01	0.00 -0.02
			<i>Ammonium-Nitrate-Based</i>	0.05	0.00 - 0.2
FracGASF [<i>Volatilisation from all organic N fertilisers applied, and dung and urine deposited by grazing animals</i>], (<i>kg NH₃-N + Nox-N</i>) (<i>kg N applied or deposited</i>)	0.21	0.00 - 0.31	-	-	-
FracLEACH (H)[<i>N losses by leaching/runoff in wet climates</i>], kg N (<i>kg N additions or deposition by grazing animals</i>)	0.24	0.01 - 0.73	-	-	-

4.3.3.5. Emisi Metana dari Pengelolaan Padi Sawah

Dekomposisi bahan organik secara anaerobik pada lahan sawah yang tergenang mengemisikan gas metana (CH₄) ke atmosfer. Jumlah CH₄ yang diemisikan tergantung pada penanaman padi, jumlah dan lamanya tanaman ditanam, jenis dan suhu tanah, praktik pengelolaan air, dan

penggunaan pupuk serta amandemen organik dan anorganik lainnya.

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

$$CH_{4\text{ Rice}} = \sum_{ijk} (EF_{i,j,k} \times t_{i,j,k} \times A_{i,j,k} \times 10^{-6})$$

Di mana:

- CH₄Rice** : Emisi metan dari budidaya padi sawah, Gg CH₄ per tahun
EF_{i,j,k} : Faktor emisi harian untuk kondisi i, j, dan k; kg CH₄ per hari
t_{i,j,k} : Lama budidaya padi sawah untuk kondisi I, j, dan k; hari
A_{i,j,k} : Luas panen padi sawah untuk kondisi I, j, dan k; ha per tahun

- **i, j, dan k** mewakili ekosistem berbeda; **i**: rezim air; **j**: jenis dan jumlah pengembalian bahan organik tanah; dan **k**: kondisi lain di mana emisi CH₄ dari padi sawah dapat bervariasi.
- Data aktivitas yang digunakan untuk menghitung emisi metana dari padi sawah adalah total luas panen dalam 1 tahun, dan varietas padi yang digunakan. Data luas panen dapat diperoleh pada publikasi BPS Kabupaten atau Kota dalam Angka, sedangkan varietas padi dapat dikonsultasikan pada Dinas Pertanian atau Dinas Ketahanan Pangan.

Pengelolaan air di sawah secara umum dapat dibedakan menjadi tiga rejim air yaitu sawah

irigasi (teknis, setengah teknis dan sederhana), sawah tadah hujan, dan sawah dataran tinggi. Ketiga rezim air ini mempengaruhi emisi CH₄. Selain itu, emisi CH₄ juga ditentukan oleh pengembalian bahan organik dan varietas serta jenis tanah. Oleh karena itu, faktor emisi untuk masing-masing sub-unit (ekosistem) berbeda-beda nilainya tergantung dari kondisi rezim air (**i**), jenis dan jumlah pengembalian bahan organik tanah (**j**), dan varietas serta jenis tanah (**k**). Penyesuaian faktor emisi dilakukan dengan mengalikan faktor emisi baseline (*Tier 1*) dengan faktor skala. Persamaan untuk mengoreksi faktor emisi *baseline* ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$EF_i = (EF_c \times SF_w \times SF_p \times SF_o)$$

Di mana:

- EF_i** : Faktor emisi harian yang terkoreksi untuk luas panen tertentu, kg CH₄ per hari
EF_c : Faktor emisi baseline untuk padi sawah dengan irigasi terus-menerus dan tanpa pengembalian bahan organik.
SF_w : Faktor skala yang menjelaskan perbedaan rejim air selama periode budidaya
SF_p : Faktor skala yang menjelaskan perbedaan rejim air sebelum periode budidaya
SF_o : Faktor skala yang menjelaskan jenis dan jumlah pengembalian bahan organik yang diterapkan pada periode budidaya padi sawah

Tier 2 menerapkan pendekatan metodologi yang sama dengan Tingkat 1, tetapi faktor emisi spesifik negara dan/atau faktor penskalaan harus digunakan pada persamaan di atas ditambah dengan faktor skala jenis tanah (SF_s) dan faktor skala varietas padi sawah (SF_p), sehingga persamaan di atas dapat ditulis sebagai berikut:

$$EF_i = (EF_c \times SF_w \times SF_p \times SF_o \times SF_s \times SFr)$$

Faktor emisi harian CH₄ dan lama budidaya padi sawah untuk *Tier 1* dapat menggunakan nilai-nilai seperti ada pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.41. | Faktor Emisi Harian CH₄ *Default*

FAKTOR EMISI BASELINE CH ₄ <i>DEFAULT</i> , DENGAN ASUMSI TIDAK ADA BANJIR SELAMA KURANG DARI 180 HARI SEBELUM PENANAMAN PADI, DAN BANJIR TERUS MENERUS SELAMA PENANAMAN PADI TANPA PENAMBAHAN ORGANIK				
DUNIA		REGIONAL		
Faktor Emisi	Rentang Kesalahan	Region	Faktor Emisi (kg CH ₄ ha ⁻¹ d ⁻¹)	Rentang Kesalahan
(kg CH4 ha-1 d-1)	Rentang Kesalahan	Region	Faktor Emisi	0.80 – 1.76
		(kg CH4 ha-1 d-1)	Rentang Kesalahan	0.89 - 1.96
		Asia Tenggara	1.22	0.83 - 1.81
		Asia Selatan	0.85	0.58 - 1.26
		Eropa	1.56	1.06 - 2.31
		Amerika Utara	0.65	0.44 - 0.96
		Amerika Selatan	1.27	0.86 – 1.88
Catatan: Faktor emisi dan rentang kesalahan diperkirakan berdasarkan selang kepercayaan 95%, menggunakan model statistikdengan database terbaru; Lihat Annex 5A 2 untuk Informasi lebih lanjut				
¹ Untuk Afrika, menggunakan perkiraan global karena kurangnnya data				

Tabel 4.42. | Default Lama Budidaya Padi Sawah

DEFAULT LAMA BUDIDAYA PADI SAWAH				
DUNIA		REGIONAL		
Periode Penanaman (day)	Rentang Kesalahan (day)	Region	Periode Penanaman (day)	Rentang Kesalahan (day)
113	74 – 152	Afrika ¹	113	74 – 152
		Asia Timur	112	73 - 147
		Asia Tenggara	102	78 - 150
		Asia Selatan	112	90 – 140
		Eropa	123	111 – 153
		Amerika Utara	139	110 – 165
		Amerika Selatan	124	110 – 146
Catatan: Periode penanaman telah dikalkulasi dari database terbaru, dan rentang kesalahan atau <i>uncertainty</i> didasarkan pada percentile ke 2.5 ke percentile 97.5 dari rasio distribusi; Lihat Annex 5A 2 untuk Informasi lebih lanjut				
¹ Untuk Afrika, menggunakan perkiraan global karena kurangnya data				

Faktor skala untuk rejim air selama periode budidaya dan sebelum budidaya padi sawah disajikan pada di bawah ini.

Tabel 4.43. | Faktor Skala yang Menjelaskan Perbedaan Rejim Air Selama Periode Budidaya

REJIM AIR Faktor Skala (SFw)		AGGREGATED CASE		DISAGGREGATED CASE	
		Rentang Kesalahan	Faktor Skala (SFw)	Rentang Kesalahan	
Dataran Tinggi ^a		0	-	0	-
Irigasi ^b	Banjir terus menerus	0.60	0.44 – 0.78	1.00	0.73 – 1.27
	Periode drainase tunggal			0.71	0.53 – 0.94
	Periode drainase ganda			0.55	0.41 – 0.72
Tadah hujan dan perairan dalam	Tadah hujan regular	0.45	0.32 – 0.62	0.54	0.39 – 0.74
	Rentan kekeringan			0.16	0.11 – 0.24
	Air dalam	0.06	0.03 – 0.12	0.06	0.03 – 0.12
Catatan: Periode penanaman telah dikalkulasi dari database terbaru, dan rentang kesalahan atau <i>uncertainty</i> didasarkan pada percentile ke 2.5 ke percentile 97.5 dari rasio distribusi; Lihat Annex 5A 2 untuk Informasi lebih lanjut					
¹ Untuk Afrika, menggunakan perkiraan global karena kurangnya data					

Tabel 4.44. | Faktor Skala yang Menjelaskan Perbedaan Rezim Air Sebelum Periode Budi Daya

REZIM AIR SEBELUM PENANAMAN PADI	AGGREGATED CASE		DISAGGREGATED CASE	
	Faktor Skala (SFw)	Rentang Kesalahan	Faktor Skala (SFw)	Rentang Kesalahan
Pra musim bebas banjir < 180 hari	1.22	1.08 – 1.37	1.00	0.88 – 1.12
Pra musim bebas banjir >180 hari			0.89	0.80 – 0.99
Pra musim banjir (> 30 hari) ^{a,b}			2.41	2.13 – 2.73
Pra musim bebas banjir >365 hari			0.59	0.41 – 0.84

Faktor skala untuk penggunaan bahan organik dihitung berdasarkan jumlah bahan organik yang diberikan dalam periode budi daya dengan persamaan berikut:

$$SF_o = (1 + ROA_i \cdot CFOA_i)^{0.59}$$

Di mana:

SFo : Faktor skala untuk jenis bahan organik yang digunakan

ROAi : Jumlah bahan organik yang digunakan, dalam berat kering atau berat segar, ton/ha

CFOAi : Faktor konversi bahan organik

Faktor konversi bahan organik dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.45. | Faktor Konversi Bahan Organik

BAHAN ORGANIK	FAKTOR KONVERSI (CFOA)	RENTANG KESALAHAN
Jerami ditanamkan di awal/segera "<30 hari" sebelum penanaman	1.00	0.85 – 1.17
Jerami ditanamkan dalam jangka waktu panjang ">30 hari" sebelum penanaman	0.19	0.11 – 0.28
Kompos	0.17	0.09 – 0.29
Pupuk Kandang	0.21	0.15 – 0.28
Pupuk Hijau	0.45	0.36 – 0.57
Sumber : Faktor konversi dan rentang kesalahan (berdasarkan selang kepercayaan 95%,) ditentukan menggunakan model statistik dan database yang diperbarui ; Lihat Annex 5A.2 untuk informasi lebih lanjut		
* Mengaplikasikan jerami berarti jerami dimasukkan ke dalam tanah, tidak termasuk kasus dimana jerami hanya diletakkan di permukaan tanah dan jerami yang dibakar di lahan		

4.4. LIMBAH



Pemerintah Kota/Kabupaten melaporkan semua emisi GRK dari pembuangan dan pengolahan limbah, termasuk limbah padat dan limbah cair dari sumber domestik dan industri, yang dihasilkan dalam batas kota, dan dipilah menurut sub-sektor dalam **Tabel 4.46**.

Tabel 4.46. | Sumber dan Deskripsi Emisi GRK Sektor Limbah

KODE KATEGORI (IPCC 2006)	DESKRIPSI SUMBER EMISI
4A1: Penimbunan limbah padat yang terkelola 4A2: Penimbunan limbah padat yang tidak terkelola	Emisi CH ₄ dari limbah padat yang ditimbun di <i>landfill</i> TPA, dan di lokasi yang tidak dikelola (misal: TPS ilegal terbuka, lubang di tanah, jurang, dll).
4B: Pengolahan limbah padat secara biologis	Emisi CH ₄ dan N ₂ O, dari pengolahan sampah, lumpur (domestik & industri), dan limbah padat industri secara biologis, misal dengan: pengomposan/ <i>composting</i> dan/atau <i>anaerobic digestion</i> di <i>biodigester</i> .
4C1: Insinerasi 4C2: Pembakaran sampah secara terbuka	Emisi CO ₂ , CH ₄ , dan N ₂ O dari limbah yang diolah secara termal, baik proses yang terkendali (insinerasi, pirolisis, gasifikasi, dan plasma), dan/atau tidak terkendali (pembakaran sampah secara terbuka). Emisi dari pembakaran limbah untuk pembangkitan energi (<i>energy recovery</i>), misal: pembakaran <i>Refused Derived Fuel</i> (RDF), konsumsi syngas (<i>synthetic natural gas</i>), dll, tidak dihitung di sektor limbah, tetapi di sektor energi.
4D1: Pengolahan dan pembuangan air limbah domestik 4D2: Pengolahan dan pembuangan limbah cair industri	CH ₄ dan N ₂ O diemisikan dari: - Pengolahan limbah cair domestik dan industri, dari setiap tipe IPAL. - Pembuangan effluen IPAL ke badan air. - Pembuangan langsung (<i>untreated</i>) limbah cair domestik & industri ke badan air.

4.4.1. DATA AKTIVITAS SEKTOR LIMBAH

Input data aktifitas pada *worksheet* GRK ini disusun berdasarkan keperluan untuk mengestimasi tingkat emisi pada: (a). Penimbunan sampah; (b). Pengolahan sampah secara biologis; (c). Insinerasi, pirolisis, gasifikasi, dan pembakaran sampah secara terbuka, serta; (d). Pengolahan dan pembuangan limbah cair domestik dan industri. Input data penduduk diperlukan untuk mengestimasi dan memproyeksi total timbulan sampah dan total organik di dalam limbah cair. Timbulan sampah yang masuk ke *landfill* (berserta komposisi dan kandungan bahan kering sampah) diperlukan untuk mengestimasi tingkat emisi GRK di *landfill*. Timbulan sampah organik yang direcovery di berbagai fasilitas diperlukan untuk mengestimasi tingkat emisi

GRK dari pengolahan sampah secara biologis dan termal. Informasi fraksi distribusi pengelolaan dan pembuangan limbah cair domestik dan konsumsi protein diperlukan untuk mengestimasi tingkat GRK dari air limbah domestik. Sedangkan produk industri dan COD diperlukan untuk estimasi tingkat GRK dari pengolahan dan pembuangan limbah cair industri.

Pemerintah Kota/Kabupaten harus mengidentifikasi volume limbah yang dihasilkan pada tahun inventarisasi, per sumber dan tipe pengolahan limbah. Sumber limbah mempengaruhi komposisi limbah, yang menentukan faktor emisi yang digunakan. Tipe pengolahan limbah mempengaruhi faktor dan tingkat emisi.

4.4.1.1. Total Timbulan Sampah

Data total timbulan sampah tersaji dalam portal SIPSN (<https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/timbulan>). Jika data ini tidak tersedia, Total timbulan sampah dapat diestimasi berdasarkan pengalihan laju timbulan sampah dan jumlah penduduk. Jumlah penduduk dapat didasarkan pada data BPS maupun Dukcapil, dimana data BPS lebih disukai karena lebih mudah diakses, dan sering dipakai dalam perencanaan makro lainnya. Akan tetapi, referensi jumlah penduduk sebaiknya sama dengan referensi jumlah penduduk yang digunakan saat mengestimasi laju timbulan sampah kota. Laju timbulan sampah kota merupakan akumulasi laju timbulan sampah rumah tangga dan sejenis rumah tangga (hasil sampling), dibagi jumlah penduduk. Merupakan praktik yang baik jika Kota/Kabupaten menggunakan data laju timbulan sampah lokal,

dengan memperhatikan (tingkat kewajaran) terhadap laju timbulan sampah kota/kabupaten lain yang setipe. Jika laju timbulan sampah lokal hasil sampling tidak tersedia, **Tabel 4.47** memperlihatkan angka default laju timbulan sampah dari beberapa sumber. Pemerintah Kota/Kabupaten dapat memilih salah satu angka *default* yang paling sesuai dengan kondisi Kota/Kabupaten. Contoh estimasi (potensi) total timbulan sampah Kota/Kabupaten,

- Jumlah penduduk = 1.602.071 jiwa.
- Laju timbulan sampah = 0,28 ton/jiwa/tahun
- Estimasi total timbulan sampah =
1.602.071 jiwa x 0,28 ton/jiwa/tahun =
448.580 ton/tahun.

Tabel 4.47. | Laju Timbulan Sampah Indonesia dari Berbagai Literatur

TIPE KOTA	LAJU TIMBULAN SAMPAH (ton/kapita/tahun)				
	BPS Indonesia (2006)	SNI 19-3983-1995	CK-Spesifikasi Teknis Persampahan	Refinement (2019)	IPCC (2006)
Kota Metropolitan	0,28				
Kota Besar	0,22		0,26 – 0,29		
Kota Sedang	0,20	0,26 – 0,29	0,26 – 0,29		
Kota Kecil	0,19	0,23 – 0,26	0,23 – 0,26		
Default Indonesia				0,19	0,27

Dengan memperhatikan populasi dan distribusi layanan sampah, laju timbulan ini dapat digunakan untuk memperkirakan volume sampah yang: ditimbun di *landfill* TPA (jika data dari Dinas Kebersihan tidak tersedia), tidak terkelola, diolah secara biologis (jika data riil tidak tersedia), dan dibakar secara terbuka.

4.4.1.2. Komposisi Sampah

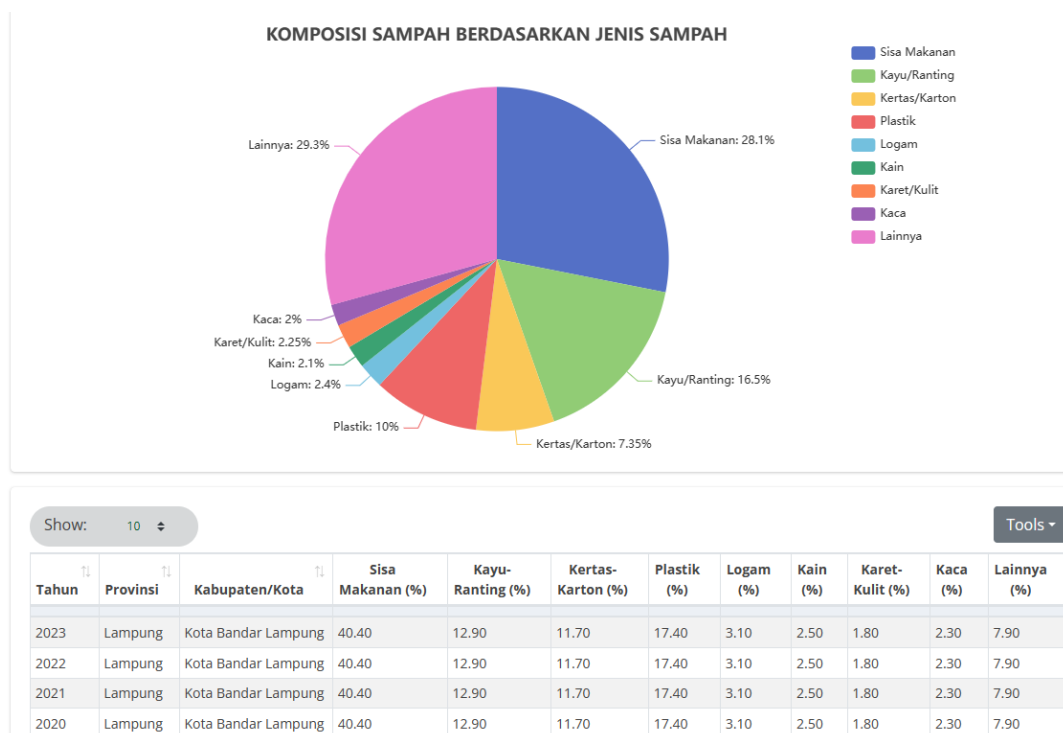
Komponen sampah yang berbeda mengandung jumlah DOC dan karbon fosil yang berbeda, yang pada akhirnya mempengaruhi tingkat emisi GRK. Data (*default*) komposisi sampah domestik disajikan dalam **Tabel 4.48**. Data komposisi sampah tersedia di SIPSN (<https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/komposisi>), lihat **Gambar 3**. Pada kasus Kota/Kabupaten tidak memiliki data, komposisi sampah dari Laporan IGRK KLHK dapat digunakan. Untuk simplifikasi, komposisi dan kandungan bahan kering di

sumber, TPS, dan TPA diasumsikan sama. Komposisi dan kandungan bahan kering sampah sangat bervariasi, tergantung cuaca, musim buah, dan metode sampling. Sebaiknya tidak usah mengubah data komposisi sampah secara tahunan (berbeda nilainya setiap tahun), jika data tidak konsisten, valid, dan reliabel.

Tabel 4.48. | Komponen Sampah Indonesia dari Berbagai Literatur

NO	KOMPONEN SAMPAH	KOMPOSISI SAMPAH (% berat basah)		
		IPCC (2006) Default Asia Tenggara	Refinement (2019) – Default Indonesia	Laporan IGRK KLHK (2021) ¹
1.	Sisa makanan	43,50%	74%	49,86%
2.	Taman (pekarangan)	-	0%	7,39%
3.	Kertas dan karton	12,90%	10%	10,82%
4.	Kayu	9,90%	0%	0,95%
5.	Tekstil	2,90%	2%	3,97%
6.	Nappies (popok sekali pakai)	-	0%	6,04%
7.	Karet dan kulit	0,60%	0%	0,51%
8.	Plastik	6,30%	8%	18,80%
9.	Logam	1,30%	2%	0,35%
10.	Kaca/gelas	2,20%	2%	0,71%
11.	Lainnya (abu, kotoran, debu, tanah, elektronik).	5,40%	2%	0,60%

Rata-rata Sumatera Utara, Sumatera Selatan, Riau, DKI Jakarta, dan Jawa Timur menggunakan *weighted average*.



Gambar 4.3. | Contoh Data Komposisi Sampah di Portal SIPSN

4.4.1.3. Kandungan Bahan Kering Sampah

Kandungan bahan kering per komponen sampah (di TPA) diperlukan untuk estimasi sampah dalam kondisi kering (*dry basis*). **Panduan IGRK KLHK (2012)** menyajikan panduan untuk mengukur komposisi dan kandungan bahan kering sampah. **Tabel 4.49** memperlihatkan kandungan bahan kering *default* yang dapat dipakai, jika data lokal tidak tersedia. Sebaiknya tidak usah mengubah data kandungan bahan kering sampah secara tahunan (berbeda nilainya setiap tahun), jika data tidak konsisten, valid, dan reliabel.

Tabel 4.49. | Kandungan Bahan Kering (di TPA) dari Berbagai Literatur

NO.	KOMPONEN SAMPAH	KANDUNGAN BAHAN KERING SAMPAH (%)		
		IPCC (2006) Default Asia Tenggara	Survey DLHK Palembang (2019)	Laporan IGRK KLHK (2021) ¹⁾
1.	Sisa makanan	40%	22%	46%
2.	Taman (pekarangan)		55%	
3.	Kertas dan karton	90%	94%	48%
4.	Kayu	85%	89%	55%
5.	Tekstil	80%	85%	64%
6.	Nappies (popok sekali pakai)		17%	
7.	Karet dan kulit	84%	99%	90%
8.	Plastik	100%	95%	68%
9.	Logam	100%	N/A	97%
10.	Kaca/gelas	100%	N/A	79%
11.	Lainnya	N/A	N/A	92%

1) Rata-rata Sumatera Utara dan Sumatera Selatan.

Untuk limbah lainnya, kandungan bahan kering *default* (**IPCC 2006**) dapat diasumsikan 100% (sampah inertia)

4.4.1.2. Komposisi Sampah

Volume sampah masuk ke SWDS (*landfill* TPA) berasal dari catatan (*record*) sampah masuk ke TPA tersedia di UPT TPA, pada Dinas Lingkungan Hidup (dan Kebersihan) Kota/Kabupaten. Untuk sebagian Kota/Kabupaten, data tersedia di Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (<https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>), lihat **Gambar 2**.

Jika data dalam berat (ton) tidak tersedia (umumnya di TPA kecil), data dapat diasumsikan berdasarkan jumlah truk dan mobil bak sampah yang masuk ke TPA, yaitu:

$$Vol\ sampah\ (ton) = \left\{ \left[\sum truk\ sampah\ (unit) * 6 \left(\frac{m^3}{unit} \right) \right] + \left[\sum mobil\ sampah\ (unit) * 2 \left(\frac{m^3}{unit} \right) \right] \right\} * 0,347 \left(\frac{ton}{m^3} \right)$$

Catatan: Diasumsikan kapasitas bak truk sampah = 6 m³, dan kapasitas mobil bak sampah = 2 m³. Sedangkan densitas sampah di alat angkut = 0,347 ton/m³ (**Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi GRK**, Buku II, Vol 4, hal 96). Silahkan sesuaikan persamaan jika kapasitas angkut truk/ mobil bak dan densitas sampah berbeda.

Jika data tersedia dalam fraksi sampah ke TPA, maka volume sampah ke TPA diestimasi dengan:

$$\begin{aligned} & \text{Vol Sampah ke TPA} \left(\frac{\text{ton}}{\text{tahun}} \right) \\ &= \% \text{ sampah ke TPA} \times \text{laju timbunan sampah} \left(\frac{\text{ton}}{\text{jiwa.tahun}} \right) \times \text{populasi (jiwa)} \end{aligned}$$

Misal:

Pada Tahun 2019, timbunan sampah Kota "X", dengan: **69,85%** sampah ke TPA, laju timbunan sampah = **0,26 ton/jiwa/tahun**, dan jumlah penduduk = **1.662.893 jiwa**, maka estimasi sampah Kota "X" yang masuk ke TPA (2019), adalah =

$$69,85 \% \times 0,26 (\text{ton}/(\text{jiwa.tahun})) \times 1.662.893 (\text{jiwa}) = 296.783 \text{ ton/tahun}$$

Jika pencatatan di data *log book* (dari jembatan timbang TPA) belum tersedia, dapat dilakukan sampling volume sampah masuk ke TPA. Jika TPA tidak memiliki jembatan timbang, dapat digunakan jembatan timbang yang dimiliki oleh Dinas Perhubungan untuk mengukur densitas sampah di truk (ton/m³). Untuk selanjutnya, dapat disampling berapa volume (m³) sampah yang masuk ke TPA (sampling per truk), dan berat sampah yang masuk ke TPA (ton) didapat dengan mengalikan (akumulasi) volume sampah

masuk (m³) dengan densitas sampah di truk (ton/m³). Sampling dapat dilakukan selama 8 hari berturut – turut, masing – masing satu kali di musim kemarau dan satu kali di musim penghujan.

Jika data historikal sampah yang masuk ke *landfill* TPA tidak tersedia, data dapat diestimasi (di-proksi) berdasarkan populasi penduduk (dengan asumsi tingkat pelayanan dan laju timbunan sampah sama) mengikuti persamaan, sbb:

$$\begin{aligned} & \text{Timbunan sampah ke TPA tahun} - i = \\ & \frac{\text{Jumlah penduduk tahun} - i}{\text{Jumlah penduduk tahun} - j} \times \text{timbunan sampah ke TPA tahun} - j \end{aligned}$$

Misal:

Jumlah penduduk Kota "X" (2019)	= 1.000.000 jiwa
Timbunan sampah ke landfill TPA Kota "X" (2019)	= 200.000 ton.
Jumlah penduduk Kota "X" (2010)	= 800.000 jiwa
Maka, estimasi timbunan sampah ke TPA Kota "X" (2010)	

$$\text{Timbulan sampah ke TPA(2010)} = \frac{800.000 \text{ jiwa}}{1.000.000 \text{ jiwa}} \times 200.000 \text{ ton} = 160.000 \text{ ton}$$

TPA/TPST

Tahun

[SEMUA Tahun]

Provinsi

Lampung

Kabupaten/Kota

Kota Bandar Lampung

Show: 10

Tools

	Tahun	P	Provinsi	Kabupaten/Kota	Nama Fasilitas	Jenis	Status	Sampah masuk (ton/thn)	Sampah masuk Landfill (ton/thn)
+	2023	2	Lampung	Kota Bandar Lampung	TPA Bakung	TPA Pemda (Non Regional)	A	266,450.00	127,750.00
+	2022	2	Lampung	Kota Bandar Lampung	TPA Bakung	TPA Pemda (Non Regional)	A	171,550.00	135,050.00
+	2021	2	Lampung	Kota Bandar Lampung	TPA Bakung	TPA Pemda (Non Regional)	A	160,600.00	124,100.00
+	2020	2	Lampung	Kota Bandar Lampung	TPA Bakung	TPA Pemda (Non Regional)	A	255,500.00	239,805.00
+	2019	2	Lampung	Kota Bandar Lampung	TPA Bakung	TPA Pemda (Non Regional)	A	237,250.00	224,110.00

Showing 1 to 5 of 5 entries (Total 2,165)

Search took: 2.07 seconds.

Previous

1

Next

Gambar 4.4. | Contoh data volume sampah masuk ke TPA di portal SIPSN

4.4.1.5. Volume Sampah Diolah menjadi Bahan Baku

Data pengolahan sampah di berbagai fasilitas pengolahan sampah dapat diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup Kota/Kabupaten. Untuk sebagian Kota/Kabupaten, data telah tersedia (dan dapat di-*download*) di Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (<https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>), lihat **Gambar 5**. Jumlahkan volume sampah (ton/tahun) yang dijadikan bahan baku di semua fasilitas tersebut, untuk selanjutnya diinput ke *worksheet* GRK. Akumulasikan volume sampah yang terolah (dalam ton/tahun), sebagai berikut (**Gambar 6**):

- Sampah organik terolah menjadi bahan baku pakan ternak dan bahan baku

kompos di Bank Sampah Unit, Bank Sampah Induk, Komposting RT/RW, Rumah Kompos, Pusat Olah Organik, TPS 3R, Pusat Daur Ulang, TPST di luar TPA, ITF;

- Sampah anorganik di-*upcycle* dan *recycle* di Bank Sampah Unit, Bank Sampah Induk, TPS 3R, Pusat Daur Ulang, TPST di luar TPA, ITF, TPA, dan sektor informal;
- Sampah dijadikan bahan bakar (RDF, briket, *pluffy*, jumputan padat, dan sejenis) di Bank Sampah Induk, TPS 3R, Pusat Daur Ulang, TPST di luar TPA, ITF, RDF Plant;

- Sampah diolah di *biodigester*.
- Volume sampah diolah secara termal di insinerator dan pirolisis/gasifikasi/*plasma plant*. Data dapat diperoleh langsung dari pengelola *plant*.

Jika gas, cairan, dan produk padat yang dihasilkan dari pengolahan sampah thermal diekspor untuk digunakan sebagai sumber energi, emisi GRK tidak dilaporkan sebagai emisi sektor limbah, tetapi pada titik penggunaannya sebagai sumber energi. **IPCC 2006** menyebutkan bahwa emisi dari insinerasi sampah tanpa *energy recovery* dilaporkan pada sektor limbah, sedangkan emisi dari insinerasi dengan *energy recovery* dilaporkan dalam sektor energi, dengan

pemisahan antara emisi CO₂ fosil dan *biogenic origin*. Untuk perhitungan tingkat emisi dari bahan bakar berbasis sampah, dapat digunakan metodologi yang tersedia di **IPCC 2006, Volume 2, Chapter 2 (Stationary Energy)**, yaitu dengan mengalikan data aktifitas (ton sampah), NCV (MJ/ton sampah), dan Faktor Emisi untuk bahan bakar dari MSW (ton GRK/MJ). Metodologi yang tersedia di **IPCC 2006, Volume 5, Chapter 5 (Incineration and Open Burning)**, juga dapat digunakan untuk mengestimasi tingkat GRK dari kegiatan *waste to energy*. Akan tetapi, metodologi pada *chapter* ini tidak mengakomodasi perhitungan *co-firing* bahan bakar dari sampah dengan bahan bakar lainnya.

KOMPOSTING SKALA RTRW

Tahun

[SEMUA Tahun]

Provinsi

Lampung

Kabupaten/Kota

Kota Bandar Lampung

Show:

10

Tools

	Tahun	P	Provinsi	Kabupaten/Kota	Nama Fasilitas	Jenis	Status	Sampah masuk (ton/thn)	Sampah terkelola (ton/thn)
+	2023	2	Lampung	Kota Bandar Lampung	Pemrosesan Daur Ulang	Komposting Skala Kecil atau RT/RW	A	10.95	5.11
+	2023	2	Lampung	Kota Bandar Lampung	Kebun Bibit (Budidaya Maggot)	Komposting Skala Kecil atau RT/RW	A	3.65	2.12
+	2023	2	Lampung	Kota Bandar Lampung	TPS 3R	Komposting Skala Kecil atau RT/RW	A	36.50	30.19
+	2023	2	Lampung	Kota Bandar Lampung	Pupuk Kompos (Bank Sampah)	Komposting Skala Kecil atau RT/RW	A	3.65	3.54
+	2022	2	Lampung	Kota Bandar Lampung	Pemrosesan Daur Ulang	Komposting Skala Kecil atau RT/RW	A	365.00	38.91
+	2022	2	Lampung	Kota Bandar Lampung	Kebun Bibit (Budidaya Maggot)	Komposting Skala Kecil atau RT/RW	A	365.00	53.66
+	2022	2	Lampung	Kota Bandar Lampung	TPS 3R	Komposting Skala Kecil atau RT/RW	A	266.45	22.12
+	2022	2	Lampung	Kota Bandar Lampung	Pupuk Kompos (Bank Sampah)	Komposting Skala Kecil atau RT/RW	A	365.00	28.92
+	2021	2	Lampung	Kota Bandar Lampung	Pemrosesan Daur Ulang	Komposting Skala Kecil atau RT/RW	A	365.00	25.47
+	2021	2	Lampung	Kota Bandar Lampung	TPS 3R	Komposting Skala Kecil atau RT/RW	A	259,150.00	25.47

Showing 1 to 10 of 12 entries (Total 14,180)

Search took: 2.97 seconds.

Previous

1

2

Next

Gambar 4.5. | Contoh Data Pengomposan di Fasilitas Pengomposan Skala RT RW Kota Lampung di Portal SIPSN

Bahan Baku Pakan Ternak		Bahan Baku Kompos		Recycle & Upcycle		Bahan Baku Sumber Energi	
Sampah terkelola (ton/tahun)		Sampah terkelola (ton/tahun)		Sampah terkelola (ton/tahun)		Sampah terkelola (ton/tahun)	
Tipe Fasilitas	2022	Tipe Fasilitas	2022	Tipe Fasilitas	2022	Tipe Fasilitas	2022
Bank Sampah Unit	0.00	Bank Sampah Unit	5.87	Bank Sampah Unit	182.51	Bank Sampah Unit	
Bank Sampah Induk	54.75	Bank Sampah Induk	54.75	Bank Sampah Induk	292.00	Bank Sampah Induk	0.00
Komposting RTRW	0.00	Komposting RTRW	48.55	Komposting RTRW		Komposting RTRW	0.00
Rumah Kompos		Rumah Kompos		Rumah Kompos		Rumah Kompos	
Pusat Olah Organik		Pusat Olah Organik		Pusat Olah Organik		Pusat Olah Organik	
TPS 3R	141.26	TPS 3R	927.48	TPS 3R	912.52	TPS 3R	0.00
Pusat Daur Ulang		Pusat Daur Ulang		Pusat Daur Ulang		Pusat Daur Ulang	
TPST diluar TPA		TPST diluar TPA		TPST diluar TPA		TPST diluar TPA	
ITF		ITF		ITF		ITF	
Biodigester	0.00	Biodigester	0.00	Biodigester	0.00	Biodigester	547.50
TPA		TPA	912.50	TPA	0.00	TPA	
Lapak		Lapak		Lapak	9,066.97	Lapak	
Total formal (ton/hari)	0.54	Total formal (ton/hari)	5.34	Total formal (ton/hari)	3.80	Total formal (ton/hari)	1.50
Total informal (ton/hari)	0.00	Total informal (ton/hari)	0.00	Total informal (ton/hari)	24.84	Total informal (ton/hari)	0.00

Gambar 4.6. | Contoh Data Pengomposan di Fasilitas Pengomposan Skala RT RW Kota Lampung di Portal SIPSN

4.4.1.6. Insinerasi dan Pembakaran Sampah secara Terbuka

Volume sampah yang dibakar secara terbuka, didapat dengan:

$$\text{Volume sampah dibakar (ton)} = \% \text{ sampah dibakar} * \text{laju timbulan} \left(\frac{\text{ton}}{\text{jiwa}} \right) * \text{populasi(jiwa)} * \text{Fraksi sampah terbakar dari total sampah dibakar}(B_{\text{frac}}, \%)$$

Persentase (%) sampah dibakar didapat dari data Distribusi Pengelolaan Sampah yang didapat dengan melakukan survey langsung ke lapangan, atau mengacu pada dokumen Statistik Perumahan dan Pemukiman, dokumen EHRA (*Environmental Health Risk Assessment*) atau laporan Riset Kesehatan Dasar. **Gambar 5** menunjukkan contoh

Proporsi Cara Pengelolaan Sampah di Rumah Tangga menurut Kabupaten/Kota di Provinsi Lampung (**Riskesdas 2018**). Sedangkan nilai **Bfrac** (jika data survei tidak tersedia), dapat diasumsikan sebesar 60%.

Sedangkan jumlah sampah per komponen yang dibakar secara adalah:

$$\text{Volume komponen i dibakar (ton)} = \% \text{ komposisi sampah} * \text{volume sampah dibakar (ton)}$$

Kabupaten/ Kota	Cara Pengelolaan Sampah Rumah Tangga (%)						N Tertimbang
	Di-angkut	Di-tanam	Dibuat kompos	Dibakar	Dibuang ke kali/ selokan	Dibuang sembarang tempat	
Lampung Barat	8,06	4,99	1,09	49,72	9,60	26,55	297
Tanggamus	5,02	3,40	1,40	72,61	9,38	8,19	579
Lampung Selatan	8,89	0,82	0,27	85,20	3,54	1,28	983
Lampung Timur	3,71	1,84	0,15	92,07	0,87	1,36	1.133
Lampung Tengah	3,12	1,08	0,10	94,22	0,56	0,92	1.348
Lampung Utara	12,12	0,45	0,45	76,27	3,53	7,18	620
Way Kanan	4,30	1,58	0	83,33	3,34	7,45	455
Tulang Bawang	7,17	2,72	0,49	86,96	1,52	1,14	455
Pesawaran	3,81	2,78	0,11	81,99	7,65	3,66	441
Pringsewu	6,42	1,86	0,76	83,73	0,36	6,87	402
Mesuji	1,72	3,91	0,08	82,84	7,53	3,92	215
Tulangbawang Barat	1,49	0	0,19	97,52	0,23	0,57	280
Pesisir Barat	7,79	2,81	0,66	73,90	8,93	5,91	134
Kota Bandar Lampung	81,26	0,28	0,10	11,41	5,71	1,25	939
Kota Metro	49,96	0,36	0,20	48,98	0,09	0,41	156
Prov. Lampung	15,01	1,61	0,34	75,59	3,56	3,90	8.817

Gambar 4.7. | Contoh Proporsi Cara Pengelolaan Sampah di Rumah Tangga di Kota Lampung

4.4.1.7. Distribusi Pengelolaan Sampah

Distribusi pengolahan sampah domestik merupakan kombinasi dari data SIPSN untuk sampah terolah dan data Riskesdas (atau Statistik Pemukiman) untuk sampah tidak terolah. Jumlah persentase dari semua cara pengelolaan dan pembuangan sampah tidak boleh melebihi 100%. Jika tidak, maka lakukan koordinasi dan

penyesuaian data dengan DLH Bidang Kebersihan (atau operator penanganan dan pengurangan sampah lainnya). **Tabel 4.50** memperlihatkan contoh distribusi pengelolaan sampah terolah di Kota Bandar Lampung dari portal SIPSN, untuk kemudian digabung dengan data sampah tidak terolah dari data Riset Kesehatan Dasar (**Tabel 4.51**).

Tabel 4.50. | Contoh Pengelolaan Sampah Kota Bandar Lampung dari data SIPSN

Tahun	Laju timbulan sampah (ton/jiwa/tahun)	Total Timbulan sampah (ton)	Volume sampah ditimbun di TPA (ton)	Kompos dan pakan ternak (ton)	Volume Sampah Upcycle/ Recycle (ton)	Volume sampah di-Insinerasi (ton)	RDF Plant (ton)	Reaktor (Digester) Anaerobik (ton)
2021	0.24	281,129.15	243,688.35	15,067	21,537			
2022	0.24	287,057.55	248,827.20	20,308	18,136			

Tabel 4.51. | Distribusi Kelola Sampah Kota Bandar Lampung

Tahun	Ditimbun di landfill TPA (%)	Ditimbun dalam Tanah (%)	Dibuat Kompos dan pakan ternak (%)	Dibakar (%)	Dibuang ke Kali/ Parit/ Laut (%)	Dibuang ke Lahan Kosong (%)	Recycle-Upcycle/ 3R (%)	Insinerasi (%)	RDF Plant (%)	Reaktor (Digester) Anaerobik (%)	Lainnya (%)
2021	44.14%	0.00%	5.36%	12.68%	5.78%	2.00%	7.66%	0.00%	0.00%	0.00%	22.38%
2022	47.05%	0.00%	7.07%	13.10%	5.80%	2.25%	6.32%	0.00%	0.00%	0.00%	18.42%

Catatan: Data SIPSN (sampah terolah) digabung dengan data Riskesdas (sampah tidak terolah)

4.4.1.8. Distribusi Sarana Pembuangan Air Limbah Domestik

Data aktivitas untuk sumber ini adalah total bahan yang dapat terdegradasi secara organik dalam limbah cair (**TOW**). Parameter ini merupakan fungsi dari populasi manusia dan generasi **BOD** per orang, dinyatakan dalam *biochemical oxygen demand* (kg BOD/tahun). Persamaan untuk **TOW** adalah:

$$TOW = P \cdot BOD \cdot 0.001 \cdot 365$$

Di mana:

- TOW** : Total organik dalam limbah cair, kg BOD/tahun
P : Populasi, (orang)
BOD : *Country-specific* per kapita BOD5, g/orang/hari (*default* = 40 g/orang/hari)
0,001 : Konversi dari gram BOD ke kg BOD

Nilai default **BOD5** untuk Asia, Timur Tengah, dan Amerika Latin adalah 40 g/orang/hari, dengan rentang 35 – 45 g/orang/hari (**Doorn dan Liles, 1999**). Estimasi total organik dalam limbah cair (**TOW_j**) menurut jalur/sistem pengolahan dan pembuangan, adalah:

$$TOW_j = \sum_i [TOW \cdot U_i \cdot T_{ij} \cdot I_j]$$

Di mana:

- TOW_j** : Jumlah organik dalam limbah cair pada tahun inventori, kg BOD/tahun, untuk kelompok pendapatan **i** dan jalur/sistem pengolahan dan pembuangan, **j**.
TOW : Total organik dalam limbah cair pada tahun inventori, kg BOD/tahun.
U_i : Sebagian dari populasi dalam kelompok pendapatan **i** pada tahun inventori.
T_{ij} : Tingkat pemanfaatan jalur/sistem pengolahan dan pembuangan, **j**, untuk tiap kelompok pendapatan
I_j : Faktor koreksi untuk BOD industri tambahan yang dibuang ke jalur/sistem pengolahan dan pembuangan **j** (untuk *collected* = 1,25, untuk *uncollected* = 1,00)

Distribusi sarana pembuangan air limbah domestik tersedia di dokumen EHRA (*Environmental Health and Risk Assessment*) Kota, data Susenas (Survei Sosial Ekonomi Nasional) di portal NAWASIS (*National Housing Water and Sanitation Information Services*).

Penyusun inventori harus mempertimbangkan bahwa lumpur yang diambil dari tangki septik

dapat dipindahkan ke IPLT (Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja) terpusat. Dalam kasus ini, beban organik tambahan ini harus dimasukkan saat memperkirakan TOW dalam influen ke IPLT terpusat.

Komponen organik yang disisihkan dari limbah cair sebagai lumpur (**S**) tidak dijelaskan secara rinci dalam **Pedoman IPCC / IPCC Guidelines**

2006. Komponen organik yang disisihkan dari limbah cair sebagai lumpur tidak setara dengan massa (ton) lumpur yang dihasilkan dari pengolahan limbah cair. Sebaliknya, komponen organik yang disisihkan sebagai lumpur merupakan fungsi dari lumpur yang dihasilkan dari pengolahan limbah cair (**S_{mass}**) dan faktor lumpur (**K_{rem}**), yang menunjukkan seberapa banyak bahan organik yang disisihkan dari proses pengolahan dalam lumpur per kilogram lumpur yang dihasilkan, yaitu:

$$S_{aerobic} = (S_{mass} \cdot K_{rem} \cdot 1000)$$

Di mana:

- Saerob** : Komponen organik yang disisihkan dari limbah cair (dalam bentuk lumpur) pada instalasi pengolahan aerobik, kg BOD/thn
- S_{mass}** : Jumlah lumpur (*raw*) yang disisihkan dari pengolahan limbah cair sebagai massa kering, ton/tahun
- K_{rem}** : Faktor lumpur, kg BOD/kg lumpur.
- 1000** : Faktor konversi untuk ton ke kilogram

Tabel 4.50. | Contoh Pengelolaan Sampah Kota Bandar Lampung dari data SIPSN

TIPE PENGOLAHAN	DEFAULT	RENTANG
	(kg BOD / kg massa lumpur kering)	
Instalasi pengolahan mekanis (lumpur sedimentasi primer)	0,5	0,4 – 0,6
Instalasi pengolahan aerobik dengan pengolahan primer (lumpur primer dan sekunder campuran, tidak diolah atau diolah secara aerob)	0,8	0,65 – 0,95
Instalasi pengolahan aerobik dengan pengolahan primer dan penguraian lumpur anaerobik/ <i>anaerobic sludge digestion</i> (lumpur primer dan sekunder campuran, diolah secara anaerob)	1,0	0,8 – 1,2
Instalasi pengolahan limbah cair aerobik tanpa pengolahan primer terpisah	1,16	1,0 – 1,5
Catatan: 1 BOD adalah indikator proksi dari kualitas (atau kandungan organik) limbah cair, tetapi parameter ini bukan pengukuran massa langsung dari kandungan organik. Sama seperti massa oksigen dalam CO ₂ yang lebih besar dari massa karbon, BOD molekul yang mengandung karbon dapat melebihi 1 ketika molekul tersebut dimetabolisme menjadi CO ₂ . 2 Berdasarkan penilaian ahli oleh Penulis Utama (di Volume 6 Chapter 6 2019 Refinement) menggunakan referensi berikut: Pescod (1992); Davies (2005); Foladori dkk. (2010); WEF (2010); Departemen Sumber Daya Alam Wisconsin (2010); Serón et al. (2011).		

Terkait sistem septik, emisi bergantung pada fraksi penduduk yang mengelola tangki septik mereka sesuai dengan instruksi pengurasan lumpur pada tangki septik (**F**). Nilai default **F** adalah 0,5, dimana 50% populasi yang mengelola sistem septik mematuhi instruksi pengurasan. komponen organik yang disisihkan sebagai *sludge* dari sistem septik, adalah:

$$S_{\text{septic}} = TOW_{\text{septic}} \cdot F \cdot 0.5$$

Di mana:

- S_{septic}** : Komponen organik yang disisihkan dari limbah cair (dalam bentuk lumpur) dalam sistem septik, kg BOD/thn.
- TOW_{septic}** : Total organik dalam limbah cair, kg BOD/thn.
- F** : Fraksi populasi yang mengelola septic tank sesuai dengan instruksi pengurasan lumpur dari sistem septik.
- 0,5** : Fraksi organik dalam limbah cair yang disisihkan dalam lumpur ketika tangki septik dikelola sesuai dengan petunjuk pengurasan lumpur.

Untuk pembuangan limbah cair yang diolah, penyusun inventori harus memperkirakan jumlah TOW dalam limbah (**TOW_{EFFLUENT}**), yaitu:

$$TOW_{\text{EFFluent}} = \sum_j [TOW \cdot T_j \cdot (1 - TOW_{\text{REM},j})]$$

Di mana:

- TOW_{EFFtreat}** : Total organik dalam effluen limbah cair (terolah) yang dibuang ke lingkungan perairan, kg BOD/tahun.
- TOW** : Total bahan yang dapat terdegradasi secara organik dalam limbah cair domestik, kg BOD/tahun.
- T_j** : Tingkat pemanfaatan sistem pengolahan j ().
- j** : Setiap jenis pengolahan limbah cair yang digunakan dalam tahun inventori.
- TOW_{REM, j}** : Fraksi dari total limbah organik yang disisihkan selama pengolahan limbah cair per jenis pengolahan j. Lihat **Tabel 4.53**. Jalur penyisihan organik termasuk hilangnya lumpur dan dekomposisi biologis.

Tabel 4.53. | Fraksi Penyisihan Organik di Pengolahan Limbah Cair (TOWREM) Menurut Tipe Pengolahan

TIPE PENGOLAHAN	DEFAULT	RENTANG
Sistem tidak terolah	0	0 - 0,1
Primer (instalasi pengolahan mekanis)	0,40	0,25 - 0,50
Primer + Sekunder (instalasi pengolahan biologi)	0,85	0,80 - 0,90
Primer + Sekunder + Tersier (instalasi pengolahan biologi lanjutan)	0,90	0,80 - 0,95
Tangki septik / sistem septik	0,625	0,50 - 0,60
Jamban/latrín - Iklim kering, muka air tanah lebih rendah dari jamban, keluarga kecil (3–5 orang)	0,1	0,05 - 0,15
Jamban/latrín - Iklim kering, muka air tanah lebih rendah dari jamban, komunal (banyak pengguna)	0,5	0,4 - 0,6
Jamban/latrín - iklim basah atau ada penyiraman air, muka air tanah lebih tinggi dari jamban	0,7	0,7 - 1,0
Sumber: 1 Berdasarkan penilaian ahli oleh Penulis Utama (di Volume 6, Chapter 6, 2019 Refinement) menggunakan referensi berikut: Pescod (1992); WEF (2009); Schaidt dkk. (2017).		

4.4.1.9. Produksi (dalam ton) untuk Sektor Industri

Jika tersedia, isikan data produksi dari industri – industri, sbb (jika terdapat industri ini di Kota): (1) pabrik pulp and paper; (2) Rumah pemotongan hewan; (3) Produksi alkohol, bir, tepung; (4) Produksi kimia organik; dan (5) Proses minuman dan makan (produk sehari-hari, minyak sayur, buah dan sayuran, pabrik pengalengan, pembuatan jus, dan lain-lain). Data ini mungkin didapat dari Statistik Industri BPS, Dinas Perindustrian, atau Informasi Kinerja Lingkungan Hidup Daerah (DIKLHD).

Dalam Refinement 2019, lumpur adalah campuran komponen cair dan padat, dan dapat diproduksi sebagai lumpur limbah dari

proses pengolahan limbah cair, atau sebagai suspensi mengendap dari pengolahan air minum konvensional, atau dari berbagai proses industri lainnya. Lumpur dari proses industri biasanya bersifat spesifik, dan merupakan praktik yang baik untuk mendapatkan data komposisi lumpur dari produsen.

Data komposisi lumpur diperlukan untuk estimasi emisi meliputi: kandungan karbon, kandungan nitrogen, dan DOC lumpur. Nilai *default* disajikan dalam persen atau fraksi lumpur sebagai massa kering pada **Tabel 4.53 (Refinement IPCC, 2019).**

Tabel 4.54. | Nilai Default dan Ketidakpastian Kandungan Karbon, Kandungan Nitrogen, serta DOC Lumpur Domestik dan Industri (dalam % Bahan Kering)

TIPE LUMPUR	KANDUNGAN KARBON		KANDUNGAN NITROGEN		DOC	
	Nilai default (%)	Ketidak-pastian (%)	Nilai default (%)	Ketidak-pastian (%)	Nilai default (%)	Ketidak-pastian (%)
Lumpur pengolahan limbah cair domestik 2-6	31	+/- 27	4.2	+/- 56	30	+/- 61
lumpur limbah domestik yang tidak diolah 1					50	+/- 30
Industri makanan (buah & sayur) 2	44	+/- 33	1.1	+/- 45	36	+/- 69
Industri kertas (lumpur proses) 2	28	+/- 49	0.5	+/- 100	12	+/- 25
Industri kertas (lumpur limbah cair) 2	31	+/- 15	0.9	+/- 60		
Industri Kimia 1	52	+/- 100				
Default untuk lumpur Industri 1					26	

Sumber:

1. Panduan IPCC 2006.
2. Phyllis2 database for biomass and waste, <https://www.ecn.nl/phyllis2> Energy research Centre of the Netherlands with uncertainty is estimated as 95 percentile (2*sigma).
3. Werle and Dudziak, 2014.
4. Werle, 2013.
5. He et al., 2007.
6. Boutchich et al., 2015.

4.4.2. FAKTOR EMISI

Faktor emisi pada sektor limbah dapat menggunakan nilai *default* dari IPCC (**Refinement 2016** dan **2006**). **Tabel 4.55** s/d **Tabel 4.61** memperlihatkan faktor emisi yang dapat digunakan untuk mengestimasi tingkat emisi oleh: (a) Penimbunan sampah di SWDS, (b) Pengolahan sampah secara biologis, (c) Insinerasi dan pembakaran sampah secara terbuka, dan (d) Pengolahan & pembuangan limbah cair (domestik dan industri).

Tabel 4.55. | Faktor Emisi Default untuk Estimasi GRK di *Landfill* TPA (SWDS)

PARAMETER	UNIT	NILAI DEFAULT PARAMETER	
		IPCC 2006	REFINEMENT 2019
Degradable organic carbon (DOC)	-	Dalam fraksi berat: ▪ <i>food waste</i> = 0,38; ▪ <i>paper</i> = 0,44; ▪ <i>garden and park waste</i> = 0,49; ▪ <i>textiles</i> = 0,30; ▪ <i>rubber and leather</i> = 0,47; ▪ <i>wood</i> = 0,50, ▪ <i>nappies</i> = 0,60.	Sama dengan <i>IPCC 2006</i> .
Ffraction of DOC dissimilated (DOCf)	-	= 0,5.	▪ Sampah yang sulit terurai, misalnya: kayu, produk kayu olahan, cabang pohon (kayu) = 0,1. ▪ Sampah yang terurai dengan moderat, misal: kertas, tekstil, dan popok = 0,5. ▪ Sampah yang mudah terurai, misal: sisa makanan, rerumputan (sampah taman dan pekarangan, tdk termasuk cabang pohon) = 0,7.
Methane Correction Factor (MCF)	-	Un-managed Deep = 0,8	▪ <i>Unmanaged Deep</i> = 0,8. Jika tidak ada konstruksi <i>landfill</i>, serta dikelola dengan open dumping. ▪ <i>Semi-aerobic</i> (dikelola dengan baik) = 0,5. Jika terdapat konstruksi <i>landfill</i>, tersedia penyalur lindi dan gas, dioperasikan dengan <i>controlled/sanitary landfill</i>. ▪ <i>Semi-aerobic</i> (dikelola dengan buruk) = 0,7. Jika terdapat konstruksi <i>landfill</i>, tetapi penyalur lindi dan gas tidak bekerja dengan baik (tersumbat, terendam, patah, dll).

PARAMETER	UNIT	NILAI DEFAULT PARAMETER	
		IPCC 2006	REFINEMENT 2019
Methane generation rate constant (<i>k</i>)	years-1	- Sisa makanan = 0,4; - kertas = 0,07; - sampah taman = 0,17; - tekstil = 0,07; - karet & kulit = 0,035; - kayu = 0,035; - nappies = 0,17.	
Delay time	months	= 6.	Sama dengan IPCC 2006.
Fraction of methane (<i>F</i>) in developed gas		= 0,5.	Sama dengan IPCC 2006.
Oxidation faktor (<i>OX</i>)		= 0.	Sama dengan IPCC 2006.

Tabel 4.56. | Faktor Emisi CH₄ dan N₂O untuk Pengolahan Sampah secara Biologis

PARAMETER	UNIT	NILAI DEFAULT PARAMETER	
		IPCC 2006	REFINEMENT 2019
Pengomposan/ <i>Composting</i>			
FE CH4	kg CH4/ton sampah diolah	4 (0,03 - 8)	Sama dengan <i>IPCC 2006</i>
FE N2O	kg N2O/ton sampah diolah	0,3 (0,06 – 0,6)	Sama dengan <i>IPCC 2006</i>
<i>Anaerobic digestion</i> pada fasilitas biogas (<i>biodigester</i>)			
FE CH4	kg CH4/ton sampah diolah	1 (0 - 8)	Sama dengan <i>IPCC 2006</i> .
FE N2O	kg N2O/ton sampah diolah	Diabaikan	Sama dengan <i>IPCC 2006</i> .

Tabel 4.57. | Faktor Emisi CO₂ untuk Insinerasi dan Pembakaran Sampah secara Terbuka

PARAMETER	UNIT	Lokal	NILAI DEFAULT PARAMETER	
			IPCC 2006	Refinement 2019
FE CO₂ untuk pembakaran terbuka	ton CO ₂ / ton sampah	0,0585	Diestimasi per komponen sampah	Diestimasi per komponen sampah
Fraksi karbon dalam bahan kering (CF)		N/A	- Sampah: <i>paper</i> = 0,46; <i>textile</i> = 0,50; <i>nappies</i> = 0,70; <i>rubber</i> = 0,67; <i>plastics</i> = 0,75; <i>Other (inert)</i> = 0,03. - Limbah industri = 50 - Limbah medis = 60 - Lumpur limbah cair = 40-50 <i>Fossil liquid waste</i> = 80	Sama dengan IPCC 2006, kecuali: Lumpur limbah cair = 30

PARAMETER	UNIT	NILAI DEFAULT PARAMETER		
		Lokal	IPCC 2006	Refinement 2019
Fraksi karbon fosil dalam total karbon (FCF)		N/A	- Sampah: paper = 0,01; textile = 0,20; nappies = 0,10; rubber = 0,20; plastics = 1,00; Other (inert) = 1,00; - Limbah industri = 90 - Limbah medis = 40 - Lumpur limbah cair = 0 - Fossil liquid waste = 100	Sama dengan IPCC 2006.
Faktor oksidasi (OF)		N/A		
Insinerasi			- Sampah domestik = 1 - Limbah industri = 1 - Limbah medis = 1 - Lumpur limbah cair = 1 - Fossil liquid waste = 1	Sama dengan IPCC 2006.
Pembakaran terbuka			- Sampah domestik = 0,58 - Limbah industri = NO - Limbah medis = NO - Lumpur limbah cair = NO - Fossil liquid waste = NO	Sama dengan IPCC 2006, kecuali: Sampah domestik = 0,71

Ket: NO = not occuring (tidak terjadi)

Tabel 4.58. | Faktor Emisi CH₄ dan N₂O untuk Pengolahan Sampah Secara Termal

PROSES	SUHU PENGOPERASIAN (°C)	FAKTOR EMISI CH4 (g / t sampah basah)	FAKTOR EMISI N2O (g / t sampah basah)	TIPE REAKTOR
Insinerasi	700~900°C	0,2	47	Continuous incineration - stoker
		0	67	Continuous incineration - fluidised bed
		6	41	Semi-continuous incineration- stoker
		188	68	Semi-continuous incineration- fluidised bed
		60	56	Batch type incineration - stoker
		237	221	Batch type incineration - fluidised bed
Pyrolysis- melting dan gasification- melting	Pyrolysis: 300 ~ 600°C Gasification: 700~900°C Melting: 1300~1700°C	5,81 1,2 (n=11)	17,4 1,2 (n=11)	Shaft
		9,70 1 (n=10)	5,80 1 (n=10)	Fluidized bed
		5,40 1 (n=5)	8,38 1,3 (n=6)	Rotary kiln
1. Kementerian Lingkungan Hidup Jepang (2010); 2. Lee dkk. (2015); 3. Yoon (2017)				

Tabel 4.59. | Kapasitas Produksi Maksimum CH₄ (Bo) Limbah Cair Domestik0.6 kg CH₄/kg BOD0.25 kg CH₄/kg COD

Berdasarkan penilaian ahli oleh Penulis Utama (di **Volume 6 Chapter 6 Panduan IPCC 2006**) dan **Doorn et al. (1997)**

Tabel 4.60. | MCF dan EFS Limbah Cair Domestik Default Berdasarkan Tipe Pengolahan & Jalur Pembuangan, J1

TIPE JALUR/SISTEM PENGOLAHAN DAN PEMBUANGAN	KOMENTAR	MCF 1) (Range)	EF 2) (Kg CH ₄ /kg BOD)	EF 2) (kg CH ₄ /kg COD)
Pembuangan dari sistem diolah atau tidak diolah				
Pembuangan ke lingkungan akuatik (Tier 1)	Sebagian besar lingkungan akuatik (termasuk sungai) jenuh dalam CH ₄ . Kelebihan nutrisi akan meningkatkan emisi CH ₄ . Lingkungan di mana karbon terakumulasi dalam sedimen memiliki potensi yang lebih tinggi untuk menghasilkan metana.	0,11 (0,004 – 0,27)	0,068	0,028
Pembuangan ke lingkungan akuatik selain waduk, danau, dan muara (Tier 2).	Sebagian besar lingkungan akuatik (termasuk sungai) jenuh dalam CH ₄ . Kelebihan nutrisi akan meningkatkan emisi CH ₄ .	0,035 3) (0,004 - 0,06)	0,021	0,009
Pembuangan ke waduk, danau, dan muara (Tier 2).	Lingkungan di mana karbon terakumulasi dalam sedimen memiliki potensi yang lebih tinggi untuk menghasilkan metana.	0,19 3) (0,08 - 0,27)	0,114	0,048
Pembuangan ke tanah	Pembuangan lumpur dan/atau limbah cair ke tanah dapat menjadi sumber CH ₄ untuk pemupukan.	Emisi dilaporkan dalam Volume 4.		
Saluran pembuangan stagnan	Terbuka dan hangat	0.5 (0,4 – 0,8)	0,3	0,125
Saluran pembuangan (terbuka/tertutup) yang mengalir.	Bergerak cepat, bersih. (Jumlah CH ₄ tidak signifikan dari stasiun pompa, dll.)	0	0	0
Instalasi pengolahan aerobik terpusat	Beberapa CH ₄ dapat diemisikan dari bak pengendap dan unit operasi anaerobik lainnya. CH ₄ mungkin juga diemisikan di jaringan saluran pembuangan (hulu/ <i>upstream</i>) selama proses pengolahan turbulen dan/atau aerobik. Untuk instalasi pengolahan yang menerima limbah cair diluar kapasitas desain, penyusun inventori harus menilai jumlah bahan organik yang disisihkan di dalam lumpur.	0,03 4) (0,003 – 0,09)	0,018	0,0075

TIPE JALUR/SISTEM PENGOLAHAN DAN PEMBUANGAN	KOMENTAR	MCF 1) (Range)	EF 2) (Kg CH4/ kg BOD)	EF 2) (kg CH4/ kg COD)
Reaktor anaerobik, misal upflow anaerobic sludge blanket digestion (UASB)	CH4 recovery tidak dipertimbangkan disini.	0,8 (0,8 – 1,0)	0,48	0,2
Kolam anaerobik dangkal dan kolam fakultatif	Kedalaman kurang dari 2 meter, gunakan penilaian ahli.	0,2 (0 – 0,3)	0,12	0,05
kolam anaerobik dalam (Anaerobic deep lagoon)	Kedalaman lebih dari 2 meter.	0,8 (0,8 – 1,0)	0,48	0,2
Constructed wetlands	Lihat 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands (IPCC 2014)			
Septic tank	Septic tank mengemisikan CH4.	0,55) (0,4–0,72)	0,3	0,125
Tangki septik + bidang resapan ke tanah	Tangki septik mengeluarkan CH4. Emisi dari bidang resapan ke tanah/ lahan.dapat diabaikan.	0,5 5) (0,4 - 0,72)	0,3	0,125
Jamban (Latrine)	Iklim kering, muka air tanah lebih rendah dari jamban, keluarga kecil (3–5 orang).	0,1 (0,05 – 0,15)	0,06	0,025
Jamban (Latrine)	Iklim kering, muka air tanah lebih rendah dari jamban, komunal.	0,5 (0,4 – 0,6)	0,3	0,125
Jamban (Latrine)	Penggunaan di iklim basah atau dengan air bilasan (flush water), muka air tanah lebih tinggi dr jamban.	0,7 (0,7 - 1,0)	0,42	0,175
Digester anaerobik untuk lumpur	Lihat Pengolahan Sampah secara Biologis untuk metodologi estimasi emisi.			
Pengomposan	Emisi dilaporkan di Pengolahan Sampah secara Biologis			
Insinerasi dan pembakaran terbuka	Emisi dilaporkan di Insinerasi & Pembakaran Sampah secara Terbuka			
Sumber: 1. Berdasarkan penilaian ahli oleh Penulis Utama (di Volume 6, Chapter 6, 2019 Refinement). 2. Faktor emisi dihitung menggunakan <i>Bo default</i> dan <i>MCF default</i> . 3. Lihat Lampiran 6A.4 di Refinement 2019 . 4. Czepiel et al. 1993; Kozak et al.2009; Bellucci et al.2010; Wang et al.2011; Daelman et al.2013; Kyung et al.2015; Delre et al.2017). 5. Leverenz dkk. 2010; Diaz-Valbuena dkk. 2011; Truhlar dkk. 2016 .				
Catatan: EFj = Bo * MCFj				

Tabel 4.61. | MCF Default dan Resultante Faktor Emisi untuk Limbah Cair Industri

TIPE JALUR/SISTEM PENGOLAHAN DAN PEMBUANGAN	KOMENTAR	MCF 1) (Range)	EF 2) (kg CH4/ kg BOD)	EF 2) (kg CH4/ kg COD)
Pembuangan dari sistem diolah atau tidak diolah				
Pembuangan ke lingkungan akuatik (Tier 1)	Sebagian besar lingkungan akuatik (termasuk sungai) jenuh dalam CH4. Kelebihan nutrisi akan meningkatkan emisi CH4. Lingkungan di mana karbon terakumulasi dalam sedimen memiliki potensi yang lebih tinggi untuk menghasilkan metana.	0,11 (0,004 – 0,27)	0,068	0,028
Pembuangan ke lingkungan akuatik selain waduk, danau, dan muara (Tier 2).	Sebagian besar lingkungan akuatik (termasuk sungai) jenuh dalam CH4. Kelebihan nutrisi akan meningkatkan emisi CH4.	0,035 3) (0,004 - 0,06)	0,021	0,009
Pembuangan ke waduk, danau, dan muara (Tier 2).	Lingkungan di mana karbon terakumulasi dalam sedimen memiliki potensi yang lebih tinggi untuk menghasilkan metana.	0,19 3) (0,08 - 0,27)	0,114	0,048
Pembuangan ke tanah	Pembuangan lumpur dan/atau limbah cair ke tanah dapat menjadi sumber CH4 untuk pemupukan.	Emisi dilaporkan dalam Volume 4.		
Sistem pengolahan limbah cair				
Instalasi pengolahan aerobik terpusat	Beberapa CH4 dapat diemisikan dari bak pengendap dan spot/area anaerobik lainnya. Untuk instalasi pengolahan yang menerima limbah cair diluar kapasitas desain, penyusun inventori harus menilai jumlah bahan organik yang disisihkan dalam lumpur.	0 (0 – 0,1)	0	0
Reaktor anaerobik, misal upflow anaerobic sludge blanket digestion (UASB)	CH4 recovery tidak dipertimbangkan disini.	0,8 (0,8 – 1,0)	0,48	0,2
Kolam anaerobik dangkal (Anaerobic shallow lagoon) dan kolam fakultatif (facultative lagoons)	Kedalaman kurang dari 2 meter, gunakan penilaian ahli.	0,2 (0 – 0,3)	0,12	0,05
kolam anaerobik dalam (Anaerobic deep lagoon)	Kedalaman lebih dari 2 meter.	0,8 (0,8 – 1,0)	0,48	0,2
Constructed wetlands	Lihat 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands (IPCC 2014)			
Sistem pengolahan lumpur				
Digester anaerobik untuk lumpur	Lihat Bab 4 untuk metodologi emisi.	Lihat Bab 4, Tabel 4.1		
Pengomposan	Emisi dilaporkan di Volume 5, Bab 4.	Lihat Bab 4, Tabel 4.1		
Insinerasi dan pembakaran terbuka	Emisi dilaporkan di Volume 5, Bab 5.	Lihat Bab 5		
Sumber: 1. Berdasarkan penilaian ahli oleh Penulis Utama (di Volume 6, Chapter 6, 2019 Refinement). 2. Faktor emisi dihitung menggunakan Bo default dan MCF default. 3. Lihat Lampiran 6A.4 di Refinement 2019.				
Catatan: EFj = Bo * MCFj				

4.4.3. PERHITUNGAN ESTIMASI TINGKAT EMISI GRK SEKTOR LIMBAH

Pada sektor limbah, emisi langsung berasal dari kegiatan: (a). Penimbunan sampah di TPA, (b). Pengolahan sampah secara biologis, (c). Pengolahan sampah secara thermal & pembakaran sampah secara terbuka, (d). Pengolahan dan pembuangan limbah cair domestik dan industri. Berdasarkan tipe gas, CH₄ umumnya merupakan GRK utama dari emisi langsung di sektor limbah.

4.4.3.1. Estimasi emisi CH₄ dari Penimbunan Limbah Padat

Tahun awal timbunan terhitung (input sampah ke *landfill* TPA) adalah pada saat *landfill* TPA mulai beroperasi. Jika data terdahulu tidak tersedia, lihat cara mengisi data dalam Subbab Data aktivitas. Model *First Order Decay* dalam **IPCC 2006** digunakan untuk mengestimasi emisi CH₄ dari penimbunan limbah padat di *landfill* TPA (*Solid Waste Disposal Site, SDWS*), dengan formula, sebagai berikut:

- **CH₄ emissions_T, Gg** = $[\sum \text{CH}_4 \text{ generated}_{x,T} - RT] * (1 - OXT)$
- **CH₄ generated_T** = $DDOCm_{decompT} * F * 16/12$
- **DDOC_{mdecompT}** = $DDOCm_aT - 1 * (1 - e^{-k})$
- **DDOC_{maT}** = $DDOCm_dT + (DDOCm_aT - 1 - e^{-k})$
- **DDOC_m** = $W * DOC * DOC_f * MCF$

Di mana:

CH₄ Emissions_T	: Emisi pada tahun T,
$\sum \text{CH}_4 \text{ generated}_{x,T}$	: Jumlah dari potensi emisi pada tahun T dari berbagai komponen sampah,
RT	: Banyaknya CH ₄ yang di- <i>recovery</i> untuk dimanfaatkan atau dibakar dan,
OXT	: Faktor oksidasi.
DDOC_m	: Massa DOC tersimpan di SWDS yang dapat terdekomposisi, Giga gram (Gg).
DDOC_{mdecompT}	: DDOC _m pada tahun T, Gg.
DDOC_{maT}	: DDOC _m yang terakumulasi di SWDS pada akhir tahun T, Gg.
DDOC_{mdT}	: DDOC _m yang disimpan di SWDS pada tahun T, Gg.
F	: Fraksi (%volume) CH ₄ pada LFG yang ditimbulkan.
W	: Massa sampah yang tersimpan di SWDS, Gg
DOC	: DOC pada tahun penyimpanan, fraksi (Ggram C/Ggram sampah).
DOC_f	: Fraksi DOC yang dapat terdekomposisi.
MCF	: Faktor koreksi (dekomposisi aerobik) di tahun penyimpanan, fraksi.
Catatan	: Gg = 1.000 ton

4.4.3.2. Estimasi emisi CH₄ dan N₂O dari Pengolahan Sampah secara Biologis

Emisi CH₄ dan N₂O dari pengolahan sampah secara biologis, baik dengan komposting maupun *anaerobic digestion*, dihitung dengan (IPCC, 2006):

- **Emisi CH₄** = Massa sampah yang diolah (ton) x FE (kg CH₄/ton sampah diolah) - *recovered/flared methane*.
- **Emisi N₂O** = Massa sampah yang diolah x FE (kg N₂O/ton sampah diolah).

4.4.3.3. Estimasi emisi CO₂, CH₄ dan N₂O dari Pengolahan Sampah secara Termal

Emisi GRK dari pengolahan termal limbah termasuk: insinerasi, pirolisis, gasifikasi, plasma dan pembakaran terbuka tanpa *energy recovery* dilaporkan di Sektor Limbah, sedangkan pengolahan dengan *energy recovery* dilaporkan di Sektor Energi, keduanya dengan pemisahan pada emisi CO₂ dari fosil dan biogenik. Emisi dari sumber-sumber ini, adalah:

Estimasi emisi CO₂

Hanya emisi CO₂ yang dihasilkan karbon fosil dalam limbah, misal: plastik, tekstil tertentu, karet, pelarut cair, dan limbah minyak, yang teroksidasi selama proses insinerasi dan pembakaran terbuka, yang dihitung emisinya. Emisi CO₂ dari insinerasi dan pembakaran sampah secara terbuka, adalah:

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

Dengan:

Emisi CO₂ : emisi CO₂ dalam tahun inventori, Ggram/th.

- MSW** : Jumlah total dari limbah padat perkotaan sebagai berat-basah insinerasi atau pembakaran terbuka, Ggram/th.
- WF_j** : Fraksi tipe limbah dari komponen j dalam MSW (berat-basah insinerasi atau pembakaran terbuka).
- Dm_j** : Kandungan zat-kering dalam komponen j pada MSW insinerasi atau pembakaran terbuka, (fraksi).
- CF_j** : Fraksi karbon dalam bahan kering (kandungan karbon) pada komponen j.
- FCF_j** : Fraksi fosil karbon dalam total karbon pada komponen j.
- Of_j** : Faktor oksidasi, (fraksi).
- 44/12** : Faktor konversi dari C ke CO₂.

Catatan:

- 1** : $\sum_j \text{WF}_j$.
- j** : Komponen dari MSW insinerasi/pembakaran terbuka (kertas/kardus, tekstil, sisa makanan, kayu, limbah kebun dan taman, diapers sekali pakai, karet, plastik, logam, kaca, limbah tak terbakar lain).

Estimasi emisi CH₄ dan N₂O

Emisi CH₄ dan N₂O dari pengolahan sampah secara termal merupakan hasil dari pembakaran yang tidak sempurna, yang dihitung dengan:

$$EmisiCH_4 = \sum (IW_i * EF_{CH_4,i} *) * 10^{-6}$$

$$EmisiN_2O = \sum (IW_i * EF_{N_2O,i} *) * 10^{-6}$$

Dengan:

Emisi CH₄ : Emisi CH₄ dalam tahun inventori, Gg.

Emisi N₂O : Emisi N₂O dalam tahun inventori, Gg.

IW_i : Volume limbah yang diolah secara termal per tipe pengolahan, Gg

EF_{CH₄, i} : Faktor emisi CH₄ untuk tipe pengolahan i, Gg CH₄/Gg limbah terolah.

EF_{N₂O, i} : Faktor emisi N₂O untuk tipe pengolahan i, Gg N₂O/Gg limbah terolah.

4.4.3.4. Estimasi emisi CH₄ dan N₂O dari Pengolahan dan Pembuangan Limbah Cair Domestik

Limbah cair dapat menjadi sumber metana (CH₄) saat diolah, dibuang secara anaerob, atau saat CH₄ terlarut masuk ke dalam sistem pengolahan aerasi. Kondisi ini juga dapat menjadi sumber emisi dinitrogen oksida atau *nitrous oxide* (N₂O). Emisi karbon dioksida (CO₂) dari limbah cair tidak dipertimbangkan karena berasal dari bahan organik biogenik dalam kotoran manusia atau sisa makanan, dan tidak boleh dimasukkan dalam total emisi

Limbah cair domestik berasal dari sumber rumah tangga dan komersial, dapat diolah on-site (tidak dikumpulkan) dan/atau dialirkan ke IPAL terpusat, atau dibuang tanpa diolah ke badan air atau saluran drainase terdekat. Karena metodologi berdasarkan per orang, emisi dari limbah cair komersial diperkirakan sebagai bagian dari limbah cair domestik. Limbah cair domestik adalah campuran limbah cair rumah

tangga, komersial dan industri tidak berbahaya, yang diolah di IPAL. Sistem pengolahan dan pembuangan dapat berbeda antar daerah, antar pengguna di pedesaan dan perkotaan, serta untuk pengguna perkotaan dengan pendapatan tinggi dan rendah.

Lumpur diproduksi di semua tahap pengolahan primer, sekunder dan tersier. Lumpur yang dihasilkan dalam pengolahan primer terdiri dari padatan yang dikeluarkan dari limbah cair. Lumpur yang dihasilkan dari pengolahan sekunder dan tersier merupakan hasil dari pertumbuhan biologis dalam biomassa, serta pengumpulan partikel-partikel kecil. Lumpur ini harus diolah lebih lanjut sebelum dapat dibuang dengan aman. Metode pengolahan lumpur meliputi: stabilisasi aerobik dan anaerobik, pengkondisian, sentrifugasi, pengomposan, dan pengeringan. Beberapa lumpur di-insinerasi sebelum dibuang

ke lahan. Emisi dari penguraian lumpur anaerobik, dimana penggunaan utama digester adalah untuk pengolahan padatan di limbah cair, harus dilaporkan dalam Pengolahan Limbah Cair. Penimbunan lumpur, pengomposan, dan insinerasi lumpur, masing – masing dibahas pada Sub-sektor 4A: Pembuangan Limbah Padat, 4B: Pengolahan Biologis, dan 4C1: insinerasi. Emisi N₂O dari lumpur dan limbah cair yang disebar di

lahan pertanian dibahas di emisi N₂O dari tanah yang dikelola, Emisi N₂O dari tanah yang dikelola, dan emisi CO₂ dari aplikasi urea, di Sektor AFOLU.

Emisi CH₄ dari limbah cair domestik, dalam tahun inventori, untuk setiap jalur/sistem pengolahan dan pembuangan, **j**, adalah (**Refinement IPCC, 2019**):

$$CH_4 \text{ Emissions}_j = \left[(TOW_j - S_j) \cdot EF_j - R_j \right]$$

Di mana:

- Emisi CH₄ j** : Emisi CH₄ dari jalur/sistem pengolahan dan pembuangan, **j**, kg CH₄/tahun.
- TOW_j** : Organik dalam limbah cair dari jalur/sistem pengolahan dan pembuangan, **j**, kg BOD/tahun.
- S_j** : Komponen organik removal (yang disisihkan) dari limbah cair (berupa lumpur), dari jalur/sistem pengolahan dan pembuangan, **j**, kg BOD/tahun. Untuk limbah cair yang dibuang ke lingkungan perairan, tidak ada penyisihan lumpur (**S_j** = 0) dan tidak ada CH₄ recovery (**R_j** = 0).
- j** : Setiap jalur/sistem pengolahan dan pembuangan.
- EF_j** : Faktor emisi untuk jalur/sistem pengolahan dan pembuangan, **j**, kg CH₄/kg BOD.
- R_j** : Jumlah CH₄ yang di-recovery atau di-flare dari jalur/sistem pengolahan dan pembuangan, **j**, kg CH₄/tahun. Nilai defaultnya adalah nol.

Sedangkan emisi CH₄ total dari pengolahan/pembuangan limbah cair domestik, adalah (**Refinement IPCC, 2019**):

$$CH_4 \text{ Emissions} = \sum_j [CH_4 \text{ Emissions}_j] \cdot [10^{-6}]$$

Di mana:

- Emisi CH₄** : Emisi CH₄, kg CH₄/tahun.
- Emisi CH₄ j** : Emisi CH₄ dari jalur/sistem pengolahan dan pembuangan, **j**, kg CH₄/tahun.
- j** : Setiap jalur/sistem pengolahan dan pembuangan.
- 10-6 : konversi kg ke Gg.

Emisi N₂O dari IPAL domestik, dalam tahun inventori, adalah (**Refinement IPCC, 2019**):

$$N_2O_{Plants_{DOM}} = \left[\sum_{i,j} (U_i \cdot T_{ij} \cdot EF_j) \right] \cdot TN_{DOM} \cdot \frac{44}{28}$$

Dengan:

- N₂O Plants_{DOM}** : Emisi N₂O dari IPAL domestik, kg N₂O/tahun.
TN_{DOM} : Nitrogen total dalam limbah cair domestik pd tahun inventori, kg N/tahun.
U_i : Fraksi populasi dalam kelompok pendapatan i.
T_{ij} : Tingkat pemanfaatan jalur/sistem pengolahan dan pembuangan j, untuk setiap fraksi kelompok pendapatan i.
i : Kelompok pendapatan: pedesaan, perkotaan berpenghasilan tinggi, & perkotaan berpenghasilan rendah.
j : Setiap jalur/sistem pengolahan dan pembuangan.
EF_j : Faktor emisi untuk jalur/sistem pengolahan atau pembuangan j, kg N₂O-N / kg N
Faktor 44/28 : Konversi kg N₂O-N menjadi kg N₂O.

Sedangkan untuk memperkirakan emisi N₂O langsung yang timbul dari pembuangan limbah cair (diolah atau tidak diolah) ke lingkungan penerima akuatik, adalah (**Refinement IPCC, 2019**):

$$N_2O_{EFFLUENT,DOM} = N_{EFFLUENT,DOM} \cdot EF_{EFFLUENT} \cdot \frac{44}{28}$$

Dengan:

- N₂O EFFLUENT, DOM** : Emisi N₂O dari effluen limbah cair domestik, kg N₂O/tahun.
N_{EFFLUENT, DOM} : Nitrogen dalam effluen yg dibuang ke lingkungan akuatik, kg N/tahun.
EF_{EFFLUENT} : Faktor emisi untuk emisi N₂O dari limbah cair yang dibuang ke sistem perairan, kg N₂O-N/kg N.
Faktor 44/28 : Konversi kg N₂O-N menjadi kg N₂O.

4.4.3.5. Estimasi emisi CH₄ dan N₂O dari Pengolahan dan Pembuangan Limbah Cair Industri

Potensi produksi CH₄ dari aliran limbah cair industri didasarkan pada konsentrasi bahan organik yang dapat terdegradasi dalam limbah cair, volume limbah cair, dan kecenderungan sektor industri untuk mengolah limbah cair dalam sistem anaerobik. Dengan menggunakan kriteria ini, sumber limbah cair industri utama dengan potensi produksi gas CH₄ tinggi, sbb:

- Produksi pulp dan kertas;
- Pengolahan daging dan unggas (rumah potong hewan);

- Produksi alkohol, bir, pati;
- Produksi bahan kimia organik;
- Pengolahan makanan dan minuman lainnya (produk susu, minyak sayur, buah-buahan dan sayuran, pengalengan, pembuatan jus, dll.).
- Pengolahan POME (industri sawit).

Persamaan umum untuk memperkirakan emisi CH₄ dari limbah cair industri, dalam tahun inventori, adalah (**Refinement IPCC, 2019**):

$$CH_4 \text{ Emissions} = \sum_i [(TOW_i - S_i) \cdot EF_i - R_i] \cdot 10^{-6}$$

z

- Emisi CH₄** : Emisi CH₄ dalam tahun inventori, Gg CH₄/tahun.
- TOW_i** : Total bahan organik yang dapat terurai dalam limbah cair dari industri i, kg COD/tahun.
- i** : Sektor industri.
- S_i** : Komponen organik yang disisihkan dari limbah cair (berupa lumpur), kg COD/tahun.
- EF_i** : Faktor emisi untuk industri i, kg CH₄/kg COD untuk jalur/sistem pengolahan dan pembuangan yang digunakan. Jika lebih dari satu praktik pengolahan digunakan dalam suatu industri, faktor ini perlu menjadi rata-rata tertimbang.
- R_i** : Jumlah CH₄ yang di-*recovery* atau di-*flare* pada tahun inventori, kg CH₄/tahun
- 10⁻⁶** : Konversi kg ke Gg.

Sedangkan, emisi N₂O dari IPAL industri, dalam tahun inventori, dihitung dengan:

$$N_2O\ Plants_{IND} = \left[\sum_i (T_{i,j} \cdot EF_j \cdot TN_{IND_i}) \right] \cdot \frac{44}{28}$$

Dengan:

- N₂O Plants_{IND}** : Emisi N₂O dari IPAL industri, kg N₂O/tahun.
TN_{INDi} : Total nitrogen dalam air limbah dari industri i, kg N/tahun.
T_{i,j} : Tingkat pemanfaatan jalur/sistem pengolahan dan pembuangan j, untuk setiap industri i.
i : Industri.
j : Setiap jalur/sistem pengolahan dan pembuangan.
EF_j : Faktor emisi untuk jalur/sistem pengolahan dan pembuangan j, kg N₂O-N/kg N.
Faktor 44/28 : Konversi kg N₂O-N menjadi kg N₂O.

Di badan air, emisi N₂O dari efluen limbah cair industri, pada tahun inventori, dihitung dengan:

$$N_2O_{Effluent}_{IND} = N_{EFFLUENT, IND} \cdot EF_{EFFLUENT} \cdot \frac{44}{28}$$

Di mana:

- N₂Oeffluent_{IND}** : Emisi N₂O dari limbah cair industri, kg N₂O/tahun.
NEFFLUENT, IND : Nitrogen dalam limbah cair industri yang dibuang ke lingkungan perairan, kg N/tahun.
EFEFFLUENT : Faktor emisi untuk emisi N₂O dari air limbah yang dibuang ke sistem perairan, kg N₂O-N/kg N.
Faktor 44/28 : Konversi kg N₂O-N menjadi kg N₂O.

BAB 5

ANALISIS TINGKAT KETIDAKPASTIAN ('UNCERTAINTY ANALYSIS')



Dalam penyelenggaraan inventarisasi seringkali tidak bisa dihindari penggunaan asumsi untuk membangkitkan data yang tidak ada dari jenis data lain yang tersedia. Data yang tersediapun mengandung kesalahan akibat proses pengukuran atau alat yang digunakan, sehingga bila data ini digunakan untuk memperkirakan emisi/serapan GRK tingkat kesalahannya tetap ada dan terakumulasi. Oleh karena itu, emisi/serapan yang diperoleh dari perkalian data aktivitas dengan faktor emisi perlu diketahui. Analisis ketidakpastian merupakan analisis untuk menilai sebesar apa kesalahan hasil perkiraan emisi/serapan (tingkat *uncertainty*).

Ketidakpastian bersumber dari (i) konseptualisasi asumsi, (ii) pemilihan model dan (iii) input data serta asumsi-asumsinya. Asumsi-asumsi dan metode yang dipilih akan menentukan banyak dan jenis kebutuhan data dan informasi yang

diperlukan. Bisa juga ada interaksi antara asumsi, data dan metode yang dipilih, misalnya suatu kategori emisi bisa dipecah menjadi beberapa sub-kategori, sehingga diperlukan metodologi yang lebih rinci. Namun karena keterbatasan data, hal tersebut tidak bisa dilakukan sehingga diasumsikan bahwa pendugaan emisinya diwakili oleh satu kategori saja dan bisa diduga dengan menggunakan metode yang lebih sederhana.

Ada dua pendekatan untuk mengkuantifikasikan besarnya tingkat uncertainty dari nilai dugaan emisi dan serapan, yaitu: (a). Perbanyakan kesalahan (*propagation of error*) dan (b). Simulasi Monte Carlo (*Monte Carlo Simulation*). Pendekatan pertama menghitung ketidakpastian (*uncertainty*) emisi/serapan dari berbagai sumber tahun tertentu melalui perkalian ataupun perkalian dan penjumlahan. Rumus pada pendekatan penjumlahan adalah sebagai berikut:

Sementara untuk pendekatan penjumlahan dan perkalian adalah:

$$U_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 \dots + U_n^2}$$
$$U_{total} = \frac{\sqrt{(U_1 \cdot x_1)^2 + (U_2 \cdot x_2)^2 + \dots + (U_n \cdot x_n)^2}}{|x_1 + x_2 + \dots + x_n|}$$

Dimana U ialah persen *uncertainty* dari emisi dan x ialah nilai emisi.

Pendekatan kedua sesuai untuk digunakan untuk menilai *ketidakpastian* dari dugaan emisi/serapan yang data aktivitas atau faktor emisinya tidak mengikuti sebaran normal dan algoritma perhitungan memiliki fungsi yang relatif kompleks dan ada korelasi antar data aktivitas dan antar faktor emisi atau antara keduanya. Untuk melakukan analisis *uncertainty* dengan pendekatan simulasi Monte Carlo dapat digunakan *stochastic spreadsheet* seperti *Cristal Ball*.

BAB 6

ANALISIS TINGKAT KETIDAKPASTIAN ('UNCERTAINTY ANALYSIS')



Banyak kategori-kategori dalam inventarisasi GRK memiliki emisi/serapan yang kecil dan berdampak kecil pada total akhir atau tren dari emisi.

Umumnya, ketidakpastian inventarisasi GRK lebih rendah ketika emisi dan serapan diperkirakan menggunakan metode *tier* yang lebih tinggi (*Tier 1* atau *Tier 2*), tetapi metode ini membutuhkan sumber daya yang banyak untuk pengumpulan data, sehingga tidak layak untuk digunakan untuk setiap kategori emisi dan serapan.

Oleh karena itu, perbaikan estimasi GRK hanya fokus pada kategori-kategori inventarisasi GRK

yang memiliki dampak besar dengan sumberdaya tersedia perlu. Adalah praktik yang baik untuk mengidentifikasi kategori kunci nasional secara sistematis.

Kategori kunci (KC) adalah emisi atau serapan yang menjadi prioritas dalam sistem inventarisasi GRK karena besar emisi/serapan berkontribusi besar terhadap total inventarisasi baik dari *nilai mutlak*, *tren* dan *tingkat ketidakpastiannya*. Analisis kategori kunci ini diperlukan untuk:



Membantu mengidentifikasi sumber/rosot yang perlu mendapat prioritas dalam pelaksanaan program perbaikan kualitas data aktivitas maupun faktor emisi apabila sumberdaya terbatas.



Membantu untuk mengidentifikasi sumber/rosot dalam perhitungan emisi/serapan perlu yang menggunakan tier yang lebih tinggi



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

Kategori Kunci adalah semua sumber/rosot yang apabila dijumlahkan nilai absolut emisi/serapannya yang diurutkan dari terbesar ke terkecil (*rank*) mencapai 95% dari total emisi. Penilaian kuantitatif meliputi dua pendekatan yang mengidentifikasi kontribusi terhadap tingkat emisi dan serapan absolut nasional (penilaian tingkat, *level assessment*) dan kecenderungan terhadap emisi dan serapan (penilaian tren, *trend assessment*).

Pendekatan 1

mengurutkan sumber/rosot berdasarkan kontribusinya terhadap total emisi menggunakan nilai batas emisi kumulatif.

Pendekatan 2

digunakan apabila *uncertainty* dari emisi atau parameter tersedia. Kategori kunci diurut berdasarkan kontribusinya terhadap nilai *uncertainty*. Hasil kedua pendekatan ini digunakan untuk menetapkan kegiatan prioritas untuk perbaikan inventarisasi GRK. **Gambar 6.3** menyajikan pohon pengambilan keputusan untuk metode mana yang akan digunakan dalam mengidentifikasi kategori kunci.

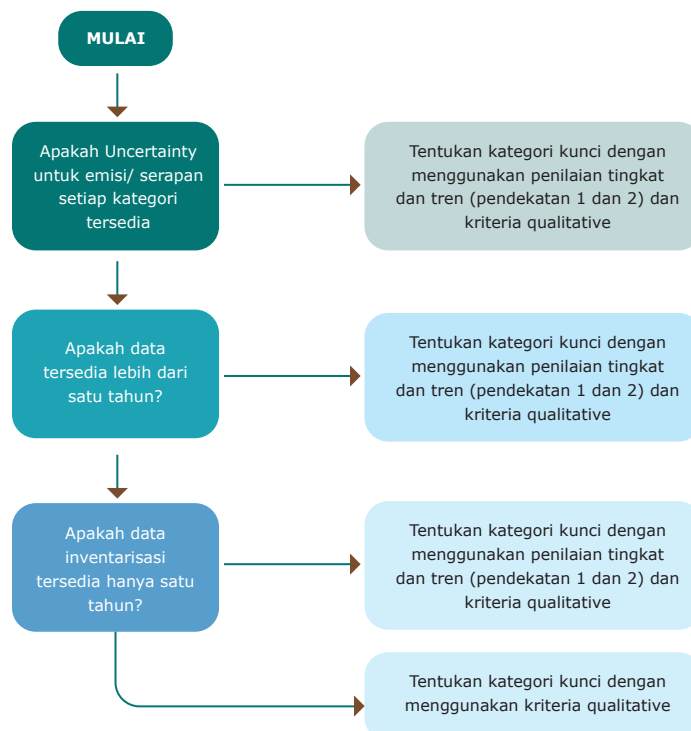
Pendekatan pertama digunakan untuk menentukan kategori kunci dari hasil inventarisasi GRK satu tahun atau lebih dari satu tahun. Apabila inventarisasi GRK hanya 1 tahun maka analisis kategori kunci dilakukan berdasarkan penilaian terhadap tingkat emisi (*Level Assessment*) dan apabila lebih dari satu tahun dilakukan berdasarkan penilaian terhadap tren emisi (*Trend Assessment*). Rumus yang digunakan untuk *Level Assessment* adalah dalam bentuk persamaan berikut:

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

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

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

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



Gambar 6.8. | Pohon Pengambilan Keputusan dalam Pemilihan Pendekatan yang Digunakan untuk Penentuan Kategori Kunci (IPCC, 2008)

Sementara untuk *Trend Assessment* rumus yang digunakan adalah dalam bentuk persamaan berikut:

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

Di mana:

- $T_{x,t}$** : Penilaian tren untuk sumber dan rosot kategori ke-x tahun ke-t dibanding tahun ke-0 (tahun dasar)
- $|E_{x,0}|$** : Nilai absolut emisi atau serapan dari sumber atau rosot kategori ke-x tahun ke-0
- $E_{x,t}$ dan $E_{x,0}$** : Nilai estimasi emisi/serapan ril dari sumber/rosot kategori ke-x tahun ke-t dan tahun ke-0
- $T_{x,t} = \left| E_{x,t} / \sum_y |E_{y,0}| \right|$** : Total dugaan emisi tahun ke-t dan tahun ke-0

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

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

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

Level Assessment:

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

Di mana:

- $LU_{x,t}$** : Penilaian tingkat dengan ketidakpastian U untuk kategori x pada tahun t
- $L_{x,t}$** : Penilaian tingkat dan $U_{x,t}$ ketidakpastian untuk kategori x pada tahun t

Trend Assessment:

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

Di mana:

- $TU_{x,t}$** : Penilaian tren dengan ketidakpastian U untuk kategori x pada tahun t
- $T_{x,t}$** : Penilaian tren dan $U_{x,t}$ ketidakpastian untuk kategori x pada tahun t

BAB 7

PENJAMINAN DAN PENGENDALIAN - QA/QC



Untuk mencapai tujuan dari inventarisasi GRK harus diterapkan sistem penjaminan dan pengendalian mutu atau *Quality Assurance/Quality Control* (QA/QC). Penjaminan dan pengendalian mutu dan juga kegiatan verifikasi harus menjadi bagian dari proses inventarisasi untuk menghasilkan Inventarisasi GRK yang berkualitas. Hasil QA/QC dan verifikasi dapat menyarankan penilaian ulang inventarisasi atau estimasi ketidakpastian kategori dan perbaikan selanjutnya dalam estimasi emisi atau serapan.

7.1. Pengendalian Mutu



Pengendalian Mutu (QC) merupakan suatu sistem pelaksanaan kegiatan rutin yang ditujukan untuk menilai dan memelihara kualitas dari data dan informasi yang dikumpulkan dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK. QC dilakukan oleh orang yang bertanggungjawab dalam pengumpulan data dan informasi tersebut. Sistem pengendalian mutu biasanya dirancang untuk:



Menyediakan mekanisme pengecekan rutin dan konsisten agar data yang dikumpulkan memiliki integritas, benar dan lengkap.



Mengidentifikasi dan mengatasi kesalahan dan kehilangan data;



Mendokumentasikan dan menyimpan semua data dan informasi untuk inventarisasi GRK dan mencatat semua aktivitas pengendalian mutu yang dilakukan.

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

Prosedur Pelaksanaan Pengendalian Mutu (QC)

Walaupun QC dirancang untuk melaksanakan pengendalian mutu untuk semua kategori sumber/rosot GRK, akan tetapi mempertimbangkan keterbatasan sumberdaya, pelaksanaan QC yang rutin tahunan dapat diarahkan pada beberapa data dan proses terpilih saja, sedangkan yang lainnya dilakukan dalam periode tertentu saja sesuai dengan yang ditetapkan dalam perencanaan QA/QC. Secara umum prosedur pengendalian mutu untuk inventarisasi GRK yang perlu dilakukan oleh penyusun Inventarisasi dapat dilihat pada **Tabel 7.1** di bawah.

AKTIVITAS QC	PROSEDUR
Mengecek apakah asumsi dan kriteria untuk memilih data aktivitas, faktor emisi dan parameter dugaan lainnya terdokumentasi dengan baik	▪ Cek ulang deskripsi data aktivitas, faktor emisi dan parameter lainnya serta informasi pendukung lainnya dan memastikan bahwa semuanya tercatat dan tersimpan dengan baik
Mengecek apakah ada kesalahan pada input data, transkrip, atau referensi	▪ Konfirmasi ulang bahwa bibliografi dan referensi yang digunakan sudah disitir semuanya di dalam dokumen internal ▪ Cek ulang kesalahan transkrip untuk sejumlah input data untuk setiap kategori sumber/rosot yang digunakan dalam perhitungan
Mengecek apakah emisi dan serapan GRK dihitung dengan benar	▪ Hitung ulang emisi dan serapan untuk beberapa kategori sumber/rosot khususnya yang masuk kategori kunci ▪ Gunakan metode sederhana untuk menghitung ulang emisi dan serapan dan cek apakah hasilnya tidak berbeda banyak dengan metode yang lebih kompleks yang digunakan dalam inventarisasi GRK sehingga bisa dipastikan bahwa tidak ada kesalahan dalam memasukkan input data dan perhitungan.
Mengecek apakah parameter dan satuan yang digunakan dicatat dengan baik dan faktor konversi satuan digunakan dengan benar	▪ Cek apakah satuan yang digunakan sudah dimasukkan dengan baik dalam lembar kerja perhitungan ▪ Cek bahwa satuan yang benar digunakan mulai dari awal sampai akhir perhitungan ▪ Cek bahwa faktor konversi sudah benar ▪ Cek faktor penyesuaian baik temporal maupun spasial sudah digunakan dengan benar
Mengecek apakah file basis data tertata dengan baik	▪ Cek sistem dokumentasi yang ada untuk mengonfirmasi bahwa tahapan dalam pengolahan data sudah terdokumentasi dengan benar dalam sistem basis data ▪ Mengonfirmasi bahwa semua data sudah tersimpan dengan baik di dalam sistem basis data ▪ Memastikan bahwa semua <i>field</i> data sudah dilabel dengan benar dan memiliki spesifikasi yang benar ▪ Memastikan bahwa dokumentasi basis data, struktur model, dan operasi sudah disimpan
Mengecek apakah data antar kategori sudah konsisten	▪ Identifikasi parameter (e.g. data aktivitas, konstanta) yang digunakan di beberapa kategori dan cek konsistensinya

AKTIVITAS QC	PROSEDUR
Mengecek apakah perpindahan data inventarisasi antar tahapan analisis sudah benar	▪ Cek bahwa data emisi dan serapan GRK sudah diagregasi dengan benar dalam laporan-laporan inventarisasi GRK ▪ Cek apakah data emisi dan serapan GRK sudah tercatat dengan benar di berbagai produk laporan inventarisasi GRK
Mengecek apakah pendugaan dan perhitungan <i>uncertainty</i> emisi dan serapan GRK sudah dilakukan dengan benar	▪ Cek bahwa kualifikasi pakar yang memberikan penilaian (expert judgement) terhadap <i>uncertainty</i> memenuhi kriteria kepakaran. ▪ Cek bahwa kualifikasi, asumsi, dan penilaian pakar sudah dicatat. ▪ Cek bahwa perhitungan <i>uncertainty</i> lengkap dan dihitung dengan benar ▪ Jika perlu, ulang perhitungan <i>uncertainty</i> dengan jumlah contoh yang kecil dengan menggunakan simulasi Monte Carlo
Mengecek apakah seri data konsisten	▪ Cek konsistensi data seri input untuk setiap kategori untuk semua tahun ▪ Cek konsistensi algoritma/metode yang digunakan dalam perhitungan di semua tahun ▪ Cek perubahan metodologi dan data dalam perhitungan ulang (<i>recalculations</i>). ▪ Cek bahwa efek pelaksanaan mitigasi sudah direfleksikan dengan baik dalam perhitungan emisi GRK.
Mengecek kelengkapan	▪ Konfirmasi bahwa dugaan emisi dan serapan GRK sudah dilaporkan untuk semua kategori untuk semua tahun mulai dari tahun dasar sampai tahun inventarisasi terakhir ▪ Untuk sub-kategori, konfirmasi bahwa semua kategori sudah tercakup. ▪ Berikan definisi yang jelas untuk kategori sumber/roket GRK lain apabila ada. Cek bahwa gap data yang menghasilkan estimasi yang tidak lengkap didokumentasi termasuk evaluasi kualitatif tentang pentingnya sumbangan emisi dari kategori tersebut terhadap total emisi (e.g., sub-kategori yang diklasifikasi sebagai 'tidak' diestimasi atau NE (lihat sub-bab 3.1 di atas)
Mengecek tren	▪ Untuk setiap kategori sumber/roket, estimasi emisi dan serapan tahun inventarisasi terbaru dapat dibandingkan dengan tahun-tahun sebelumnya. Apabila ditemui adanya perubahan yang signifikan, cek ulang nilai dugaan dan berikan penjelasan terhadap setiap perubahan yang ada. Perubahan yang sangat besar dari hitungan emisi tahun sebelumnya menunjukkan adanya kemungkinan kesalahan input atau perhitungan, kecuali kalau ada penjelasan dan data pendukung bahwa perubahan yang besar tersebut benar. ▪ Cek nilai <i>implied emission factor</i> atau IEF (emisi agregat dibagi dengan data aktivitas) untuk semua tahun dan cek apakah ada perubahan yang besar. ▪ Cek apakah ada nilai IEF pencila yang tidak bisa dijelaskan? ▪ Jika tetap atau tidak ada perubahan nilai IEF, apakah ada perubahan emisi dan serapan? ▪ Cek jika ada tren yang tidak biasa atau ganjil dari data aktivitas atau parameter lainnya untuk semua tahun inventarisasi.

AKTIVITAS QC	PROSEDUR
Mengecek apakah sistem pendokumentasian dan penyimpanan data internal berjalan baik	▪ Cek keberadaan dokumen internal yang rinci yang mendukung inventarisasi GRK dan bisa digunakan untuk memproduksi ulang emisi, serapan dan uncertainty ▪ Cek bahwa data inventarisasi GRK, data pendukung dan catatan-catatan inventarisasi lainnya disimpan dengan baik untuk bisa digunakan dalam proses review dan verifikasi ▪ Cek bahwa sistem penyimpanan data tertutup dan tersimpan di tempat aman setelah inventarisasi selesai disusun ▪ Cek sistem penyimpanan data inventarisasi GRK terintegrasi dengan baik dengan sistem penyimpanan data organisasi lain yang terlibat dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK.

Penjaminan Mutu

Penjaminan Mutu (QA) adalah suatu sistem yang dikembangkan untuk melakukan *review* yang dilaksanakan oleh seseorang yang secara langsung tidak terlibat dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK. Oleh karena itu orang yang melakukan *review* seyogyanya pihak ketiga yang independen. Proses *review* dilakukan setelah inventarisasi GRK selesai dilaksanakan

dan sudah melewati proses pengendalian mutu (QC). Kegiatan *review* ini akan memverifikasi bahwa penyelenggaraan inventarisasi GRK sudah mengikuti prosedur dan standar yang berlaku dan menggunakan metode terbaik sesuai dengan perkembangan pengetahuan terkini dan ketersediaan data dan didukung oleh program pengendalian mutu (QC) yang efektif.

Prosedur Penjaminan Mutu (QA)

Untuk penjaminan mutu, kegiatan *review* dan verifikasi perlu dilakukan terhadap seluruh kategori. Namun demikian, mempertimbangkan ketersediaan sumberdaya, maka kegiatan QA perlu difokuskan untuk kategori kunci atau untuk kategori dimana dilakukan perubahan metode atau ada perubahan data yang cukup besar. Pelaksana inventarisasi GRK dapat melakukan *review* yang lebih intensif apabila dana tersedia melalui lembaga audit yang ada atau bisa juga mengundang penyusun inventarisasi dari daerah atau negara lain atau pakar yang ahli di bidang terkait yang memiliki kompetensi dalam bidang inventarisasi GRK.

BAB 8

PENUTUP



Inventarisasi GRK merupakan tahap awal yang esensial dalam upaya mitigasi perubahan iklim. Namun sayangnya, pada tahap ini masih cukup banyak kendala yang dihadapi, terutama terkait dengan komunikasi antar lembaga dalam pengumpulan data, serta ketersediaan data yang diperlukan dalam perhitungan inventarisasi GRK.

Beberapa kota/kabupaten telah membentuk tim Kelompok Kerja (Pokja) perubahan iklimnya sendiri untuk dapat menjalankan kegiatan inventarisasi GRK dengan baik dan terstruktur. Hal

ini tentunya merupakan langkah awal yang baik dan merupakan salah satu perwujudan komitmen dari kota/kabupaten tersebut.

Para anggota yang tergabung di dalam tim Pokja Perubahan Iklim kota/kabupaten tentu saja harus terus berusaha meningkatkan kapasitas agar dapat melaksanakan tugas perhitungan inventarisasi GRK yang sesuai standar dan menghasilkan hasil perhitungan yang handal. Semoga modul ini dapat menjadi salah satu alat dalam mencapai tujuan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Boer, R., Rakhman, A., Ramadhan, D P., Bachtiar, Y. 2020. Kajian dan Evaluasi Sistem Informasi Data Indeks Kerentanan (SIDIK). Project on Capacity Development for the Implementation of Climate Change Strategy Phase 2. JICA
- Boer, R., dan Rakhman, A. 2021. Perbaikan Perhitungan Kerentanan Pada Sistem SIDIK. Project on Capacity Development for the Implementation of Climate Change Strategy Phase 2. JICA
- Coin, D. (2008). Testing normality in the presence of outliers. *Stat. Meth. & Appl.* 17, 3–12.
- Ge, Y.; Dou, W.; Gu, Z.; Qian, X.; Wang, J.; Xu, W.; Shi, P.; Ming, X.; Zhou, X.; Chen, Y. 2013. Assessment of social vulnerability to natural hazards in the Yangtze River Delta, China. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.* 27: 1899–1908.
- IPCC. 2007. "IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007," Climate Change 2007: Synthesis Report, 2007.
- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 151. Geneva, Switzerland: IPCC
- Jhan, Hao-Tang, Ballinger, R., Jaleel, A and Ting, Kuo-Huan. 2020. Development and application of a Socioeconomic Vulnerability Indicator Framework (SVIF) for Local Climate Change Adaptation in Taiwan. *Sustainability* 12 1585; doi:10.3390/su12041585.
- Li, C.M.; Chen, C.C. The construction and assessment of vulnerability indicators in Taiwan. *J. City. Plan.* 2010, 37, 71–96.
- Li, Y.J. 2014. Social vulnerability indicator as a sustainable planning tool. *Environmental Impact Assessment Review* 44: 31–42.
- Perez, L. V. (2017). Principal component analysis to address multicollinearity. Walla Walla, WA, 99362.
- Siagian, T.H.; Purhadi, P.; Suhartono, S.; Ritonga, H. 2013. Social vulnerability to natural hazards in Indonesia: driving factors and policy implications. *Natural Hazards* 70: 1603–1617.
- Tapsell, S.M.; Penning-Rowsell, E.C.; Tunstall, S.M.; Wilson, T.L. 2002. Vulnerability to flooding: health and social dimensions. *Philosophical Transactions of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences* 360: 1511–1525.
- Tukey, J.W. (1977). *Exploratory Data Analysis*. Reading (Addison-Wesley).
- Wu, T. (2021). Quantifying coastal flood vulnerability for climate adaptation policy using principal component analysis. *Ecological Indicators*, 129, 108006.

[MITIGASI] MODUL 1

INVENTARISASI GAS RUMAH KACA



IPB University
— Bogor Indonesia —



Co-funded by the
European Union



**United Cities and
Local Governments
Asia-Pacific**

