Pedoman Penghitungan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca

Bidang Energi - Sub Bidang Ketenagalistrikan

Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan
Kementerian ESDM
2018

Pedoman
Penghitungan dan Pelaporan
Inventarisasi Gas Rumah Kaca

Bidang Energi - Sub Bidang Ketenagalistrikan

Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan
Kementerian ESDM
2018

KATA PENGANTAR

Peningkatan suhu permukaan bumi yang melebihi 2°C akan memberikan dampak terhadap iklim dan cuaca di masing-masing negara dan berpengaruh langsung pada perekonomian, ketahanan pangan, dan ketahanan air. Dalam upaya mengurangi dampak perubahan iklim, banyak negara yang telah menjadi anggota Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai Perubahan Iklim (*United Nation Framework Convention on Climate Change* - UNFCCC) menyepakati Persetujuan Paris (*Paris Agreement*) pada saat pertemuan *Conference of Party* (COP) UNFCCC ke-21 pada tanggal 12 Desember 2015. Indonesia sebagai anggota UNFCCC, melalui Presiden Ir. Joko Widodo, telah berkomitmen untuk menurunkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sebesar 29% dengan upaya sendiri dan 41% dengan bantuan luar negeri di tahun 2030 dari *Business as Usual* (BaU).

Sebagaimana kita ketahui bahwa saat ini Indonesia menghadapi berbagai tantangan lingkungan hidup akibat aktifitas manusia yang menghasilkan GRK. Dalam hal ini, Pemerintah Indonesia menyadari pentingnya upaya pengendalian perubahan iklim untuk menjaga kelestarian lingkungan hidup yang dapat berpengaruh kepada perekonomian bangsa. Untuk itu, Pemerintah Indonesia telah mengesahkan Persetujuan Paris pada 19 Oktober 2017 melalui Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan *Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change* (Persetujuan Paris atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai Perubahan Iklim).

Sebagai pelaksanaan Persetujuan Paris, Indonesia membutuhkan upaya-upaya domestik yang harus dilakukan melalui implementasi *Nationally Determined Contribution* (NDC) yang di dalamnya menyebutkan bahwa komitmen penurunan emisi GRK Bidang Energi sebesar 11% dari BaU (314 juta ton CO_2e) di tahun 2030. Target ini bukanlah sesuatu yang mudah bagi Kementerian ESDM bersama-sama dengan Kementerian Perhubungan dengan Kementerian Perindustrian karena harus membutuhkan data dan sumber daya lainnya untuk menghitung pencapaian penurunan emisi GRK tersebut.

Untuk itu, Kementerian ESDM c.q. Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan menyadari perlunya data inventarisasi GRK di Sub Bidang Ketenagalistrikan untuk dapat menghitung penurunan emisi GRK dalam rangka mendukung pencapaian target 11% tersebut. Di dalam pelaksanaan inventarisasi GRK di Sub Bidang Ketenagalistrikan diperlukan suatu Pedoman Penghitungan dan Pelaporan Inventarisasi GRK Bidang Energi Sub Bidang Ketenagalistrikan agar mempermudah penyelenggaraan inventarisasi, penyeragaman metodologi, dan mendapatkan data yang valid, sehingga dapat mendukung pencapaian target penurunan emisi GRK Bidang Energi.

Pedoman ini sangat bermanfaat bagi para pelaku usaha Pembangkitan Tenaga Listrik dalam menghitung emisi GRK sekaligus bermanfaat juga dalam mengukur kinerja (*performance*) unit pembangkitan tenaga listrik dari pelaku usaha tersebut.

Jakarta, Mei 2018

Dr. Ir. Andy Noorsaman Sommeng, DEA
Direktur Jenderal Ketenagalistrikan

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR TABEL x
DAFTAR SINGKATAN xi
DAFTAR ISTILAH xiv
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 2
1.2. Maksud dan Tujuan 4
1.3. Landasan Hukum 5
1.4. Ruang Lingkup 6
BAB 2 INVENTARISASI GRK 7
2.1. Prinsip Dasar 8
2.2. Skema Pelaporan 10
2.3. Skema Kelembagaan 11
BAB 3 LINGKUP INVENTARISASI GRK 13
3.1. Lingkup GRK 14
3.2. Lingkup Pelaporan 15
3.3. Isu Terkait Penghitungan Emisi GRK 16
3.3.1. Biomass-Based Fuel 16
3.3.2. Bahan Bakar Sampah 16
3.3.3. Penjualan Uap 17
3.3.4. Mitigasi Emisi GRK 17
BAB 4 PENGHITUNGAN EMISI 21
4.1. Metode 22
4.2. Sistem *Tier* IPCC-2006 (Tingkat Ketelitian) 25
4.3. Penghitungan Emisi CO_2 27
4.3.1. Metode-1 27
4.3.2. Metode-2 29
4.3.3. Metode-3 31
4.3.4. Metode-4 32

4.4. Penghitungan emisi CH_4 dan N_2O 41
4.5. Konversi GCV ke NCV 42
4.5.1. Batubara 43
4.5.2. BBM 43
4.5.3. Bahan Bakar Gas 44
BAB 5 PELAPORAN INVENTARISASI GRK 45
5.1. Tahapan 46
5.2. Tahun Dasar 49
5.3. Pelaporan 49
5.4. Jadwal Pelaporan 50
BAB 6 PENGENDALIAN DAN PENJAMINAN KUALITAS 51
6.1. Sistem *Quality Assurance/Quality Control* (QC/QA) 52
6.2. Prosedur Pelaksanaan Pengendalian Mutu(QC) 53
6.3. Prosedur Penjaminan Mutu (QA) 57
BAB 7 ANALISIS KETIDAKPASTIAN 59
7.1. Umum 60
7.2. Struktur Analisis Ketidakpastian 60
7.3. Upaya Mengurangi Tingkat Ketidakpastian 61
7.4. Analisis Ketidakpastian 62
7.4.1. Asumsi Ketidakpastian Data Aktivitas 62
7.4.2. Asumsi Ketidakpastian Faktor Emisi 63
7.4.3. Nilai Ketidakpastian Emisi CO_2 dengan Menggunakan CEMS 64
7.5. Metodologi Penghitungan 65
7.5.1. *Propagation of Error* 65
BAB 8 PENUTUP 77
DAFTAR PUSTAKA 78
LAMPIRAN 81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Perubahan skema pelaporan inventarisasi GRK nasional 10
Gambar 2. Alur inventarisasi GRK dari tingkat unit pembangkitan ke tingkat nasional..... 11
Gambar 3. Lingkup Emisi GRK 15
Gambar 4. Alur penentuan metode penghitungan emisi GRK pembangkitan listrik 24
Gambar 5. Sistem penghitungan emisi GRK berdasarkan *Tier* *25*
Gambar 6. Ilustrasi CEMS 33
Gambar 7. Pengelompokan akses akun APPLE-Gatrik 47
Gambar 8. Proses QC dan QA 53
Gambar 9. Struktur Analisis Ketidakpastian..... 61
Gambar 10. Alur penentuan tren ketidakpastian..... 75

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai GWP GRK. 14
Tabel 2. Matriks sistem *Tier.* 26
Tabel 3. Tahapan Kegiatan, Penanggung Jawab, dan Periode Pelaporan..... 48
Tabel 4. Aktivitas QC untuk pembangkit listrik 54
Tabel 5. Aktivitas QA..... 57
Tabel 6. Tingkat Ketidakpastian sumber emisi tidak bergerak *default* IPCC 63
Tabel 7. Nilai ketidakpastian faktor emisi CO2 di negara lain berdasarkan IPCC Guidelines.. 63
Tabel 8. Tingkat Ketidakpastian Faktor Emisi GRK..... 64
Tabel 9. Nilai ketidakpastian maksimum untuk hasil pengukuran CEMS 65

DAFTAR SINGKATAN

BaU	*Bussiness as Usual*
BBM	Bahan Bakar Minyak
BUR	*Biennial Update Report*
C,ar	Kandungan Karbon (a*s received*)
C,ad	Kandungan Karbon (*air dried*)
C	*Carbon Content*
CCS	*Carbon Capture and Storage*
CCSU	*Carbon Capture Storage and Use*
CDM	*Clean Development Mechanism*
CEMS	*Continuous Emission Monitoring System*
CH_4	Metana
CO_2	Karbon Dioksida
CO_2e	Karbon Dioksida ekuivalen
COP	*Conference of Party*
CSR	*Corporate Social Responsibility*
DA	Data Aktivitas
DJK	Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan
Dit IGRK & MPV	Direktorat Inventarisasi Gas Rumah Kaca dan Monitoring, Pelaporan, dan Verifikasi
E	Emisi
EOR	*Enhanced Oil Recovery*
FE	Faktor Emisi
GCV	*Gross Calorific Value*
GRK	Gas Rumah Kaca
GWP	*Global Warming Potential*
HFCs	*Hydrofluorocarbon*

HHV	*High Heating Value*
HRSG	*Heat Recovery Steam Generator*
IGRK	Inventarisasi Gas Rumah Kaca
IP	PT Indonesia Power
IPCC	*Intergovernmental Panel on Climate Change*
IPP	*Independent Power Producer*
IPPU	*Industrial Processes and Product Use*
KESDM	Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
kg	kilogram
kl	kiloliter
KLHK	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
LNG	*Liquefied Natural Gas*
LFG	*Landfill Gas*
m^3	meter kubik
MMBTU	*Million British Thermal Unit*
MSW	*Municipal Solid Waste*
N_2O	Dinitrogen Oksida
Natcom	*National Communication*
NCV	*Net Calorific Value*
NDC	*Nationally Determined Contribution*
NOx	Nitrogen Oksida
PDF	*Propagation Distribution Function*
Perpres	Peraturan Presiden
PFCs	*Perfluorocarbons*
PJB	PT Pembangkitan Jawa-Bali
PLN	PT Perusahaan Listrik Negara (Persero)

PPU	*Public Private Utility*
PPO	*Pure Plant Oil*
Pusdatin	Pusat Data dan Teknologi Informasi
QC/QA	*Quality Control / Quality Assurance*
RAN-GRK	Rencana Aksi Nasional-Gas Rumah Kaca
RDF	*Refuse Derived Fuel*
SF_6	Sulfur Heksafluorida
SOx	Sulfur Oksida
TACCC	*Transparency, Accuracy, Consistency, Comparability, Completeness*
TJ	Tera Joule
TM,ar	*Total Moisture* = kadar air total (*as received*)
TM,ad	*Inherent Moisture* = kadar air bawaan (*as dried*)
TPA	Tempat Penampungan Akhir
UNFCCC	*United Nations Framework Convention on Climate Change*
VCS	*Verified Carbon Standard*

DAFTAR ISTILAH

Analisis Ketidakpastian	Penilaian seberapa besar kesalahan hasil dugaan data aktivitas, faktor emisi, dan emisi GRK.
Analisis Konsistensi	Penilaian terhadap tren perubahan emisi dari waktu ke waktu.
Bidang Energi	Bidang kegiatan dimana emisi GRK terjadi, tidak merujuk pada pengertian administrasi/instansi yang secara umum membina/mengatur kegiatan.
Biomass-based fuel	Bahan bakar yang bersumber dari material tanaman atau kotoran hewan dan dapat berbentuk padat, cair, atau gas.
BUR	Laporan yang disampaikan oleh para Pihak *non-Annex* I yang memuat update inventarisasi GRK dua tahunan, termasuk laporan inventarisasi GRK dan informasi terkait aksi mitigasi, kebutuhan dan dukungan yang diterima.
CCS	Upaya penangkapan emisi CO_2 yang dihasilkan oleh industri manufaktur dan pembangkit listrik untuk disimpan pada lokasi tertentu (biasanya pada bekas sumur migas), yang dijamin keamanannya.
CCSU	Upaya penangkapan emisi CO_2 yang dihasilkan oleh industri manufaktur dan pembangkit listrik untuk disimpan pada lokasi tertentu (biasanya pada bekas sumur migas) dan digunakan untuk meningkatkan produk migas atau lainnya selama emisi CO_2 tidak terlepas.
CEMS	Alat yang digunakan untuk mengukur kuantitas kadar suatu parameter emisi dan laju alir gas buang melalui pengukuran secara terus menerus.
Confidence Level	Selang atau tingkat kepercayaan, digunakan dalam menganalisis tingkat ketidakpastian atas suatu hasil penghitungan atau pengukuran.

COP	Tugas utamanya adalah mempromosikan pengembangan dan transfer teknologi yang ramah lingkungan dan melakukan pekerjaan teknis untuk meningkatkan pedoman dalam menyiapkan komunikasi nasional dan inventarisasi emisi.
Data Aktivitas	Besaran kuantitatif kegiatan atau aktivitas manusia yang dapat melepaskan dan/atau menyerap GRK.
Emisi *Baseline*	Besaran Emisi GRK yang dihasilkan pada kondisi tidak adanya Aksi Mitigasi Perubahan Iklim.
Emisi GRK	Lepasnya GRK ke atmosfer pada suatu area tertentu dalam jangka waktu tertentu.
Faktor emisi	Besaran emisi GRK yang dilepaskan ke atmosfer per satuan aktivitas tertentu.
GRK	Gas yang terkandung dalam atmosfer, baik alami maupun antropogenik, yang menyerap dan memancarkan kembali radiasi inframerah.
GWP	Sebuah sistem indeks yang membandingkan potensi suatu GRK untuk memanaskan bumi dengan potensi karbon dioksida. Nilai GWP ini tergantung dari daya serap infra-merahnya dan panjang gelombang dari infra-merahnya.
Inventarisasi GRK	Kegiatan untuk memperoleh data dan informasi mengenai tingkat, status, dan kecenderungan perubahan emisi GRK secara berkala dari berbagai sumber emisi (*source*) dan penyerapnya (*sink*) termasuk simpanan karbon (*carbon stock*).
IPCC	Badan ilmiah yang beranggotakan para ahli yang tugas utamanya melakukan kajian hasil-hasil riset tentang informasi teknologi, sosial, dan ekonomi yang terkait dengan perubahan iklim di seluruh dunia.

IPPU	Proses produksi dan penggunaan produk yang mana didalamnya terjadi proses kimia maupun fisik yang terjadi pada industri pembangkit, industri semen, industri pupuk amonia, industri baja, industri aluminium, industri *pulp*, industri kaca, dll.
Kategori Kunci	Sumber/rosot yang menjadi prioritas dalam sistem inventarisasi GRK karena sumbangan yang besar terhadap total inventarisasi, baik dari nilai mutlak, tren, dan tingkat ketidakpastian.
Mitigasi Perubahan Iklim	Usaha pengendalian untuk mengurangi risiko akibat perubahan iklim melalui kegiatan yang dapat menurunkan emisi atau meningkatkan penyerapan GRK dari berbagai sumber emisi.
Natcom	Laporan empat tahunan yang disusun oleh masing-masing negara sebagai kewajiban Negara Pihak yang meratifikasi UNFCCC.
NDC	Kontribusi yang ditetapkan oleh masing-masing negara Anggota Pihak (secara sukarela) bagi penanganan global terhadap perubahan iklim dalam rangka mencapai tujuan *Paris Agreement*.
Offset emisi GRK	*Offset* emisi GRK adalah mekanisme kompensasi (*offsetting*) atas emisi GRK yang dilepaskan suatu organisasi atau kegiatan dengan cara mendanai kegiatan penurunan emisi di tempat lain. Umumnya *offset* emisi GRK dilakukan dengan memanfaatkan kredit karbon dari suatu skema yang ditetapkan.
Pengendalian Mutu	Suatu sistem pelaksanaan kegiatan rutin yang ditujukan untuk menilai dan memelihara kualitas dari data dan informasi yang dikumpulkan dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK.

Penjaminan Mutu	Suatu sistem yang dikembangkan untuk melakukan *review* yang dilaksanakan oleh seseorang yang secara langsung tidak terlibat dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK.
Perubahan Iklim	Berubahnya iklim yang diakibatkan langsung atau tidak langsung oleh aktivitas manusia sehingga menyebabkan perubahan komposisi atmosfer secara global dan perubahan variabilitas iklim alamiah yang teramati pada kurun waktu yang dapat dibandingkan.
RAN-GRK	Dokumen rencana kerja untuk pelaksanaan berbagai kegiatan yang secara langsung dan tidak langsung menurunkan emisi gas rumah kaca sesuai dengan target pembangunan nasional.
Status Emisi GRK	Kondisi emisi GRK dalam satu kurun waktu tertentu yang dapat diperbandingkan berdasarkan hasil penghitungan GRK dengan menggunakan metode dan faktor emisi/serapan yang konsisten.
Sub bidang	Bagian dari bidang kegiatan dimana emisi GRK terjadi, tidak merujuk pada pengertian administrasi/instansi yang secara umum membina/mengatur kegiatan.
Tier	Tingkat ketelitian penghitungan data aktivitas dan faktor emisi. Semakin tinggi tingkat metode yang dipergunakan maka hasil penghitungan emisi atau serapan GRK semakin rinci dan akurat.
Tingkat emisi GRK	Besarnya emisi GRK tahunan.
UNFCCC	Kerangka kerja tentang perubahan iklim dibawah PBB dengan tujuan untuk mencari kesepakatan multilateral dalam menyelesaikan masalah perubahan iklim global.
Validasi	Tindakan secara sistematis dan terdokumentasi untuk mengevaluasi proses dan hasil inventarisasi GRK.

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Gas rumah kaca (GRK) merupakan gas di atmosfer, baik yang terbentuk secara alami maupun antropogenik, yang menyerap dan memancarkan radiasi inframerah menyebabkan efek gas rumah kaca. Berbagai aktivitas manusia, khususnya sejak masa pra-industrialisasi, mendorong bertambahnya emisi GRK di atmosfer, sehingga konsentrasinya meningkat. Hal ini menyebabkan timbulnya masalah pemanasan global dan perubahan iklim. Berdasarkan hal tersebut, Konferensi Tingkat Tinggi (KTT) Bumi di Rio de Janeiro, Brazil tahun 1992 menghasilkan Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-bangsa tentang Perubahan Iklim (*United Nations Framework Convention on Climate Change* - UNFCCC) yang bertujuan untuk menstabilisasi konsentrasi GRK di atmosfer pada tingkat yang tidak membahayakan sistem iklim.

Pemerintah Indonesia melalui Undang-Undang Nomor 6 Tahun 1994 telah meratifikasi konvensi perubahan iklim, sehingga secara resmi terikat dengan kewajiban dan memiliki hak untuk memanfaatkan berbagai peluang dukungan yang ditawarkan oleh UNFCCC. Salah satu kewajiban negara yang sudah meratifikasi konvensi perubahan iklim ialah menyediakan tingkat inventarisasi GRK nasional, dengan menggunakan metodologi yang ditetapkan. Hasil inventarisasi GRK ini selanjutnya harus dilaporkan dalam dokumen Komunikasi Nasional (*National Communication*) bersama dengan informasi lainnya.

Pada pertemuan para pihak penandatangan konvensi perubahan iklim ke-13 di Bali (*The 13th Conference of the Parties*/COP-13 UNFCCC) tahun 2007, dilahirkan kesepakatan baru terkait dengan aksi kerjasama jangka panjang antara negara maju dan berkembang untuk melakukan upaya-upaya yang tepat dalam menurunkan tingkat emisi. Sejalan dengan itu, Presiden RI pada pertemuan G-20 di Pittsburgh–USA pada 25 September 2009 telah menyatakan komitmen Pemerintah Indonesia (sifatnya tidak mengikat) untuk mengurangi tingkat emisi GRK sebesar 26% di tahun 2020 dengan usaha sendiri dan sampai dengan 41% di tahun 2020 dengan bantuan pendanaan dari luar.

Pada COP-17 di Durban, disepakati bahwa negara berkembang (*non-Annex* 1), seperti Indonesia, wajib menyampaikan laporan setiap dua tahunan (*Biennial Update Report*/BUR) ke COP dalam bentuk laporan tersendiri atau bagian dari Komunikasi Nasional pada tahun saat laporan komunikasi dilaporkan. Pada COP-21 di Paris tahun 2015, Indonesia telah

meningkatkan komitmennya untuk mengurangi tingkat emisi GRK sebanyak 29% dengan usaha sendiri di bawah BaU pada tahun 2030 dan 41% jika ada bantuan internasional. Komitmen ini tertuang dalam *Nationally Determined Contribution* (NDC) pertama yang merupakan bagian dari Persetujuan Paris (*Paris Agreement)*. Persetujuan Paris bertujuan untuk menguatkan respon global terhadap ancaman perubahan iklim dengan menjaga kenaikan pemanasan global kurang dari 2°C dibandingkan masa pra-industrialisasi. Sampai dengan Mei 2018, Persetujuan Paris telah diratifikasi oleh 176 negara, mencakup 88% emisi GRK dunia. Indonesia telah meratifikasi Persetujuan Paris melalui Undang Undang Nomor 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan Persetujuan Paris atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa Mengenai Perubahan Iklim.

Untuk mendukung kewajiban dan komitmen tersebut, telah ditetapkan Peraturan Presiden yang mengatur pelaksanaan langkah aksi penurunan emisi (Perpres 61/2011) dan inventarisasi GRK (Perpres 71/2011). Dalam rangka memenuhi amanat Perpres 71/2011, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan telah menetapkan Peraturan Menteri LHK No. P.73/MenLH/Setjen/Kum.1/12/2017 tentang Pedoman Penyelenggaraan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca tanggal 29 Desember 2017.

Menurut Indonesia *Third National Communication* tahun 2017, Sub Bidang Ketenagalistrikan merupakan bidang penyumbang emisi GRK terbesar pada tahun 2014 yang mencapai 34,6% terhadap total inventori GRK Bidang Energi. Emisi GRK sub bidang ketenagalistrikan diproyeksikan akan tetap menjadi yang terbesar pada tahun 2030, bukan hanya karena peningkatan permintaan kebutuhan listrik akibat pertumbuhan ekonomi dan penduduk, tetapi juga karena pembangunan pembangkit listrik baru masih didominasi oleh pembangkit listrik berbahan bakar fosil.

Dominannya sumbangsih emisi GRK Sub Bidang Ketenagalistrikan memerlukan upaya inventarisasinya yang akurat karena akan menjadi (1) perangkat (*tool*) yang fundamental untuk pengendalian perubahan iklim; (2) sumber informasi mengenai tingkat/status/kecenderungan emisi GRK secara komprehensif; (3) identifikasi upaya mitigasi GRK dan *tracking* emisi GRK dari waktu ke waktu; dan (4) mengetahui capaian penurunan emisi GRK.

Sebagai upaya untuk meningkatkan kualitas data emisi GRK Sub Bidang Ketenagalistrikan, unit pembangkitan tenaga listrik atau unit pelaksana ditugaskan untuk menginventarisasi emisi GRK yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakarnya dan induk perusahaannya akan

melaporkan emisi GRKnya ke DJK KESDM. Selanjutnya, DJK KESDM akan melakukan validasi dan menyampaikan hasil validasi inventarisasi emisi GRK Sub Bidang Ketenagalistrikan ke Pusdatin KESDM, untuk diteruskan ke Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK).

Oleh karena sistem pelaporan inventarisasi emisi GRK Bidang Energi Sub Bidang Ketenagalistrikan bersifat *bottom-up*, diperlukan suatu pedoman inventarisasi emisi GRK yang dapat digunakan oleh unit pembangkitan tenaga listrik atau unit pelaksana sebagai acuan dalam pelaksanaan inventarisasi GRK akibat pembakaran bahan bakar pada masing-masing unit pembakaran. Dengan Pedoman ini diharapkan kualitas data inventarisasi GRK sub bidang ketenagalistrikan dapat ditingkatkan.

1.2. Maksud dan Tujuan

Maksud penyusunan Pedoman ini adalah untuk memberikan acuan penghitungan dan pelaporan inventarisasi GRK Sub Bidang Ketenagalistrikan di Indonesia terhitung mulai tahun 2010.

Tujuan pembuatan Pedoman Penghitungan dan Pelaporan Inventarisasi GRK Bidang Energi Sub Bidang Ketenagalistrikan adalah sebagai acuan untuk:

- Pengumpulan data bahan bakar yang terkait dengan inventarisasi GRK di unit pembangkitan tenaga listrik atau unit pelaksana, mencakup data konsumsi, *Net Calorific Value* (NCV), kandungan karbon, kandungan karbon tidak terbakar, densitas bahan bakar, faktor oksidasi, produksi listrik (*netto* dan *netto*), kapasitas unit pembakaran (terpasang dan daya mampu), dan data emisi GRK dari CEMS (jika tersedia);
- Penghitungan faktor emisi bahan bakar dari masing-masing emisi GRK;
- Penghitungan emisi GRK sesuai dengan metodologi dalam Pedoman ini;
- Pengendalian dan penjaminan mutu data emisi GRK;
- Penghitungan tingkat ketidakpastian dari hasil penghitungan emisi GRK;
- Pengumpulan data aksi mitigasi yang sudah dilaksanakan pada masing-masing unit pembakaran dari unit pembangkitan tenaga listrik; dan
- Pelaporan emisi GRK oleh induk perusahaan pembangkit ke DJK KESDM.

1.3. Landasan Hukum

Landasan hukum dalam penyusunan Pedoman Penghitungan dan Pelaporan Inventarisasi GRK Bidang Energi Sub Bidang Ketenagalistrikan adalah:

a. Undang-Undang Nomor 6 Tahun 1994 tentang Pengesahan *United Nations Framework Convention on Climate Change*;
b. Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi;
c. Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup;
d. Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan;
e. Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan Paris *Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change* (Persetujuan Paris atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa Mengenai Perubahan Iklim);
f. Peraturan Pemerintah Nomor 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi;
g. Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2014 tentang Perubahan Atas Peraturan Pemerintah Nomor 14 Tahun 2012 tentang Kegiatan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik;
h. Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional;
i. Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunanan Emisi Gas Rumah Kaca;
j. Peraturan Presiden Nomor 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi GRK Nasional;
k. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 21 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pembangkit Tenaga Listrik Termal;
l. Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 Tahun 2016 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral; dan
m. Peraturan Menteri LHK Nomor P.73/MenLHK/Setjen/Kum.1/12/2017 tahun 2017 tentang Pedoman Penyelenggaraan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca.

1.4. Ruang Lingkup

Pedoman ini mengatur penghitungan dan pelaporan inventarisasi GRK dari Bidang Energi, Sub Bidang Ketenagalistrikan, Bagian Sub Bidang Pembangkitan Tenaga Listrik. Pedoman ini memuat informasi mengenai hal-hal berikut:

1. Tahapan inventarisasi emisi GRK;
2. Pengaturan kelembagaan;
3. Identifikasi sumber dan kategori utama emisi GRK, dan lingkup Inventarisasi emisi GRK;
4. Metode pengumpulan data dan penghitungan tingkat emisi GRK;
5. Pelaporan dan pengarsipan data emisi GRK;
6. Penyusunan sistem pengendalian/penjaminan mutu (QC/QA); dan
7. Penghitungan tingkat ketidakpastian hasil penghitungan tingkat emisi GRK (*uncertainty*).

BAB 2
INVENTARISASI GRK

2.1. Prinsip Dasar

Untuk menghasilkan inventarisasi GRK yang berkualitas dan siap untuk divalidasi, proses inventasirasi harus memenuhi 5 (lima) prinsip dasar, yaitu prinsip transparansi (*Transparency*), akurasi (*Accuracy*), kelengkapan (*Completeness*), komparabilitas (*Comparability*), dan konsistensi (*Consistency*) atau sering disingkat dengan **TACCC**.

- **Transparansi**

  Jenis emisi GRK yang dihitung oleh unit pembangkitan listrik berbahan bakar fosil dan *biomass-based fuel* adalah gas karbon dioksida (CO_2), gas metana (CH_4), dan gas dinitrogen oksida (N_2O). Berbagai sumber data (konsumsi bahan bakar, NCV, kandungan karbon, karbon tersisa, densitas, faktor emisi, dan lainnya) yang digunakan untuk menghitung emisi GRK harus disimpan dan didokumentasikan dengan baik, sehingga orang lain yang tidak terlibat dalam penghitungannya dapat memahami bagaimana hasil inventarisasi itu disusun.

- **Akurasi**

  Penghitungan emisi GRK harus sedapat mungkin tidak menghasilkan emisi yang terlalu tinggi (*over estimate*) atau terlalu rendah (*under estimate*). Segala upaya untuk mengurangi bias perlu dilakukan agar hasilnya merefleksikan emisi GRK yang sebenarnya. Sebagai contoh, data konsumsi bahan bakar apakah berasal dari dokumen pembelian atau dokumen pemakaian. Data nilai karbon apakah berasal dari dokumen pembelian bahan bakar atau hasil analisis pengujian sendiri. Data densitas apakah berasal dari dokumen pembelian atau hasil pengujian sendiri. Data faktor emisi apakah berasal dari faktor emisi *default* IPCC-2006 atau faktor emisi nasional atau dihitung sesuai dengan kondisi bahan bakar yang dikonsumsi pembangkit.

- **Kelengkapan**

  Semua penghitungan emisi GRK harus dilaporkan dengan lengkap dan apabila ada yang tidak dihitung harus dijelaskan. Selain itu, inventarisasi emisi GRK harus melaporkan dengan jelas batas (*boundary*) yang digunakan untuk menghindari adanya perhitungan ganda (*double counting*) atau adanya emisi yang tidak dilaporkan. Dalam kaitan ini, emisi GRK yang dihitung pada unit pembangkitan listrik adalah emisi GRK akibat pemakaian

bahan bakar hanya untuk pembangkit listrik. Segala pemakaian bahan bakar untuk penunjang aktivitas pembangkitan listrik, seperti konsumsi BBM untuk alat berat (*forklift, shovel*, dll) pada unit pembangkit dan untuk sarana transportasi (mobil dan kapal laut) tidak dihitung. Bagi unit pembangkitan tenaga listrik yang mengkonsumsi bahan bakar fosil sebagai pemantik atau *start-up*, maka emisi GRKnya juga harus dihitung. Adapun unit pembangkitan listrik yang menggunakan bahan bakar *biomass-based fuel* (PLTU biogas, *landfill gas*, *Pure Plant Oil* (PPO), dan *incinerator*) juga harus menghitung ketiga jenis emisi GRK tersebut, tetapi khusus untuk emisi CO_2 tidak dijumlahkan dalam total emisi CO_2, tetapi dicatat secara terpisah karena merupakan karbon netral.

- **Komparabilitas**

  Inventarisasi emisi GRK harus dilaporkan sedemikian rupa, sehingga dapat dibandingkan dengan inventarisasi emisi GRK unit pembangkitan listrik dari daerah lain atau dengan negara lain.

- **Konsistensi**

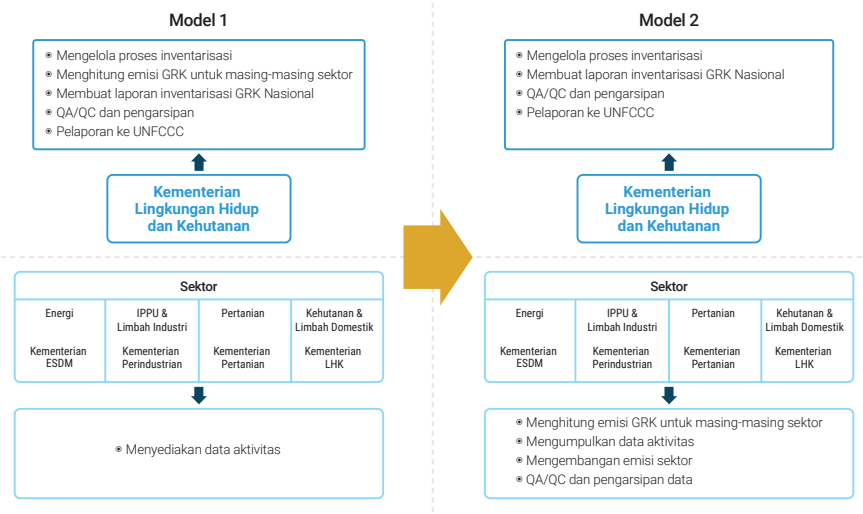
  Semua penghitungan inventarisasi emisi GRK sejak tahun 2010 harus menggunakan faktor emisi CO_2 dengan tingkat ketelitian yang sama, sehingga perbedaan emisi GRK per tahun benar-benar merefleksikan perubahan emisi dari tahun ke tahun, bukan sebagai akibat perubahan faktor emisi. Apabila pada tahun inventarisasi tertentu ada perubahan yang dilakukan, misalnya perubahan faktor emisi CO_2 dari *default* IPCC-2006 ke faktor emisi nasional atau faktor emisi setempat, maka dibutuhkan penghitungan ulang (*recalculation*) menggunakan faktor emisi yang sama untuk tahun inventarisasi lainnya.

Dalam Pedoman ini diharuskan menggunakan data sesuai kondisi yang digunakan oleh pembangkit listrik. Apabila pada tahun tertentu tidak tersedia data konsumsi, NCV, densitas, dan kandungan karbon bahan bakar yang tidak memungkinkan untuk menghitung faktor emisi CO_2 setempat, maka pada tahun inventarisasi yang tidak ada datanya tersebut harus diduga datanya dengan teknik interpolasi atau ekstrapolasi. Adapun faktor emisi CH_4 dan N_2O untuk sementara menggunakan faktor emisi *default* IPCC-2006.

2.2. Skema Pelaporan

Indonesia mempunyai kewajiban untuk menyampaikan pelaporan inventarisasi GRK nasional ke UNFCCC secara berkala. Untuk itu, KLHK sebagai *National Focal Point* menyampaikan laporan *National Communication* (Natcom) setiap 4 (empat) tahun sekali dan *Biennial Update Report* (BUR) setiap 2 (dua) tahun sekali.

Berdasarkan Perpres 71/2011, inventarisasi emisi GRK di tingkat bidang merupakan tugas dari kementerian/lembaga terkait, yang laporannya disampaikan ke KLHK minimal sekali setahun. Dalam realisasinya, kementerian/lembaga menyampaikan data aktivitas ke KLHK untuk digunakan dalam menghitung emisi GRK tingkat nasional (Model-1). Ke depan, penghitungan emisi GRK nasional akan dihitung oleh masing-masing kementerian/lembaga terkait dan laporannya disampaikan secara berkala ke KLHK (Model-2). Dalam skema Model-2, KESDM akan mempunyai peran untuk menghitung emisi GRK Bidang Energi (termasuk Sub Bidang Ketenagalistrikan), pengendalian dan penjaminan kualitas, ketidakpastian, dan pengarsipan data. Untuk itu, setiap unit pembangkitan listrik atau unit pelaksana wajib menghitung emisi GRK masing-masing dan induk perusahaan melaporkannya ke DJK KESDM untuk divalidasi (Gambar 1).

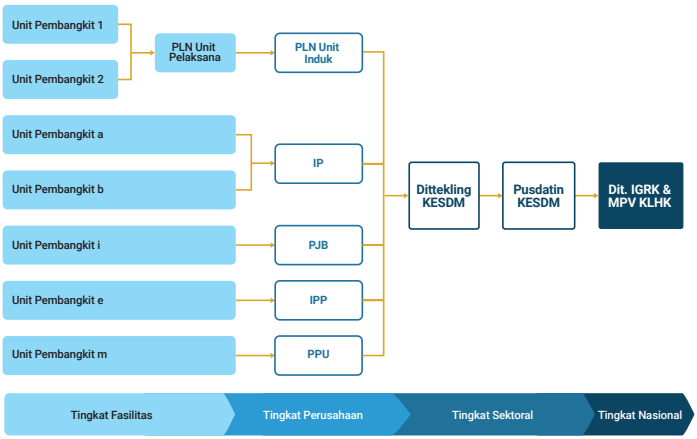


Gambar 1. Perubahan skema pelaporan inventarisasi GRK nasional.
Sumber: Diolah dari KLHK (2017)

2.3. Skema Kelembagaan

Pusat Data dan Teknologi Informasi (Pusdatin) KESDM merupakan penanggung jawab penyelenggaraan inventarisasi GRK di bidang energi. Sebagai implementasi Perpres 71/2011, KESDM sedang menyusun regulasi tentang Penyelenggaraan Inventarisasi dan Mitigasi Emisi GRK Bidang Energi. Dalam skema yang sedang dikembangkan, DJK KESDM akan menjadi penanggung jawab pelaporan data dan informasi terkait inventarisasi GRK sub bidang ketenagalistrikan, dan melaporkannya ke Pusdatin KESDM.

Secara umum, perusahaan pembangkit listrik di Indonesia yang menyalurkan listrik ke jaringan transmisi/distribusi listrik PLN dapat digolongkan menjadi 6 (enam) golongan utama, yaitu perusahaan pembangkit listrik negara (PT PLN (Persero), anak perusahaan PT PLN (persero) (IP dan PJB), *Independent Power Producer* (IPP), *Private Power Utility* (PPU), dan perusahaan yang mempunyai *captive power* yang menjual *excess power* ke PLN. Dalam Pedoman ini, inventarisasi GRK atas penggunaan bahan bakar oleh *captive power* tidak dipertimbangkan untuk menghindari penghitungan ganda di bidang lainnya. Namun, untuk kepentingan penghitungan Faktor Emisi GRK jaringan interkoneksi, perusahaan yang menjual *excess power* ke jaringan listrik PLN dan/atau PLN yang membeli listrik dari impor wajib mengisi sistem pelaporan GRK secara *online*, dengan skema pelaporan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur inventarisasi GRK dari tingkat unit pembangkitan ke tingkat nasional

BAB 3
LINGKUP INVENTARISASI GRK

3.1. Lingkup GRK

Terdapat 6 (enam) jenis GRK yang terjadi sewaktu aktivitas yang dilaksanakan di area unit pembangkitan listrik, yaitu gas CO_2, CH_4, N_2O, SF_6, HFCs, PFCs. Jenis emisi GRK tersebut terjadi akibat pemanfaatan bahan bakar yang termasuk dalam bidang energi dan pemanfaatan produk tertentu yang termasuk dalam bidang IPPU (*Industrial Processes and Product Use*). Pedoman ini hanya fokus pada emisi GRK akibat penggunaan bahan bakar, yaitu CO_2, CH_4, dan N_2O. Emisi CO_2 menyumbang 99% lebih terhadap total emisi GRK dari penggunaan bahan bakar pada unit pembangkitan listrik.

Setiap jenis emisi GRK mempunyai dampak yang berbeda terhadap pemanasan global, tergantung atas kemampuan gas menyerap energi dan lama gas tersebut bertahan di atmosfer. *Global Warming Potential* (GWP) telah dikembangkan untuk memungkinkan pembandingan dampak pemanasan global dari masing-masing jenis gas. Secara spesifik, GWP merupakan sebuah ukuran seberapa banyak energi yang akan diserap oleh 1 ton emisi GRK dalam suatu periode tertentu, relatif terhadap 1 ton emisi karbon dioksida (CO_2), seperti Tabel 1. Dalam hal ini, rentan waktu yang dipertimbangkan adalah 100 tahun.

Semakin besar GWP, semakin besar peran gas tersebut dalam pemanasan global dalam periode tertentu. Nilai GWP dapat digunakan untuk mengkonversi data emisi non-CO_2 menjadi data emisi CO_2 ekuivalen (CO_2e). Dengan demikian, emisi CH_4 dan N_2O dapat dijumlahkan dengan emisi CO_2 menjadi CO_2e, apabila emisi CH_4 dikali dengan 21 dan emisi N_2O dikali dengan 310. Nilai GWP sebagai faktor pengali dapat berubah sesuai dengan kesepakatan nasional. Perubahan nilai GWP tersebut akan disampaikan dalam Sistem Pelaporan Inventarisasi GRK Bidang Energi Sub Bidang Ketenagalistrikan (APPLE-Gatrik) yang dikembangkan oleh DJK KESDM.

Tabel 1. Nilai GWP GRK.

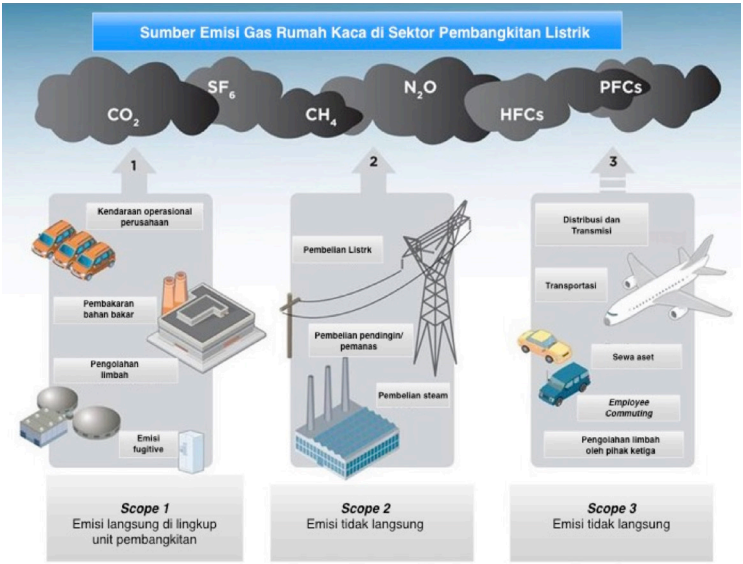
Jenis	GWP
Karbon dioksida (CO_2)	1
Metana (CH_4)	21
Dinitrogen oksida (N_2O)	310

Sumber: *Second Assessment Report*-IPCC (1995)

3.2. Lingkup Pelaporan

Operasionalisasi perusahaan pembangkit sangat beragam berdasarkan aspek legalitas dan struktur organisasi, yang dapat dikelompokkan atas perusahaan pembangkit yang dimiliki dan dioperasikan sendiri secara penuh, *Joint Venture*, anak perusahaan, dan lainnya. Pendekatan yang digunakan dalam Pedoman ini adalah *control approach* dimana inventarisasi GRK dilaporkan oleh perusahaan yang mempunyai kontrol pengoperasian atas unit pembangkitan listrik.

Batasan sumber emisi GRK pada unit pembangkitan listrik yang dipertimbangkan dalam Pedoman ini adalah emisi langsung dari pembakaran bahan bakar pada *boiler*, diesel, genset, *gas engine*, turbin gas, termasuk bahan bakar untuk *start up* (*direct emission: Scope*-1), seperti Gambar 3. Adapun emisi GRK langsung dari sumber bergerak, seperti kendaraan bermotor (mobil, *excavator*, kapal, dan lainnya), emisi GRK hasil dari proses *wet desulfurization*, dan emisi GRK tidak langsung (*Scope*-2 dan *Scope*-3) tidak dilaporkan, guna menghindari perhitungan ganda dengan bidang atau sub bidang penghasil emisi GRK lainnya.



Gambar 3. Lingkup Emisi GRK

3.3. Isu Terkait Penghitungan Emisi GRK

3.3.1. *Biomass-Based Fuel*

Bahan bakar yang berasal dari biomass-based fuel (kayu, cangkang, sisa pertanian, biogas, dan lainnya) bisa dijadikan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil. Emisi GRK dari pembakaran *biomass-based fuel* mirip dengan bahan bakar fosil. Meskipun demikian, asal karbon dari dua bahan bakar ini berbeda. Karbon dari *biomass-based fuel* merupakan karbon biogenik yang terkandung dalam suatu jaringan yang hidup dan bernafas (tanaman), sedangkan karbon yang terkandung dalam bahan bakar fosil terperangkap dalam formasi geologis selama jutaan tahun. Dengan demikian, inventarisasi emisi CO_2 dari pembakaran *biomass-based fuel* adalah 0 (nol) karena dianggap diserap kembali oleh tanaman bersangkutan (karbon netral). Namun demikian, emisi CO_2 dari pembakaran *biomass-based fuel* tetap dihitung tetapi tidak dipertimbangkan dalam total emisi CO_2 dan dilaporkan secara terpisah. Adapun emisi CH_4 dan N_2O dari pembakaran *biomass-based fuel* tetap dihitung dan dilaporkan dalam total emisi CH_4 dan N_2O.

3.3.2. Bahan Bakar Sampah

Sampah padat domestik selama penimbunan di Tempat Penimbunan Akhir (TPA) akan menghasilkan gas metana (CH_4) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil. Emisi CH_4 yang dihasilkan dari fraksi sampah yang berasal dari karbon biogenik harus dihitung dan dilaporkan secara terpisah, karena termasuk emisi GRK bidang limbah.

Sampah padat domestik juga dapat dibakar di insinerator. Pembakaran sampah dilaporkan sama dengan pembakaran *biomass-based fuel*. Emisi CO_2 dari pembakaran bahan an-organik yang berasal dari fosil, seperti plastik, tekstil sintetis dan karet, pelarut cair, ban bekas, minyak motor bekas, limbah padat kota, limbah berbahaya, dan lainnya harus dihitung dan dijumlahkan dalam total emisi CO_2, adapun emisi CO_2 dari pembakaran bahan organik harus dihitung dan dilaporkan secara terpisah. Sedangkan emisi CH_4 dan N_2O atas pembakaran bahan bakar an-organik dan organik harus dihitung dan dijumlahkan dalam total emisi CH_4 dan N_2O.

3.3.3. Penjualan Uap

Pada umumnya, unit pembangkitan listrik menghasilkan uap untuk disalurkan sebagai input pada turbin uap untuk menghasilkan listrik. Namun, tidak tertutup kemungkinan bahwa ada unit pembangkitan listrik yang menjual uap untuk memenuhi kebutuhan industri. Untuk kasus seperti ini, unit pembangkitan listrik yang menjual uap harus menghitung berapa kandungan energi dari uap yang dijual dan selanjutnya diubah kedalam satuan listrik (MWh). Kandungan energi dari uap tergantung atas tekanan, temperatur, atau neraca massa.

Penghitungan kandungan energi dari uap dalam satuan listrik (MWh) akan digunakan untuk menghitung berapa intensitas emisi GRK dari unit pembangkitan listrik yang bersangkutan (ton CO_2e/MWh). Intensitas emisi GRK atas unit pembangkitan listrik yang menjual uap dan listrik pada umumnya lebih rendah dibanding dengan unit pembangkitan listrik yang menggunakan uap untuk menghasilkan listrik. Hal ini terjadi karena saat uap digunakan untuk menghasilkan listrik akan terjadi *losses* selama proses produksinya. Dengan demikian, unit pembangkitan listrik yang menjual uap tersebut perlu memberi keterangan khusus saat pelaporan inventarisasi emisi GRKnya.

3.3.4. Mitigasi Emisi GRK

3.3.4.1. Pada Unit Pembangkitan Listrik

Mitigasi emisi GRK adalah penurunan emisi GRK yang terjadi pada suatu aktivitas tertentu misalnya pemanfaatan bahan bakar *biomass-based fuel*, diversifikasi bahan bakar fosil dari yang mempunyai faktor emisi tinggi ke faktor emisi rendah, pemanfaatan teknologi yang lebih efisien, dan penangkapan dan penyimpanan karbon (CCS). Berbagai aksi mitigasi ini umumnya sudah terlaksana pada sebagian unit pembangkitan listrik, sehingga emisi GRK menurun dengan tingkat produksi listrik yang sama.

Emisi CO_2 hasil pembakaran pada unit pembangkitan listrik dapat ditangkap dan disimpan dalam sebuah formasi geologi bawah tanah agar tidak terjadi pelepasan emisi CO_2 ke atmosfer. Saat ini, CCS masih dalam fase penelitian, pengembangan, dan telah ada uji coba penangkapan dan penyimpanan gas CO_2 di beberapa lokasi di Indonesia, baik untuk penyimpanan atau penyimpanan dan pemanfaatan untuk *enhanced oil recovery* (EOR) yang dikenal sebagai *Carbon Capture Storage and Use* (CCSU).

Jika CO_2 yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil ditangkap (*capture*) dan dipindahkan ke luar batas-batas organisasi suatu perusahaan, maka dapat dikurangkan dari emisi CO_2 langsung di lingkup perusahaan (Lingkup-1). Transfer semacam itu dapat terjadi bila gas CO_2 dijual sebagai bahan baku industri. Beberapa potensi penggunaan CO_2 yang ditransfer adalah EOR, minuman berkarbonasi, *dry ice*, bahan pemadam kebakaran, *refrigerant*, laboratorium gas, pelarut, bahan bakar sampingan yang diekspor, bahan baku untuk proses kimia atau industri lainnya, dan lainnya.

Segala kegiatan mitigasi emisi GRK yang berlangsung pada unit pembangkitan listrik yang sudah atau akan diklaim sebagai upaya mitigasi emisi GRK oleh unit pembangkitan listrik, harus didokumentasikan dan dilaporkan secara transparan dalam Laporan Inventarisasi GRK Sub Bidang Ketenagalistrikan. Laporan mitigasi emisi GRK tersebut minimal mencakup nama kegiatan, tahun dimulainya kegiatan, jumlah mitigasi emisi GRK, sertifikat mitigasi emisi GRK (jika ada), dan cara melakukan penghitungan mitigasi emisi GRK. Aksi mitigasi emisi GRK pada unit pembangkitan listrik yang dilaporkan adalah aksi mitigasi yang berlangsung mulai tahun 2011 karena tahun dasar laporan inventarisasi GRK ini adalah tahun 2010.

3.3.4.2. Di Luar Unit Pembangkitan Listrik

Segala kegiatan mitigasi emisi GRK di luar unit pembangkitan listrik yang sudah atau akan diklaim sebagai upaya mitigasi unit pembangkitan listrik yang bersangkutan, harus didokumentasikan dan dilaporkan secara transparan dalam laporan inventarisasi ini. Laporan mitigasi emisi GRK di luar unit pembangkitan listrik tersebut minimal mencakup nama kegiatan, tahun dimulainya kegiatan, jumlah mitigasi emisi GRK, sertifikat mitigasi emisi GRK (jika ada), dan cara melakukan penghitungan mitigasi emisi GRK.

- ***Offset* emisi GRK**

  Kegiatan *offset* emisi GRK sudah lazim dilaksanakan oleh perusahaan pembangkit di luar negeri untuk memenuhi target penurunan emisi yang dibebankan kepadanya, dengan membeli sertifikat penurunan emisi GRK dari perusahaan lain. Hal ini biasanya dilaksanakan jika biaya sertifikat penurunan emisi GRK dari perusahaan lain lebih rendah dibandingkan dengan upaya mitigasi GRK sendiri. Beberapa mekanisme penyedia unit *offset* emisi GRK antara lain adalah *Clean Development Mechanism* (CDM), *Verified Carbon Standard* (VCS), *Gold Standard*, dan kemungkinan mekanisme domestik yang akan dibangun.

- **Penanaman pohon**

  Pada beberapa kasus, terdapat unit pembangkitan listrik yang melakukan penanaman pohon atas biaya sendiri pada lokasi terpilih di luar lingkup inventarisasi GRK. Seperti diketahui bahwa pohon bernafas dengan menyerap CO_2. Kandungan karbon (C) dari CO_2 yang diserap tersebut akan tersimpan sebagai tampungan karbon pada pohon. Semakin banyak CO_2 yang diserap semakin besar tampungan karbon atau massa karbon dari pohon tersebut. Kemampuan penyerapan CO_2 tergantung atas jenis pohon, iklim, dan tanah setempat. Namun secara umum dapat dilakukan dengan mengukur tinggi dan diameter pohon. Metodologi pengukuran banyaknya CO_2 yang diserap pada suatu pohon sudah diatur dalam IPCC-2006.

- ***Reduce, Reuce,* dan *Recycle* (3R)**

  Unit pembangkitan listrik juga dapat melakukan kegiatan mitigasi emisi GRK atas biaya sendiri atau melalui *Corporate Social Responsibility* (CSR), misalnya kegiatan 3R (*reduce, reuse, recycle*). Kegiatan 3R atas sampah domestik merupakan suatu kegiatan yang dapat menurunkan emisi GRK. Seperti diketahui bahwa sampah organik dari sampah domestik apabila diangkut ke tempat penampungan akhir (TPA) akan terurai secara biologi menghasilkan emisi CH_4. Pengurangan volume sampah yang diangkut ke TPA untuk dimanfaatkan sebagai 3R akan menurunkan emisi CH_4 di TPA. Metodologi penghitungan emisi CH_4 yang terjadi pada tempat penampungan sampah sudah diatur dalam IPCC-2006.

- **Lainnya**

  Berbagai upaya mitigasi emisi GRK yang dilakukan di luar lingkup inventarisasi yang dilaporkan dalam sistem pelaporan online APPLE-Gatrik ini harus dilaporkan dan didokumentasikannya secara transparan.

3.3.4.3. Aktivitas Mitigasi Emisi GRK yang Sudah Diklaim oleh Negara Donor

Aksi mitigasi emisi GRK ini, umumnya terjadi pada pembangkit yang memanfaatkan energi terbarukan, tetapi tidak menutup kemungkinan juga berlangsung pada pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Unit pembangkitan listrik yang telah melakukan perjanjian jual beli emisi GRK melalui mekanisme CDM, *Joint International*, dan atau VCS harus melaporkan waktu dimulai dan berakhir dan berapa volume mitigasi GRK yang diperdagangkan. Aksi mitigasi emisi GRK ini harus dilaporkan secara transparan dan dicatat secara terpisah dengan aksi mitigasi emisi GRK yang berlangsung di dalam unit pembangkitan listrik atas biaya sendiri atau dengan bantuan donor tetapi tidak diklaim oleh negara donor.

BAB 4
PENGHITUNGAN EMISI

4.1. Metode

Secara umum, emisi GRK merupakan perkalian antara data aktivitas (konsumsi bahan bakar) dengan faktor emisi bahan bakar, dengan rumus sebagai berikut:

$$E = DA \times FE$$

dimana:

E : Emisi GRK (ton)

DA : Data Aktivitas (TJ)

FE : Faktor Emisi (ton/TJ)

Metode penghitungan emisi GRK tersebut sesuai dengan IPCC-2006. Penghitungan emisi GRK dalam Pedoman Penghitungan dan Pelaporan Inventarisasi GRK Bidang Energi Sub Bidang Ketenagalistrikan ini juga disusun dengan mengacu kepada IPCC *Guideline*, "2006 IPCC *Guideline for National Greenhouse Gas Inventories"* (disingkat IPCC-2006). Berdasarkan IPCC-2006, metode penghitungan 3 (tiga) jenis emisi GRK (CO_2, CH_4, dan N_2O) untuk pembakaran bahan bakar fosil dan *biomass-based fuel* pada unit pembangkitan listrik dalam buku pedoman ini dibedakan atas 4 (empat) metode. Perbedaan metode tersebut menunjukkan tingkat ketelitian dari penghitungan emisi GRK (Gambar 4). Semakin tinggi metode yang digunakan, semakin rendah emisi GRK yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar. Penggunaan metode tersebut dilakukan jika faktor emisi GRK sesuai dengan kondisi sebagai berikut:

- **Metode-1:**

  Digunakan jika faktor emisi GRK yang terjadi saat pembakaran bahan bakar di unit pembangkitan listrik tidak diketahui karena ketiadaan informasi tentang NCV, kandungan karbon, karbon tidak terbakar, faktor oksidasi, atau densitas bahan bakar yang dikonsumsi. Untuk itu, faktor emisi CO_2 bahan bakar fosil (BBM, batubara, gas bumi) menggunakan faktor emisi nasional (*Tier-2*). Adapun faktor emisi CO_2 dari *biomass-based fuel*, serta faktor emisi CH_4, dan N_2O dari bahan bakar (fosil dan *biomass-based fuel*) menggunakan faktor emisi *default* IPCC-2006 (*Tier-1*).

- **Metode-2:**

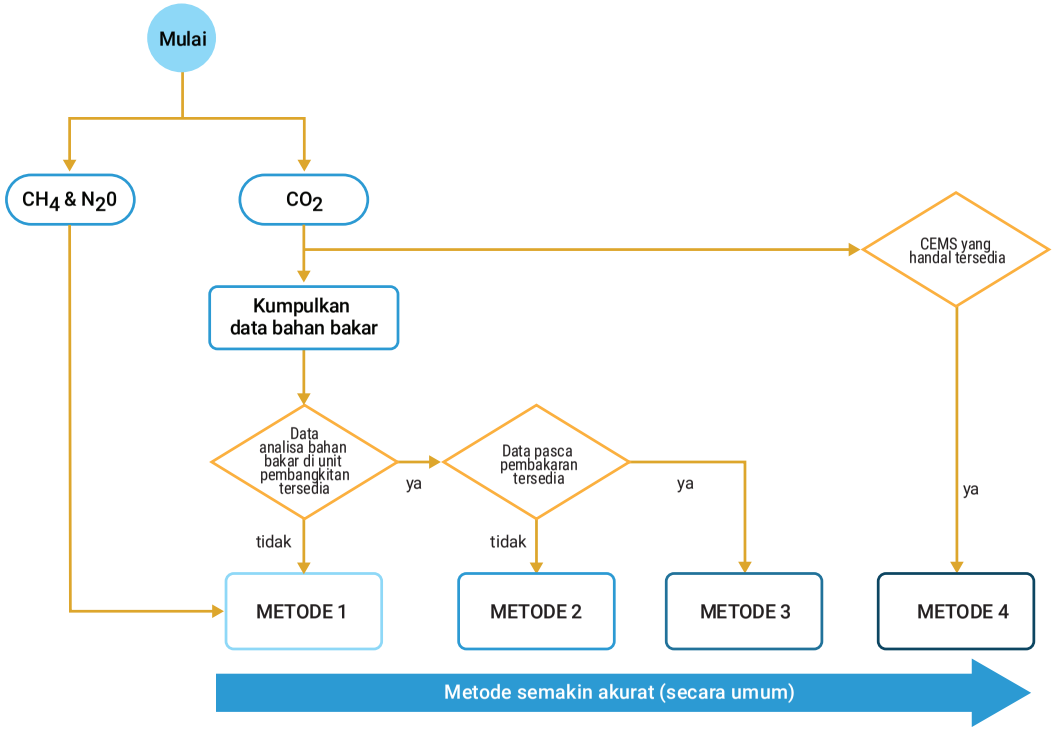
  Digunakan jika faktor emisi CO_2 yang terjadi saat pembakaran bahan bakar di unit pembangkitan listrik diketahui karena adanya informasi tentang NCV, kandungan karbon, faktor oksidasi, dan densitas bahan bakar yang dikonsumsi. Jika unit pembangkit tidak memiliki data faktor oksidasi yang terjadi selama pembakaran bahan bakar yang berlangsung pada masing-masing unit pembangkitan listrik, faktor oksidasi menggunakan *default* nasional juga dipertimbangkan sebagai parameter dalam menghitung emisi CO_2. Adapun faktor emisi CO_2 dari bahan bakar *biomass-based fuel* serta faktor emisi CH_4 dan N_2O dari bahan bakar (fosil dan *biomass-based fuel*) dapat menggunakan faktor emisi *default* IPCC-2006 (*Tier-1*) sesuai Metode-1.

- **Metode-3:**

  Digunakan jika kandungan karbon yang dipertimbangkan dalam faktor emisi CO_2 sesuai Metode-2 dikurangi dengan karbon yang tidak terbakar. Karbon yang tidak terbakar yang terkandung dalam *fly ash* dan *bottom ash* batubara, atau sisa minyak solar/diesel/bakar yang lengket pada peralatan. Adapun faktor emisi CO_2 dari bahan bakar *biomass-based fuel* serta faktor emisi CH_4 dan N_2O dari bahan bakar (fosil dan *biomass-based fuel*) dapat menggunakan faktor emisi *default* IPCC-2006 (*Tier-1*) sesuai Metode-1.

- **Metode-4:**

  Digunakan apabila emisi CO_2 yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar merupakan hasil pengukuran menggunakan *Continuous Emission Monitoring System* (CEMS). Hasil pengukuran melalui CEMS hanya dapat disetujui apabila pengukuran berlangsung minimal 97,5% selama pembangkit listrik beroperasi. Adapun emisi CH_4 dan N_2O dihitung dengan menggunakan faktor emisi CH_4 dan N_2O dari bahan bakar sesuai *default* IPCC-2006 (*Tier-1*) sesuai Metode-1.

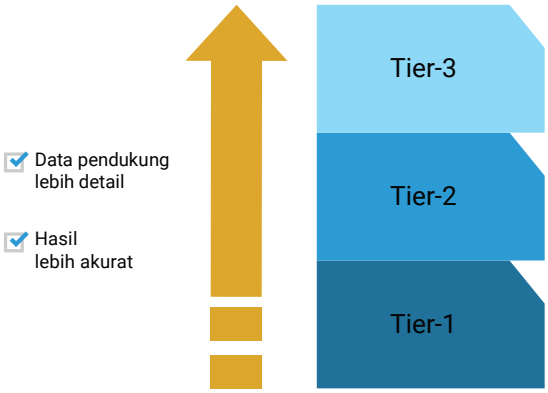


Gambar 4. Alur penentuan metode penghitungan emisi GRK pembangkitan listrik

4.2. Sistem *Tier* IPCC-2006 (Tingkat Ketelitian)

Sistem *Tier* menggambarkan tingkatan dan kompleksitas metode penghitungan emisi GRK dalam IPCC-2006. Dalam setiap tingkatan *Tier* terdapat perbedaan kualitas, keakuratan, dan ketidakpastian data. Semakin tinggi *Tier* yang digunakan, semakin akurat hasil penghitungan emisi GRK, tetapi memerlukan data yang lebih detail. Meskipun demikian, jumlah emisi GRK yang dihasilkan dari nilai *Tier* yang tinggi akan lebih rendah daripada hasil penghitungan menggunakan *Tier* yang lebih rendah. Hal ini disebabkan karena dengan *Tier* yang tinggi, maka emisi CO_2 yang dipertimbangkan adalah emisi CO_2 yang terlepas ke atmosfer, sedangkan masih ada karbon tersisa yang tidak habis terbakar, misalnya karbon tersisa pada *fly ash* dan *bottom ash*.

Penghitungan emisi GRK dengan *Tier* tertinggi (*Tier-3*) biasanya dipersyaratkan dalam mekanisme jual beli karbon karena antara penjual dan pembeli memerlukan tingkat ketelitian data emisi GRK yang tinggi. Namun demikian, unit pembangkitan listrik yang mengetahui kandungan karbon tersisa pada *fly ash* dan *bottom ash* atau yang memiliki *Continuous Emission Monitoring Systems* (CEMS) yang beroperasi minimal 97,5% selama pembangkit beroperasi dapat menggunakan penghitungan emisi CO_2 dengan *Tier* tertinggi (*Tier-3*).



Gambar 5. Sistem penghitungan emisi GRK berdasarkan *Tier*

IPCC-2006 telah menggambarkan secara jelas data apa saja yang dibutuhkan untuk dapat menghitung emisi GRK menggunakan tingkatan *Tier* yang berbeda. Matriks di bawah ini menggambarkan tingkatan *Tier* dan kaitannya dengan metode penghitungan emisi GRK.

Tabel 2. Matriks sistem *Tier.*

Tier	**Data yang Diperlukan**		**Metode**
	Aktivitas	**Faktor Emisi**	
Tier-1	Konsumsi bahan bakar (NCV *default* IPCC-2006)	Faktor emisi *default* IPCC-2006	Metode-1
Tier-2	Konsumsi bahan bakar (NCV nasional atau NCV di unit pembangkitan)	Faktor emisi nasional	Metode-1
		Faktor emisi spesifik di unit pembangkit listrik (tidak terdapat data karbon yang tidak terbakar dan menggunakan faktor oksidasi *default* nasional)	Metode-2
Tier-3	Konsumsi bahan bakar per teknologi pembakaran (NCV di unit pembangkitan)	Faktor emisi spesifik di unit pembangkit (terdapat data kandungan karbon dan faktor oksidasi spesifik di unit pembangkit listrik)	Metode-2
		Faktor emisi spesifik di unit pembangkit listrik (terdapat data karbon yang tidak terbakar)	Metode-3
	Emisi GRK sesuai CEMS*		Metode-4

Sumber: IPCC 2006 dan elaborasi tim penulis

* Jika CEMS dioperasikan sesuai prosedur penggunaan alat (sertifikasi, kalibrasi, dan jam operasi minimal 97,5%)

4.3. Penghitungan Emisi CO_2

Penghitungan emisi CO_2 dapat dilakukan dengan menggunakan salah satu atau kombinasi dari pendekatan berbasis penghitungan dan pendekatan berbasis pengukuran. Perusahaan pembangkit dapat memilih jenis metode tergantung dari ketersediaan data dilapangan. Untuk dapat meningkatkan keakuratan data emisi GRK, perusahaan pembangkit didorong untuk menggunakan metode yang paling tinggi.

4.3.1. Metode-1

Unit pembangkitan yang memiliki data konsumsi bahan bakar tapi tidak memiliki data kualitas bahan bakar *(proximate analysis* dan kandungan karbon*)*, dan data analisa pasca pembakaran dapat menghitung total emisi CO_2 per jenis bahan bakar dengan menggunakan Metode-1. Rumus penghitungan emisi CO_2 menggunakan Metode-1 adalah sebagai berikut:

$$E_{CO_2} = DA \times FE$$

dimana:

E_{CO_2} : Total emisi CO_2 (ton CO_2)
DA : Data Aktivitas (TJ)
FE : Faktor Emisi (ton/TJ)

Data aktivitas merupakan data konsumsi per jenis bahan bakar yang telah dikonversi ke satuan energi. Rumus mengkonversi data konsumsi bahan bakar dari satuan unit massa (ton) ke satuan unit energi (TJ) adalah sebagai berikut:

Data aktivitas bahan bakar batubara

$$DA_{BB} = F_{BB} \times NCV \times 10^{-3}$$

dimana:

DA_{BB} : Data Aktivitas Batubara (TJ)
F_{BB} : Konsumsi batubara dalam setahun (ton)
NCV : Nilai kalor bersih batubara (TJ/Gg), nilai NCV batubara *default* nasional lihat Lampiran 6

Data aktivitas bahan bakar BBM

$$DA_{BBM} = F_{BBM} \times \rho \times NCV \times 10^{-6}$$

dimana:

DA_{BBM} : Data Aktivitas (TJ)

F_{BBM} : Konsumsi BBM dalam setahun (kilo liter)

NCV : Nilai kalor bersih BBM (TJ/GgBBM), nilai NCV BBM *default* nasional lihat Lampiran 4

ρ : Berat jenis BBM (kgBBM/m^3), nilai berat jenis BBM *default* nasional lihat Lampiran 5

Data aktivitas bahan bakar gas bumi dan LNG

$$DA_{BBG} = F_{BBG} \times K$$

dimana:

DA_{BBG} : Data Aktivitas (TJ)

F_{BBG} : Konsumsi BBG dalam setahun (MMBTU)

K : Konversi (0,001055 TJ/MMBTU)

Data aktivitas bahan bakar bakar *biomass-based fuel*

$$DA_{Bm} = F_{Bm} \times NCV$$

dimana:

DA_{Bm} : Data Aktivitas (TJ)

F_{Bm} : Konsumsi *biomass-based fuel* dalam setahun (unit massa biomassa)

NCV : Nilai kalor bersih *biomass-based fuel* (TJ/unit massa Biomassa) nilai NCV *default* IPCC lihat Lampiran 3.

Faktor emisi bahan bakar merupakan faktor emisi perjenis bahan bakar. Terdapat dua faktor emisi yang disediakan dalam Pedoman ini, yaitu faktor emisi *default* IPCC-2006 dan faktor emisi GRK nasional. Faktor emisi *default* IPCC-2006 terlampir dalam Lampiran 3. Faktor emisi CO_2 nasional atas bahan bakar fosil yang dikembangkan oleh Tekmira dan Lemigas KESDM terlampir pada dalam Lampiran 4 dan Lampiran 6.

Faktor emisi nasional per jenis bahan bakar fosil yang disediakan oleh Pemerintah Indonesia menjadi rujukan utama. Jika faktor emisi nasional per jenis bahan bakar tidak tersedia, unit pembangkitan dapat menggunakan faktor emisi *default* IPCC-2006. Meskipun banyak digunakan, nilai *default* IPCC 2006 merupakan nilai rerata *global* yang digunakan untuk inventarisasi nasional. Nilai *default* ini mungkin tidak tepat untuk digunakan di beberapa unit pembangkit.

Untuk bahan bakar *biomass-based fuel*, saat ini belum tersedia faktor emisi CO_2 nasional. Emisi CO_2 dihitung menggunakan faktor emisi *default* IPCC seperti dalam Lampiran 2.

4.3.2. Metode-2

Perusahaan pembangkit yang telah memiliki data konsumsi bahan bakar dan telah mengukur kualitas bahan bakar (*proximate analysis* atau kandungan karbon) dapat mengitung emisi CO_2 dengan menggunakan Metode-2. Rumus penghitungan emisi CO_2 perjenis bahan bakar disajikan dalam rumus di bawah ini:

Bahan bakar batubara

$$E_{CO2} = F_{BB} \times C_{ar} \times FO \times 44/12$$

dimana:

E_{CO_2}	:	Total emisi CO_2 di tahun i (ton CO_2)
F_{BB}	:	Konsumsi batubara di tahun i (ton)
C_{ar}	:	Kandungan karbon, *as received,* persentase (*weighted average*)
FO	:	Faktor oksidasi *default* nasional
44	:	Berat molekul CO_2
12	:	Berat atom C

Dimana kandungan karbon *as received,* dapat dihitung dengan menggunakan formula berikut:

$$C_{ar} = C_{ad} \times \left[\frac{(100) - TM_{ar}}{(100) - M_{ad}} \right]$$

dimana:

TM_{ar} : *Total Moisture* = kadar air total *(as received)* (%)

M_{ad} : *Inherent moisture* = Kadar air bawaan (*as dried*) (%)

C_{ad} : Kandungan karbon *(air dried)* (%)

Jika tidak ada data FO spesifik, nilai faktor oksidasi dapat mengacu kepada *default* nasional seperti Lampiran 2.

Bahan bakar BBM

$$E_{CO_2} = F_{BBM} \times \rho \times C_{ar} \times FO \times 44/12 \times 10^{-3}$$

dimana:

E_{CO_2} : Total emisi BBM (ton CO_2)

F_{BBM} : Jumlah konsumsi BBM (kilo liter)

FO : Faktor oksidasi

ρ : Berat jenis BBM (kg BBM/m^3)

C_{ar} : Kandungan karbon (%)

10^{-3} : Unit konversi

44 : Berat molekul CO_2

12 : Berat atom C

Kandungan karbon bahan bakar dapat dihitung dengan metode analisis ASTM D 5291-02.

Bahan bakar gas bumi dan LNG

$$E_{CO_2} = F_{gas} \times 0{,}001015 \times \frac{C}{NCV} \times FO \times 10^3 \times 44/12$$

dimana:

E_{CO_2} : Total emisi BBM (ton CO_2)

F_{gas} : Jumlah konsumsi gas *netto* (MMBTU)

NCV : Nilai kalor bersih (TJ/Gg)

FO : Faktor oksidasi
C : Kandungan karbon (%)
0,001055 : Unit konversi (MMBTU ke TJ)
10^3 : Unit konversi
44 : Berat molekul CO_2
12 : Berat atom C

Kandungan karbon gas dapat dihitung dengan metode analisis API TR 2572 dengan rumus sebagai berikut:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^{\#komponen} \left(n \times AW_{carbon} \times XM_i \right)}{\sum_{i=1}^{\#komponen} \left(WM_i \times XM_i \right)}$$

dimana:
C : Kandungan karbon
n : Jumlah atom karbon dalam setiap komponen (contoh untuk propane, n=3)
AW_{carbon} : Berat atom karbon
WM_i : Berat molekul komponen
XM_i : Fraksi mol

Rumus untuk mencari data konsumsi gas bumi dari satuan *netto* (GCV) ke *netto* (NCV) lihat pada sub bab 4.2.3.3.

4.3.3. Metode-3

Analisa pasca pembakaran dilakukan untuk mengukur fraksi karbon dalam bahan bakar yang tidak teroksidasi. Jumlah karbon yang tidak teroksidasi/tidak terbakar dipengaruhi oleh faktor jenis bahan bakar, teknologi pembakaran, umur peralatan, dan praktek-praktek pengoperasian. Faktor-faktor ini dapat beragam sepanjang waktu bahkan pada satu unit pembangkitan.

Secara umum, faktor oksidasi gas dan BBM untuk semua unit pembakaran adalah kecil dan dapat diabaikan. Riset terakhir menemukan bahwa boiler berbahan bakar gas dan mesin berbahan bakar BBM yang modern, yang diopersikan secara efisien, fraksi oksidasi dapat diasumsikan 100%.

Dalam Pedoman ini, Metode-3 hanya digunakan untuk mengukur emisi CO_2 dari pembangkit listrik berbahan bakar batu bara.

Salah satu kandungan terpenting dari batubara adalah abu. Abu merupakan hasil sisa setelah pembakaran batubara yang besarannya antara 1% sampai 30% dari berat batubara. Fraksi karbon yang masih terkandung dalam *fly ash* dan *bottom ash* merupakan faktor utama dalam menentukan faktor oksidasi dari pembakaran batubara. Jika unit pembangkit telah melakukan analisa carbon pasca pembakaran (C_{ub}), total emisi GRK dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$E_{CO2} = F_{BB} \times \{C_{ar} - (A_{ar} \times C_{ub})\} \times 44/12$$

dimana:

E_{CO2} : Total emisi CO_2 (ton CO_2)

F_{BB} : Konsumsi batubara di tahun i (ton)

C_{ar} : Kandungan karbon, *as received* (rerata), persentase

A_{ar} : Kandungan abu, *as received*, (rerata), persentase

C_{ub} : Kandungan karbon dalam abu (*unburned carbon*), rerata, persentase

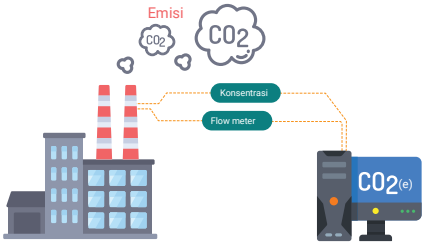
Jika unit pembangit listrik telah memiliki data faktor oksidasi spesifik, maka dapat menggunakan Metode-2 untuk menghitung besaran emisi CO_2.

4.3.4. Metode-4

Unit pembangkitan tenaga listrik utamanya mengoperasikan CEMS untuk memantau polusi udara (SO_X, NO_X, atau partikulat) tetapi beberapa CEMS juga dilengkapi dengan parameter untuk mengukur emisi CO_2. CEMS umumnya tidak dianjurkan hanya untuk mengukur emisi CO_2 karena harganya yang relatif mahal. Pendekatan berbasis pengukuran emisi CO_2 dengan

CEMS berlangsung dengan mencatat laju alir gas buang, persentase konsentrasi CO_2/O_2, dan temperatur gas buang dalam cerobong.

Berdasarkan sosialisasi Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup (PROPER) yang dilakukan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan bahwa pengoperasian CEMS dianggap taat (*comply*) pada saat pembangkit melaporkan data pemantauan CEMS minimal 75% dari seluruh data pemantauan dengan pengukuran harian minimal 18 jam. Pelaporan emisi CO_2 dari pengoperasian CEMS tersebut disertai dengan laporan kondisi peralatan CEMS. Unit pembangkitan tenaga listrik yang memantau CEMS selama 97,5% dengan tingkat emisi kurang dari 500.000 ton CO_2 per tahun atau 98,5% dengan tingkat emisi minimal 500.000 ton CO_2 per tahun sesuai dengan prosedur pengoperasian CEMS, maka produksi emisi CO_2 akan digunakan atau dipertimbangkan sebagai total emisi GRK unit pembangkitan. Namun, unit pembangkitan tetap wajib melaporkan inventarisasi GRK dengan metode perhitungan seperti diterangkan dalam Metode-2 atau Metode-3 di atas.



Gambar 6. Ilustrasi CEMS

Persyaratan yang harus dipenuhi apabila menggunakan data emisi CO_2 yang berasal dari CEMS, yaitu sertifikasi kalibrasi untuk sistem CEMS secara periodik. Total emisi CO_2 tahunan hasil perhitungan CEMS, dalam ton, dihitung dari rerata berat CO_2 setiap jam menggunakan rumus berikut:

$$E_{CO_2} = \frac{\sum_{h-1}^{H_R} ER_h \times t_h}{1000}$$

dimana :

E_{CO_2} : Jumlah emisi CO_2 unit pembangkit listrik, selama satu tahun kalender (ton)

ER_h : Rerata masa emisi CO_2 setiap jam selama operasional unit pembangkit listrik (kg/jam)

t_h : Waktu operasi unit pembangkit (jam atau fraksi satu jam)

H_R : Jumlah tersedianya tingkat emisi CO_2 setiap jam selama satu tahun

Tingkat emisi CO_2 setiap jam, dalam kg/jam, harus didefinisikan berdasarkan satu dari beberapa opsi berikut:

Opsi A : Sistem perhitungan CO_2 dalam *wet basis* dimana laju alir gas buang dan konsentrasi CO_2 dihitung dalam *wet basis*. (Jika CEMS dapat menyediakan persentase konsentrasi CO_2)

Opsi B : Sistem perhitungan CO_2 dalam *wet basis* dimana laju alir gas buang dihitung dalam *wet basis* dan konsentrasi CO_2 dalam *wet basis*. (Jika CEMS dapat menyediakan persentase konsentrasi CO_2)

Opsi C : Sistem perhitungan dimana laju alir gas buang dan konsentrasi CO_2 dihitung dalam *wet basis*. (Jika CEMS dapat menyediakan persentase konsentrasi CO_2)

Opsi D : Sistem perhitungan O_2 dalam *wet basis* dimana laju alir gas buang dan konsentrasi O_2 dihitung dalam *wet basis*. (Jika CEMS tidak dapat menyediakan persentase konsentrasi CO_2)

Opsi E : Sistem perhitungan O_2 dalam *wet basis* dimana laju alir gas buang dihitung dalam *wet basis* dan konsentrasi O_2 dalam *wet basis*. (Jika CEMS tidak dapat menyediakan persentase konsentrasi CO_2)

Jika laju alir gas buang dan konsentrasi CO_2 tidak dapat ditentukan dalam *wet/dry basis* maka perusahaan pembangkit dapat mengasumsikan bahwa konsentrasi CO_2 dan lajur alir dalam *wet basis* dan menggunakan rumus opsi C.

Opsi A : Sistem perhitungan CO_2 dalam *wet basis* dimana laju alir gas buang dan konsentrasi CO_2 dihitung dalam *wet basis*.

$$ER_h = D_{CO_2} \times CO_{2_w} \times Q_w$$

dimana:

ER_h : Rerata masa emisi CO_2 setiap jam (kg/jam)

D_{CO_2} : Densitas CO_2 pada temperatur dan tekanan standar (1,79846 kg/Nm^3 pada tekanan 1 atm dan temperatur 25°C)

CO_{2_w} : Rerata konsentrasi CO_2 pada gas buang (*wet basis*) setiap jam (% volume)

Q_w : Rerata laju alir gas buang (*wet basis*) setiap jam pada kondisi standar (Nm^3/jam)

Rumus menghitung densitas CO_2 pada kondisi standar

$$D_{CO_2} = \frac{W}{V} = \frac{nMW}{V} = \frac{\frac{mol\, gram/mol}{1000}}{m^3} = \frac{kg}{m^3}$$

$$D_{CO_2} = \frac{\frac{1 \times 44}{1000}}{0.024465432} = 1.79846 \frac{kg}{m^3}$$

dimana:

D_{CO_2} : Densitas CO_2 pada temperatur dan tekanan standar (kg/Nm^3)

W : Berat CO_2 (kg)

V : Volume udara pada kondisi standar tekanan 1 atm dan temperatur 25°C sebesar 0,024465432 (Nm^3)

n : Mol CO_2

MW : Berat molekul CO_2 (44 gram/mol)

Rumus menghitung laju alir pada kondisi standar

$$Q_w = Q_{act} \left(\frac{T_{25}}{T_{act}} \right) \left(\frac{P_{act}}{P_{standar}} \right)$$

dimana:

Q_w : Q laju alir gas buang (*wet basis*) pada kondisi standar 25°C dan 1 atm (Nm^3/jam)

Q_{act} : laju alir gas buang (*wet basis*) pada kondisi aktual pengukuran (m^3/jam)

T_{25} : suhu pada kondisi standar (25°C), dinyatakan dalam satuan Kelvin (K)

T_{act} : suhu pada kondisi aktual, dinyatakan dalam satuan Kelvin (K)

$P_{standar}$: tekanan pada kondisi standar 1 atm, dinyatakan dalam satuan mmHg

P_{act} : tekanan pada kondisi aktual yang dinyatakan dalam satuan mmHg

Opsi B : Sistem perhitungan CO_2 dalam *wet basis* dimana laju alir gas buang dihitung dalam *wet basis* dan konsentrasi CO_2 dalam *dry basis*

Opsi ini berlaku pada salah satu dari berikut:

- Menggunakan *analyzer* O_2 dalam *wet basis* untuk menentukan *moisture* gas buang dan tidak ada air tambahan selain yang dihasilkan selama proses pembakaran;
- CEMS di pasang setelah alat pengendalian pencemaran udara yang mengurangi temperatur gas buang sehingga gas terdapat tambahan air; atau
- Menggunakan sistem monitoring gas buang alternatif yang telah terbukti mampu mengukur faktor (100-Bws) dengan tingkat kesalahan ≤ 2,5% setiap jam selama setahun penuh.

Ketika laju alir gas buang dihitung dalam *wet basis* dan konsentrasi CO_2 dalam *wet basis*, rata-rata tingkat emisi CO_2 dihitung dengan rumus berikut:

$$ER_h = 1{,}79846 \times Q_w \times CO_{2,d} \frac{\left(100 - B_{ws}\right)}{100}$$

dimana:

ER_h : Rerata masa emisi CO_2 setiap jam (kg/jam)

1,79846 : Densitas CO_2 pada temperatur dan tekanan standar (pada tekanan 1 atm dan temperatur 25°C (kg/Nm^3)

$CO_{2,d}$: Rerata konsentrasi CO_2 pada gas buang pada *wet basis* setiap jam (% volume)

Q_w : Rerata laju alir gas buang setiap jam (*wet basis*) pada kondisi standar (Nm^3/jam)

B_{ws} : Rerata kandungan *moisture* dalam gas buang setiap jam (% volume)

Opsi C : Sistem perhitungan laju alir gas buang dan konsentrasi CO_2 kedua-duanya dalam *dry basis*.

$$ER_h = Q_w \times CO_{2,d} \frac{(100 - B_{ws})}{100}$$

dimana:

ER_h : Rerata masa emisi CO_2 setiap jam (kg/jam)

D_{CO_2} : Densitas CO_2 pada temperatur dan tekanan standar (1,79846 kg/Nm^3 pada tekanan 1 atm dan temperatur 25°C)

$CO_{2,d}$: Rerata konsentrasi CO_2 pada gas buang setiap jam pada *wet basis* (% volume)

Q_w : Rerata laju alir gas buang (*wet basis*) setiap jam pada kondisi standar (Nm^3/jam)

Opsi D : Sistem perhitungan O_2 dalam *wet basis* dimana laju alir gas buang dan konsentrasi O_2 dihitung dalam *wet basis*.

Perhitungan opsi D digunakan dengan mempertimbangkan analisa bahan bakar. Jika tidak satupun dari dua kondisi di bawah terjadi, sistem pengukuran konsentrasi CO_2 harus digunakan.

Opsi D terdiri atas dua kondisi:

- CEMS di pasang setelah alat pengendalian pencemaran udara yang mengurangi temperatur gas buang sehingga gas terdapat tambahan air; atau
- Tidak ada tambahan air selain air yang dihasilkan selama proses pembakaran.

Opsi D.1: Gas buang terdapat tambahan air

Ketika laju alir gas buang dan konsentrasi O_2 dihitung dalam *wet basis* dan CEMS di pasang setelah alat pengendali pencemaran udara yang mengurangi temperatur gas buang sehingga gas yang keluar mengandung tambahan air, maka rata-rata konsentrasi CO_2 gas buang dalam *wet basis* dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$CO_{2,w} = \frac{100\ V_C}{20,9\ V_d}\left[\frac{20,9\ (100 - Bws)}{100} - O_{2,w}\right]$$

dimana:

$CO_{2,w}$: Rerata konsentrasi CO_2 pada gas buang pada *wet basis* setiap jam (% volume)

20,9 : Fraksi O_2 dalam udara ambien (% volume)

V_c : Rasio volume CO_2 hasil pembakaran bahan bakar dan udara terhadap GCV bahan bakar, *wet basis* pada kondisi standar (Nm^3/GJ)

V_d : Rasio volume gas (*wet basis*) hasil pembakaran stoikiometri bahan bakar dan udara terhadap GCV bahan bakar pada kondisi standar (Nm^3/GJ)

B_{ws} : Rerata konsentrasi kandungan *moisture* udara di cerobong setiap jam, % volume

O_{2w} : Rerata konsentrasi O_2 gas buang setiap jam (*wet basis*), % volume

Opsi D.2 : Tidak ada tambahan air

Ketika laju alir gas buang dan konsentrasi O_2 dihitung dalam *wet basis* dan tidak ada tambahan air selain air yang dihasilkan selama proses pembakaran, rerata konsentrasi CO_2 gas buang dalam *wet basis* dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$CO_{2,w} = \frac{V_C}{V_d}\left[\frac{(100 - Bws)}{100} - \frac{O2,w}{20,9}\right]$$

dimana:

$CO_{2,w}$: Rerata konsentrasi CO_2 pada gas buang pada *wet basis* setiap jam (% volume)

20,9 : Fraksi O_2 dalam udara ambien (% volume)

V_c : Rasio volume CO_2 hasil pembakaran bahan bakar dan udara terhadap GCV bahan bakar (m^3/GJ)

V_w : Rasio volume gas (*wet basis*) hasil pembakaran stoikiometri bahan bakar dan udara terhadap GCV bahan bakar (m^3/GJ)

B_{wa} : Rerata konsentrasi *moisture* udara ambien setiap jam (% volume)

$O_{2,w}$: Rerata konsentrasi O_2 gas buang setiap jam (*wet basis*), (% volume)

Rumus mencari faktor-V (rasio)

Faktor rasio CO_2 bahan bakar dicari menggunakan *ultimate analysis* dan HHV (GCV), dengan rumus sebagai berikut:

$$Vd = 10^4\left[\left(K_{hd}\%H\right)+\left(K_c\%C\right)+\left(K_s\%S\right)+\left(K_n\%N\right)+\left(K_o\%O\right)\right]/\ HHV_d$$

$$Vw = 10^4\left[\left(Kw\%H\right)+\left(K_c\%C\right)+\left(K_s\%S\right)+\left(K_n\%N\right)+\left(K_o\%O\right)+\left(K_w\%H_2O)\right)\right]/\ HHV_w$$

$$Vc = 10^4\left(K_{cc}\%C\right)/\ HHV_d$$

dimana:

Vd, Vw, Vc	: Volume komponen pembakaran per unit kandungan panas, dalam m^3/GJ pada temperatur 25^0C dan tekanan 101,325 kPa
%H, %C, %S, %N, %O,%H_2O	: Konsentrasi hidrogen, karbon, sulfur, nitrogen, dan air (% berat) yang ditentukan dan dihitung dalam *wet basis* atau *wet basis* seperti penentuan HHV yang bedasarkan pada *American Standard and Testing Material* (ASTM).
HHV_d, HHV_w	: *Higher Heating Value* dalam kondisi *wet basis* atau *wet basis* dalam kj/kg. Dihitung berdasarkan ASTM maupun standar *Gas Processors Association* (GPA)
10^4	: Faktor konversi
K_{hd}	: 22,97 Nm^3/kg, volume gas buang (*wet basis*) hasil dari pembakaran stoikiometri hidrogen dalam bahan bakar
K_c	: 9,75 Nm^3/kg, volume gas buang (*wet basis*) hasil dari pembakaran stoikiometri karbon dalam bahan bakar
K_s	: 3,65 Nm^3/kg, volume gas buang (*wet basis*) hasil dari pembakaran stoikiometri sulfur dalam bahan bakar
K_n	: 0,87 Nm^3/kg, volume gas buang (*wet basis*) hasil dari pembakaran stoikiometri nitrogen dalam bahan bakar
K_o	: -2,89 Nm^3/kg, volume gas buang (*wet basis*) yang terhindarkan dikarenakan kandungan oksigen dalam bahan bakar
K_{hw}	: 35,10 Nm^3/kg, volume gas buang (*wet basis*) hasil dari pembakaran stoikiometri dari hidrogen dalam bahan bakar
K_w	: 1,36 Nm^3/kg, volume uap air hasil dari kandungan air dalam bahan bakar

K_{cc} : 2,04 Nm^3/kg, volume CO_2 yang dihasilkan selama pembakaran sempurna bahan bakar

Jika data untuk menghitung faktor-V tidak tersedia, gunakan tetapan faktor-V seperti dalam Lampiran 7.

Opsi E : Sistem perhitungan O_2 dalam wet basis dimana laju alir gas buang dihitung dalam *wet basis* dan konsentrasi O_2 dalam *dry basis.*

Opsi ini hanya berlaku ketika tidak ada tambahan air selain air yang dihasilkan selama proses pembakaran. Ketika menghitung laju alir gas buang dalam *wet basis*, konsentrasi O_2 dalam *wet basis*, dan tidak ada air tambahan selain yang dihasilkan selama proses pembakaran, rerata konsentrasi O_2 gas buang dalam *wet basis* setiap jam bisa didapatkan dari rerata konsentrasi O_2 gas buang dalam *wet basis* menggunakan rumus berikut:

$$O_{2,w} = \frac{O_{2,d}\left(100 - B_{ws}\right)}{100}$$

dimana :

$O_{2,w}$: Rerata konsentrasi O_2 gas buang setiap jam (*wet basis*), % volume

$O_{2,d}$: Rerata konsentrasi O_2 gas buang setiap jam (*wet basis*), % volume

B_{ws} : Rerata konsentrasi kandungan *moisture* setiap jam, % volume

Nilai $O_{2,w}$ kemudian dapat digunakan untuk menghitung nilai $CO_{2,w}$ dengan persamaan:

$$CO_{2,w} = \frac{V_c}{V_w}\left[\frac{100 - B_{wa}}{100} - \frac{O2,w}{20,9}\right]$$

4.4. Penghitungan emisi CH4 dan N2O

Perhitungan emisi CH_4 dan N_2O dari pembakaran bahan bakar menggunakan Metode-1, faktor emisi *default* IPCC. Hal ini ditetapkan karena belum tersedianya faktor emisi CH_4 dan N_2O nasional dan untuk mengetahui faktor emisi CH_4 dan N_2O nasional dan atau sesuai kondisi pembakaran pada Unit Pembangkitan memerlukan pengujian laboratorium tertentu yang jumlahnya terbatas dan memerlukan biaya yang tidak sedikit.

Bahan bakar batubara

$$E_{CH_4,\ N2O} = DA \times FE$$
$$E_{CH_4,\ N_2O} = (F_{BB} \times NCV) \times FE \times 10^{-6}$$

dimana:

$E_{CH_4,\ N_2O}$	: Total emisi CH_4 atau N_2O (ton)
DA	: Data Aktivitas (TJ)
F_{BB}	: Konsumsi batubara dalam setahun (ton)
NCV	: Nilai kalor bersih batubara (weighted average, TJ/Gg)
FE	: Faktor Emisi (kg CH_4/TJ atau kg N_2O/TJ, lihat Lampiran 2)
10^{-6}	: Faktor pengali

Bahan bakar BBM

$$E_{CH_4,\ N_2O} = DA \times FE$$
$$E_{CH_4,\ N_2O} = (F_{BBM} \times NCV \times \rho) \times FE \times 10^{-9}$$

dimana:

$E_{CH_4,\ N_2O}$	: Total emisi CH_4 atau N_2O (ton)
DA	: Data Aktivitas (TJ)
F_{BBM}	: Konsumsi BBM dalam setahun (kiloliter)
NCV	: Nilai kalor bersih BBM (*weighted average*, TJ/Gg)
ρ	: Berat jenis BBM (kg BBM/m^3)
FE	: Faktor Emisi (kg CH_4/TJ atau kg N_2O/TJ, lihat Lampiran 2)
10^{-9}	: Faktor pengali

Bahan bakar gas bumi dan LNG

$$E_{CH_4,\ N_2O} = DA\ \ x\ \ FE$$
$$E_{CH_4,\ N_2O} = (F_{BBG}\ x\ K)\ \ x\ \ FE\ \ x\ \ 10^{-3}$$

dimana:

$E_{CH_4,\ N_2O}$	: Total emisi CH_4 atau N_2O (ton)
DA	: Data Aktivitas (TJ)
F_{BBG}	: Konsumsi gas bumi dan LNG pertahun dalam NCV (MMBTU)
K	: Konversi (0,001055 TJ/MMBTU)
FE	: Faktor Emisi (kg CH_4/TJ atau kg N_2O/TJ, lihat Lampiran 2)
10^{-3}	: Faktor pengali

Bahan bakar *biomass-based fuel*

$$E_{CH_4,\ N_2O} = DA \times FE$$
$$E_{CH_4,\ N_2O} = (F_{BM}\ x\ NCV) \times FE \times 10^{-6}$$

dimana:

$E_{CH_4,\ N_2O}$	:Total emisi CH_4 atau N_2O (ton)
DA	: Data Aktivitas (TJ)
F_{BM}	: Konsumsi *biomass-based* fuel dalam setahun (ton)
NCV	: Nilai kalor bersih BBM (*weighted average*, TJ/Gg)
FE	: Faktor Emisi (kg CH_4/TJ atau kg N_2O/TJ, lihat Lampiran 2)
10^{-6}	: Faktor pengali

4.5. Konversi GCV ke NCV

Nilai kalor yang diperoleh dari pemasok bahan bakar fosil adakalanya berupa nilai kalor kotor atau *Gross Calorific Value* (GCV) atau *High Heating Value* (HHV). Pada saat pembakaran bahan bakar batubara di boiler, air yang menempel di batubara (dalam hal ini *Total Moisture*) serta air yang terbentuk dari persenyawaan hidrogen yang terkandung di dalam batubara dan oksigen, akan berubah menjadi uap air setelah melalui proses pemanasan dan penguapan. Karena tidak memberi nilai tambah apa pun dalam konversi ke energi yang

dapat dimanfaatkan selain untuk menguapkan air dalam batubara saja, maka kalor yang digunakan untuk proses tadi disebut kalor laten. Jika kalor laten ini diikutsertakan dalam analisis, maka kalori dalam batubara yang bersangkutan disebut dengan GCV atau HHV.

4.5.1. Batubara

Berdasarkan ASTM D5865-12, konversi GCV menjadi NCV dari batubara seperti persamaan di bawah. Kandungan hidrogen, *moisture*, dan oksigen diperoleh dari hasil analisis *ultimate* atas batubara pada kondisi *as received*.

$$NCV = GCV - 0{,}212H - 0{,}0245M - 0{,}008Y$$

dimana:

NCV : *Net Calorific Value* (MJ/kg)
GCV : *Gross Calorific Valu*e (MJ/kg)
H : Hidrogen (%, *as received*)
M : *Moisture* (%, *as received*)
Y : Oksigen (%, *as received*)

4.5.2. BBM

Konversi nilai kalor BBM dari GCV ke NCV merupakan nilai GCV – 0,212 kali kandungan hidrogen dari BBM, seperti rumus berikut:

$$NCV = GCV - 0{,}212H$$

dimana:

NCV : *Net Calorific Value*
GCV : *Gross Calorific Value*
H : Hidrogen (%, berat)

4.5.3. Bahan Bakar Gas

Perhitungan konsumsi gas *netto* ke *netto* berdasarkan data % volume dan data konsumsi *netto* untuk tiap komposisi gas dilakukan sesuai tahapan berikut:

- Apabila diketahui hanya data % volume untuk tiap komposisi gas, perhitungan dilakukan sesuai rumus berikut:

$$a.\ Total\ konsumsi\ bruto_i = Volume\ gas \times total\ konsuksi\ bruto\ gas$$

$$b.\ Konsumsi\ netto = \sum_{i=1}^{n} total\ konsumsi\ \ bruto_i \times \Delta\ tetapan\ selisih_i$$

dimana:

$Konsumsi\ netto$: Konsumsi *netto* total (MMBTU)

$Konsumsi\ netto$: Konsumsi *netto* masing-masing gas (MMBTU)

$\Delta\ tetapan\ selisih_i$: Persentase Selisih antara GCV dan NCV masing-masing gas dinyatakan dalam %

- Apabila telah diketahui konsumsi *netto* masing-masing komposisi gas, maka hanya menggunakan rumus persamaan (b).
- Adapun NCV gas dapat dihitung sesuai dengan rumus berikut:

$$NCVgas = \frac{Total\ konsumsi\ gas_{netto}}{Total\ volume\ gas}$$

dimana:

NCV_{gas} : *Net Calorific Value* Gas

$Total\ konsumsi\ gas_{netto}$: Total konsumsi gas *netto* dalam setahun (MMBTU)

$Total\ volume\ gas$: Total volume konsumsi gas *netto* dalam setahun (m^3)

Untuk tetapan selisih pangsa masing-masing gas sesuai *GPA Standard 2145-16* sesuai dalam Lampiran 13.

BAB 5
PELAPORAN INVENTARISASI GRK

5.1. Tahapan

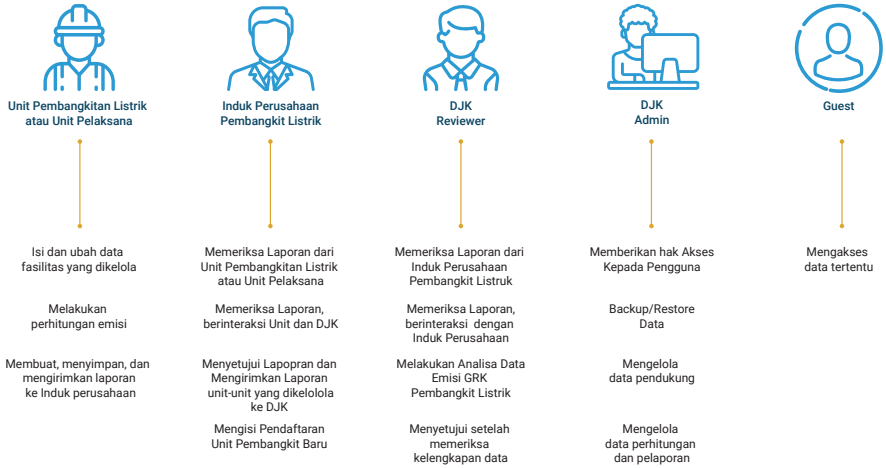
Pelaporan inventarisasi GRK unit pembangkitan listrik akan dilakukan secara online melalui Aplikasi Perhitungan dan Pelaporan Emisi Ketenagalistrikan (APPLE-Gatrik) yang disediakan oleh DJK KESDM. Panduan pengisian akan disediakan secara terpisah. Aplikasi web tersebut dapat diakses oleh 5 (lima) kelompok sebagai berikut:

- **Unit Pembangkitan Listrik atau Unit Pelaksana (khusus PT PLN (Persero)**
  Kelompok ini merupakan kelompok yang menginput seluruh data yang diperlukan untuk menghitung emisi GRK yang terjadi pada unit pembangkitan listrik. Seluruh data yang diinput sudah melalui proses QC. Unit pembangkitan listrik hanya bisa melihat data unit pembangkitan listrik yang bersangkutan.
- **Induk Perusahaan Pembangkit Listrik**
  Kelompok ini merupakan kelompok yang akan melakukan QA atas seluruh data terkait. Data yang dianggap masih menyimpang akan dikembalikan ke unit pembangkitan listrik untuk disesuaikan. Data yang sudah sesuai akan disetujui oleh induk perusahaan pembangkit listrik, sehingga status laporannya secara otomatis akan terkirim ke DJK KESDM. Induk perusahaan pembangkit listrik dapat melihat semua data Unit Pembangkitan Listrik atau Unit Pelaksana yang ada di bawah koordinasi induk perusahaan pembangkit listrik yang bersangkutan.
- **DJK *Reviewer***
  Kelompok ini merupakan kelompok di DJK KESDM yang bertugas untuk memvalidasi seluruh data yang diperoleh dari induk perusahaan pembangkit listrik. DJK KESDM dapat mengakses seluruh data secara detail dan dapat berkoordinasi dengan induk perusahaan pembangkit listrik dengan tembusan ke Unit Pembangkitan Listrik atau Unit Pelaksana jika ditemukan data yang dianggap anomali.
- **DJK Admin**
  Kelompok ini merupakan kelompok di DJK KESDM yang bertugas untuk menyesuaikan sistem pelaporan *online* jika harus dilakukan perubahan sistem. Sebagai contoh

diperlukan perubahan nilai GWP, nilai faktor emisi GRK nasional per jenis bahan bakar, penambahan dan perubahan jaringan interkoneksi, penambahan unit dan induk perusahaan pembangkitan listrik yang baru, dan variabel yang dianggap penting lainnya.

- ***Guest***

  Kelompok ini merupakan kelompok Kementerian/Lembaga yang relevan yang dapat mengakses informasi hasil inventarisasi emisi GRK secara terbatas. Misalnya total emisi GRK per tahun (CO_2, CH_4, N_2O, CO_2e), total konsumsi bahan bakar, produksi listrik (*gross*), dan lainnya.



Gambar 7. Pengelompokan akses akun APPLE-Gatrik

Tahapan pelaporan inventarisasi GRK Bidang Energi Sub Bidang Ketenagalistrikan dari hulu (unit pembangkit) sampai hilir (Dit IGRK & MPV KLHK) ditunjukkan pada Tabel 3. Setiap data emisi GRK Unit Pembangkitan Listrik atau Unit Pelaksana yang akan dikirim ke induk perusahaan pembangkitan harus sudah melalui proses QC/QA secara internal. Induk perusahaan pembangkitan mengirim laporan inventarisasi GRK ke DJK-KESDM yang dilengkapi dengan Surat Pernyataan atas perhitungan emisi GRK yang dilakukan oleh masing-masing unit pembangkitan listrik atau unit pelaksana. Surat Pernyataan ini sebagai jaminan bahwa seluruh data dan perhitungan emisi GRK sudah dilakukan sesuai dengan Pedoman ini.

Tabel 3. Tahapan Kegiatan, Penanggung Jawab, dan Periode Pelaporan

Tahap	Kegiatan	Periode Pelaporan	Penanggung Jawab
Tahap 1	Setiap unit pembangkitan tenaga listrik atau unit pelaksana melaporkan data tingkat emisi yang sudah di QC/QA kepada induk perusahaan pembangkit.	1 tahun kalender (tahun n-1)	Unit pembangkitan tenaga listrik atau unit pelaksana
Tahap 2	Induk perusahaan pembangkit menyampaikan data hasil pelaporan dari unit pembangkitan listrik atau unit pelaksana yang telah divalidasi melalui sistem online ke DJK KESDM.	Paling lambat bulan Mei tahun berjalan	Perusahaan Pembangkit (PLN, IP, PJB, IPP, dan PPU), dan Excess Power
Tahap 3	DJK KESDM bersama Unit Pengatur Beban Tenaga Listrik memverifikasi data produksi tenaga listrik yang masuk ke sistem jaringan interkoneksi.	1 tahun sekali	DJK KESDM, dan PLN
Tahap 4	DJK KESDM melakukan validasi terhadap data emisi GRK yang dilaporkan perusahaan.	1 tahun sekali	DJK KESDM
Tahap 5	DJK KESDM melaporkan data tingkat emisi GRK Bidang Energi kepada KLHK (termasuk pembangkit listrik).	1 tahun sekali	Pusdatin, KESDM
Tahap 6	KLHK akan melakukan cross check data tingkat emisi sebelum melaporkan data inventarisasi GRK nasional kepada UNFCCC.	1 tahun sekali	Ditjen PPI, KLHK

5.2. Tahun Dasar

Tahun dasar Laporan Inventarisasi GRK Bidang Energi Sub Bidang Ketenagalistrikan adalah tahun 2010. Hal ini diwajibkan karena data inventarisasi emisi GRK unit pembangkit listrik juga dapat digunakan sebagai data untuk menghitung potensi mitigasi emisi GRK yang sudah dilakukan oleh unit pembangkitan listrik atau unit pelaksana.

Dalam Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK) bahwa menteri/pimpinan lembaga melakukan, memantau, dan melaporkan pelaksanaan RAN-GRK kepada KLHK untuk selanjutnya disampaikan ke Menteri Koordinator Bidang Perekonomian paling sedikit 1 (satu) kali dalam setahun. Laporan aksi mitigasi sub bidang ketenagalistrikan ini akan disampaikan oleh KLHK kepada UNFCCC sebagai capaian aksi mitigasi emisi GRK nasional setelah diverifikasi oleh verifikator sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Berdasarkan NDC, target penurunan emisi GRK Bidang Energi mencapai 314 juta ton CO_2e dengan usaha sendiri atau dapat meningkat menjadi 398 juta ton CO_2e dengan bantuan internasional pada tahun 2030. Mengingat tingginya target penurunan emisi GRK Bidang Energi pada tahun 2030, maka pencapaian target tersebut tidak akan tercapai tanpa dukungan Sub Bidang Ketenagalistrikan. Untuk itu, Pelaporan Inventarisasi GRK Bidang Energi Sub Bidang Ketenagalistrikan sejak tahun 2010 akan dapat membantu KESDM c.q. DJK untuk menganalisis potensi mitigasi emisi GRK yang sudah terjadi pada setiap unit pembangkitan listrik atau unit pelaksana.

5.3. Pelaporan

Pelaporan inventarisasi GRK oleh induk perusahaan pembangkit listrik dilakukan secara *online* melalui APPLE-Gatrik yang dilengkapi dengan surat pernyataan dari induk perusahaan. Pelaporan inventarisasi emisi GRK secara *online* mulai dilakukan tahun 2018 dengan tahun pelaporan sejak tahun 2010 sampai dengan tahun 2017.

Data inventarisasi GRK masing-masing unit pembangkitan listrik atau unit pelaksana akan divalidasi oleh induk perusahaan pembangkitan sebelum dikirimkan ke DJK KESDM. Data inventarisasi GRK unit pembangkitan listrik atau unit pelaksana setelah dilakukan penjaminan mutu (QA) dan penjaminan kualitas (QC) dan dianggap belum memenuhi kualifikasi, maka induk perusahaan pembangkitan akan mengembalikan data inventarisasi emisi GRK tersebut ke unit pembangkitan listrik atau unit pelaksana untuk diperbaiki dan disesuaikan.

5.4. Jadwal Pelaporan

Pelaporan inventarisasi emisi GRK Sub Bidang Ketenagalistrikan oleh induk perusahaan pembangkit listrik ke DJK KESDM dilakukan setiap tahun. Hal ini ditetapkan karena DJK KESDM memerlukan waktu untuk memvalidasi hasil penghitungan emisi GRK tersebut sebelum dikirimkan ke Pusdatin KESDM. Pelaporan inventarisasi GRK tahun berjalan (n) adalah data inventarisasi GRK tahun n-1, sebagai contoh laporan Inventarisasi GRK Sub Bidang Ketenagalistrikan ke DJK KESDM tahun 2018 adalah data emisi GRK Sub Bidang Ketenagalistrikan tahun 2017.

BAB 6
PENGENDALIAN DAN PENJAMINAN KUALITAS

6.1. Sistem *Quality Assurance/Quality Control* (QC/QA)

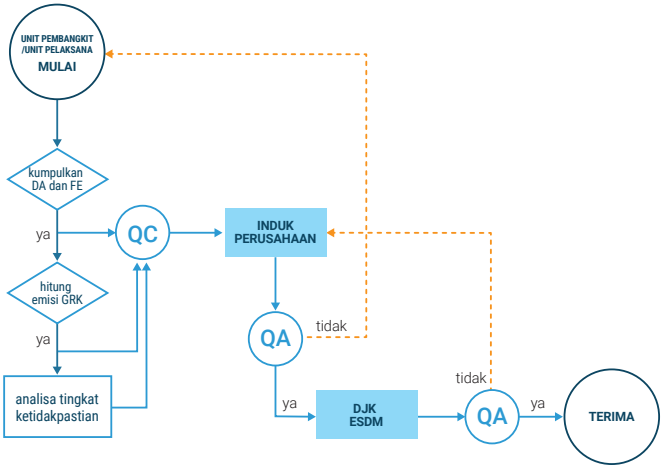
Penyelenggaraan Inventarisasi GRK Nasional harus didukung dengan sistem penjaminan dan pengendalian mutu atau *Quality Assurance/Quality Control (QA/QC)* sesuai amanat Peraturan Presiden Nomor 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi GRK Nasional. Kementerian/Lembaga terkait yang bertanggung jawab untuk mengumpulkan data dari pemerintah daerah dan dunia usaha perlu segera mengembangkan sistem penjaminan dan pengendalian mutu yang ada sekarang sehingga dapat memenuhi standar yang diharapkan. Pengembangan sistem penjaminan dan pengendalian mutu data tidak hanya bermanfaat untuk menghasilkan Inventarisasi GRK yang berkualitas, tetapi juga secara langsung akan menghasilkan data dan informasi pelaksanaan pembangunan yang lebih akurat dan dapat diandalkan. Keberadaan data dan informasi yang akurat sangat diperlukan bagi penyusunan perencanaan pembangunan selanjutnya.

Sistem Pengendalian Mutu (QC) merupakan suatu sistem pelaksanaan kegiatan yang dilakukan oleh unit pembangkitan listrik atau unit pelaksana. Untuk itu, unit pembangkitan listrik atau unit pelaksana perlu menunjuk personil yang bertanggung jawab untuk menilai dan memelihara kualitas data yang dikumpulkan dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK. Sistem QC dirancang untuk:

- Menyediakan mekanisme pengecekan rutin dan konsisten agar data yang dikumpulan 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 pengecekan keakuratan data dan penghitungan, penggunaan prosedur standar yang sudah disetujui dalam menghitung emisi, pendugaan ketidakpastian (*uncertainty*), pendokumentasian data, serta pelaporan. Aktivitas QC juga meliputi *review* yang sifatnya teknis terhadap data aktivitas, nilai kalor bersih, kandungan karbon, densitas, faktor emisi, parameter penduga, dan metode-metode yang digunakan dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK.

Adapun sistem Penjaminan Mutu (QA) adalah suatu sistem yang dikembangkan untuk melakukan *review*/validasi atas laporan inventarisasi GRK unit pembangkitan listrik. QA dilaksanakan oleh pihak yang tidak melakukan penghitungan emisi GRK secara langsung, dalam hal ini adalah induk perusahaan pembangkit dan DJK-KESDM. Proses *review*/validasi dilakukan setelah inventarisasi GRK selesai dilaksanakan dan sudah melewati proses QC. Kegiatan *review* ini bertujuan untuk memvalidasi bahwa penyelenggaraan inventarisasi GRK oleh unit pembangkitan listrik atau unit pelaksana sudah mengikuti prosedur dan standar yang berlaku sesuai Pedoman ini dan didukung oleh program QC yang efektif.



Gambar 8. Proses QC dan QA

6.2. Prosedur Pelaksanaan Pengendalian Mutu(QC)

QC dirancang untuk melaksanakan pengendalian mutu penghitungan emisi GRK oleh unit pembangkitan listrik atau unit pelaksana. Unit pembangkitan listrik atau unit pelaksana bertanggung jawab untuk menentukan prosedur QC untuk setiap unit pembangkitan atau unit pelaksana. Data yang dilaporkan oleh unit pembangkitan listrik atau unit pelaksana kepada induk perusahaan pembangkit terlebih dahulu diuji validitasnya sebelum disampaikan sebagai laporan

tingkat perusahaan kepada DJK KESDM oleh induk perusahaan pembangkit. Secara umum, prosedur QC untuk inventarisasi GRK yang perlu dilakukan oleh penyusun laporan inventarisasi GRK sesuai Tabel 4.

Tabel 4. Aktivitas QC untuk pembangkit listrik

Data	Pelaksanaan QC	Sumber Data
1. Data konsumsi bahan bakar	• Cek apakah data konsumsi merupakan data hasil pengukuran; • Apabila tidak ada data hasil pengukuran cek apakah data konsumsi merupakan data pembelian bahan bakar dikurangi dengan data *stock*.	1. *Flowmeter* BBM dan gas; 2. Timbangan batubara.
2. Kualitas bahan bakar 2.1. Nilai kalor bersih 2.2. Kandungan karbon 2.3. Densitas bahan bakar 2.4. Ultimate dan proximate analysis 2.5. Komposisi bahan bakar gas 2.6. Karakteristik *biomass-based fuel* (biogas, LFG, biodiesel, PPO, cangkang, Tandan Kosong Sawit (TKS), kayu bakar, arang, limbah pertanian, MSW, RDF, dll)	• Cek apakah data kualitas bahan bakar merupakan hasil pengukuran (*certificate of analysis*/COA, analisa sendiri, atau *vendor*); • Cek apakah NCV dan kandungan karbon sudah merupakan hasil pengukuran berdasarkan *weighted average*; Apabila tidak ada NCV dan kandungan karbon hasil pengukuran, cek apakah perhitungan sudah sesuai prosedur; • Cek apakah data densitas bahan bakar minyak (BBM) dan gas bumi merupakan hasil pengukuran berdasarkan *weighted average*; Apabila tidak tersedia cek apakah data densitas menggunakan data nasional; • Cek apakah kualitas batubara ditentukan berdasarkan hasil *ultimate* dan *proximate analysis*; • Cek apakah komposisi gas bumi sesuai hasil pengukuran; • Cek apakah karakteristik *biomass-based fuel* sesuai hasil pengukuran, apabila tidak tersedia cek apakah sudah menggunakan data *default*.	1. *Certificate of analysis* (COA) menggunakan pihak ketiga yang terakreditasi yang disediakan oleh pembangkit atau *supplier*; 2. Data analisis sendiri; 3. Data analisis *supplier*; 4. Data yang dihitung berdasarkan metode yang sesuai panduan. 5. Khusus untuk *biomass-based fuel* sumber data *default* IPCC atau referensi lain.

Data	Pelaksanaan QC	Sumber Data
3. Data produksi tenaga listrik 3.1. Data produksi listrik (*netto* dan *gross*	• Cek apakah data produksi tenaga listrik sudah merupakan data *netto* atau *gross*.	1. Data produksi tenaga listrik (*gross*) hasil pengukuran di *generator*; 2. Data produksi tenaga listrik (*netto*) hasil pengukuran di gardu induk
4. Efisiensi Pembakaran 4.1. Faktor oksidasi 4.2. Karbon tidak terbakar	• Cek apakah faktor oksidasi merupakan hasil *monitoring* sesuai panduan; Apabila tidak tersedia, cek apakah sudah menggunakan *default* Permen LH Nomor 21 Tahun 2008; • Cek apakah data karbon tidak terbakar merupakan hasil pengukuran sesuai ketentuan yang berlaku.	1. Data *monitoring*; 2. *Default* Permen LH; 3. Data yang dihitung berdasarkan metode yang sesuai ketentuan.
5. Data CEMS	• Cek apakah ketersediaan data CEMS minimal 97,5% terhadap jam operasi pembangkit; • Cek apakah perhitungan berdasarkan komponen persentase CO_2 atau O_2; • Cek apakah alat ukur CEMS sudah melaksanakan pengendalian dan jaminan mutu (QC/QA) sesuai prosedur.	1. Data log CEMS. 2. Data QC/QA CEMS. 3. Prosedur QC/QA CEMS.
6. Kalibrasi alat ukur	• Cek apakah semua alat ukur sudah dikalibrasi sesuai prosedur.	1. Data historis pelaksanaan kalibrasi. 2. Data dari pihak pelaksana kalibrasi.

Data	Pelaksanaan QC	Sumber Data
7. Hasil perhitungan 7.1. Tingkat emisi 7.2. Data aktivitas dan parameter terkait data aktivitas 7.3. Faktor emisi dan parameter terkait faktor emisi 7.4. Tingkat ketidakpastian dan parameter terkait penghitungan ketidakpastian 7.5. Konversi satuan nilai kalor	• Cek apakah penghitungan tersebut sesuai Pedoman; Apabila ada perbedaan yang signifikan, cek ulang tingkat emisi dan jelaskan setiap perubahan yang ada; • Cek apakah ada anomali data hasil perhitungan yang dapat diketahui melalui proses *benchmark* (intensitas emisi, konsumsi bahan bakar spesifik, dll) untuk jenis dan kapasitas pembangkit yang sama.	1. Data *monitoring*; 2. *Default* IPCC; 3. *Default* nasional; 4. Data yang dihitung berdasarkan metode yang sesuai Pedoman; 5. Data analisis sendiri; 6. Data referensi lain.
8. Dokumentasi data pendukung	Cek apakah data pendukung sudah terarsip dan terdokumentasi dengan baik agar dapat ditelusuri kembali.	Dokumen seluruh data dan parameter terkait penghitungan tingkat emisi GRK yang sesuai Pedoman.
9. Konsistensi data	• Cek apakah ketersediaan data dan parameter terkait penghitungan tingkat emisi konsisten sesuai *time series*; • Cek apakah untuk data yang tidak tersedia pada tahun-tahun tertentu secara time series sudah disediakan secara interpolasi/ekstrapolasi.	Dokumen seluruh data dan parameter terkait penghitungan tingkat emisi GRK yang sesuai Pedoman.
10. Ruang lingkup	• Cek apakah semua sumber emisi telah tercakup (secara komprehensif) di dalam penghitungan tingkat emisi GRK; • Cek apakah semua sumber emisi tidak terdapat perhitungan ganda.	Data yang telah disetujui berdasarkan dokumen validasi internal.

Data	Pelaksanaan QC	Sumber Data
11. Administrator dan Penanggung Jawab	• Cek apakah sudah ada legalitas untuk administrator dan penanggung jawab; • Cek apakah administrator dan penanggung jawab mampu dan kompeten melaksanakan keseluruhan proses penghitungan tingkat emisi GRK mulai dari menyiapkan data, *entry* data, evaluasi hasil perhitungan emisi GRK (*online*) sampai dengan pendokumentasian dan pengarsipan.	1. Surat Keterangan dari pimpinan unit pembangkit; 2. Sertifikat pelatihan yang diterbitkan oleh DJK.

6.3. Prosedur Penjaminan Mutu (QA)

Untuk penjaminan mutu, kegiatan *review* dan validasi perlu dilakukan oleh induk perusahaan pembangkit listrik atas laporan inventarisasi yang disampaikan oleh unit pembangkitan listrik atau unit pelaksana. Selanjutnya, DJK KESDM melakukan QA terhadap seluruh laporan inventarisasi GRK yang disampaikan oleh induk perusahaan pembangkit listrik. Jika tersedia anggaran, DJK-KESDM dapat melakukan validasi yang lebih intensif dengan melibatkan lembaga audit tersertifikasi atau mengundang pakar yang ahli di bidang terkait yang memiliki kompetensi dalam bidang inventarisasi GRK.

Untuk menjamin bahwa data yang dilaporkan memenuhi prinsip dasar TACCC, perlu dilakukan prosedur jaminan kualitas (QA) sesuai Tabel 5.

Tabel 5. Aktivitas QA

No	Aktivitas QA	Prosedur
1	Kegiatan	Penghitungan emisi GRK menggunakan metodologi sesuai dengan Pedoman.
	Tujuan/Dasar Pemikiran	Prosedur ini akan memastikan konsistensi antara data dan penghitungan yang dilaporkan oleh semua induk perusahaan pembangkit listrik.
	Penanggung Jawab	DJK-KESDM

No	Aktivitas QA	Prosedur
2	Kegiatan	Pelaporan emisi GRK yang dilakukan secara periodik setiap tahun oleh induk perusahaan pembangkit listrik.
		• Lingkup pelaporan emisi GRK sesuai Pedoman ini. • Metode penghitungan tingkat emisi GRK menggunakan Metode-1 s.d. Metode-4. • Konsistensi dan akurasi data emisi GRK diperiksa secara tepat waktu dan memungkinkan untuk dilakukan koreksi jika ditemukan inkonsistensi dan anomali.
	Tujuan/Dasar Pemikiran	DJK-KESDM memiliki akses terhadap data terkait emisi GRK untuk seluruh unit pembangkitan listrik atau unit pelaksana.
	Penanggung Jawab	DJK-KESDM, PLN, IPP, PPU, PJB, IP.
3	Kegiatan	Bila diperlukan, DJK-KESDM dapat menyelenggarakan pelatihan atau bimbingan teknis dalam penghitungan inventarisasi emisi GRK.
	Tujuan/Dasar Pemikiran	Personil perusahaan terlatih menghitung emisi GRK.
	Penanggung Jawab	KESDM, PLN, IPP, PPU, PJB, IP.
4	Kegiatan	Untuk setiap periode pelaporan, DJK-KESDM akan melakukan *monitoring* dan evaluasi.
	Tujuan/Dasar Pemikiran	Prosedur harus menghindari perhitungan ganda dalam penghitungan emisi.
	Penanggung Jawab	DJK-KESDM

BAB 7
ANALISIS KETIDAKPASTIAN

7.1. Umum

Dalam penghitungan emisi GRK terdapat banyak sumber ketidakpastian, hal ini disebabkan karena parameter data aktivitas dan faktor emisi bukan merupakan besaran yang diketahui secara pasti. Oleh karena itu, nilai emisi GRK tidak dapat ditentukan secara absolut, artinya terdapat kemungkinan nilai emisi GRK tersebut tidaklah 100% benar. Konsekuensinya, nilai emisi GRK harus dihitung dengan tetap mempertimbangkan nilai ketidakpastiannya.

Ketidakpastian dalam menghitung emisi GRK disebabkan beberapa hal diantaranya:

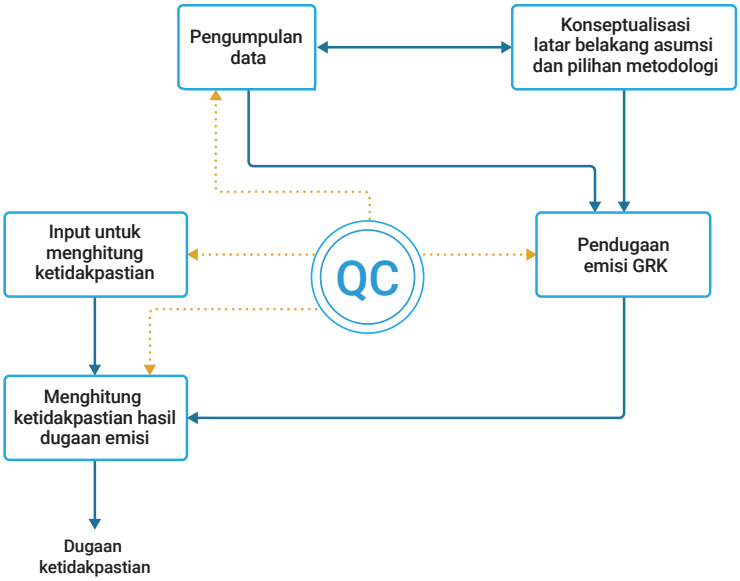
- Ketidakpastian fisik, berkaitan dengan kuantitas fenomena acak, seperti ketidakpastian pada volume konsumsi bahan bakar.
- Ketidakpastian dalam pengukuran, berhubungan dengan ketidaksempurnaan alat pengukuran dan pengambilan data/sampling, seperti NCV, kandungan karbon, dan densitas bahan bakar.
- Ketidakpastian statistik, berkaitan dengan terbatasnya informasi atau data pengamatan, seperti nilai kalor, kandungan karbon, dan densitas bahan bakar diketahui hanya ketika ada pengiriman bahan bakar.
- Ketidakpastian model, berkaitan dengan asumsi penggunaan model penghitungan emisi GRK untuk memperkirakan nilai emisi GRK.

7.2. Struktur Analisis Ketidakpastian

Analisis ketidakpastian dalam inventarisasi GRK memerlukan nilai input kuantitatif data aktivitas maupun faktor emisi. Kedua data ini dilakukan analisis ketidakpastian dengan interval keyakinan sebesar 95%, dengan batas bawah ketidakpastian sebesar 2,5% terhadap fungsi distribusi probabilitas (*probability distribution function*) dan batas atas ketidakpastian sebesar 97,5% terhadap fungsi distribusi probabilitas.

Semua data di tingkat unit pembangkitan listrik atau unit pelaksana harus melalui QC untuk menjamin kualitas dari data yang digunakan. Data tersebut dikumpulkan untuk dilakukan analisis ketidakpastiannya dan disampaikan dalam setiap laporan inventarisasi GRK unit

pembangkitan listrik atau unit pelaksana. Analisis ketidakpastian akan membantu dalam memahami sejauh mana tingkat ketelitian dari hasil penghitungan emisi GRK yang dilakukan oleh unit pembangkitan listrik atau unit pelaksana. Semakin rendah tingkat ketidakpastian, semakin teliti data aktivitas dan faktor emisi yang dimiliki oleh unit pembangkitan listrik atau unit pelaksana.



Gambar 9. Struktur Analisis Ketidakpastian

7.3. Upaya Mengurangi Tingkat Ketidakpastian

Beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi tingkat ketidakpastianadalah sebagai berikut:

- Penggunaan metode penghitungan atau tingkat ketelitian (*Tier*) yang lebih tinggi dalam penghitungan emisi GRK (*Tier*-3, atau Metode-3 dan Metode-4);
- Peningkatan kualitas data aktivitas dan faktor emisi yang digunakan, misalnya

dengan melakukan pengukuran data langsung di tingkat fasilitas dan/atau sesuai dengan data setiap pengiriman bahan bakar;

- Peningkatan akurasi penghitungan emisi GRK dengan melakukan pengecekan terhadap nilai tetapan, faktor konversi, dan formula penghitungan yang digunakan;
- Peningkatan kualitas sampel data yang digunakan melalui pencatatan data setiap pengiriman bahan bakar;
- Perbaikan dalam konsep serta penggunaan asumsi data.

7.4. Analisis Ketidakpastian

Analisis ketidakpastian dapat dilakukan terhadap data aktivitas dan data faktor emisi. Ketidakpastian data aktivitas terkait dengan data NCV dan densitas. Ketidakpastian data faktor emisi terkait dengan data NCV, kandungan karbon, kandungan karbon tidak terbakar, dan faktor oksidasi. Penghitungan ketidakpastian NCV dan kandungan karbon dilakukan berdasarkan kondisi nilai kalor dan kandungan karbon setiap pengiriman bahan bakar ke unit pembangkitan listrik pada tahun berjalan. Bagi unit pembangkitan listrik yang tidak memiliki data NCV, kandungan karbon, serta faktor emisi CH_4 dan N_2O dari bahan bakar yang dikonsumsi, maka nilai ketidakpastian merupakan asumsi dengan mempertimbangkan data nasional dan/atau informasi yang disiapkan oleh IPCC-2006. Semua proses penghitungan ketidakpastian ini berlangsung secara otomatis karena formulanya sudah disiapkan dalam sistem web APPLE-Gatrik.

7.4.1. Asumsi Ketidakpastian Data Aktivitas

Unit pembangkitan listrik yang tidak memiliki data tentang NCV dan/atau nilai kalor kotor atas bahan bakar yang dikonsumsi, maka nilai ketidakpastian data aktivitas menggunakan asumsi yang mempertimbangkan nilai ketidakpastian yang disarankan oleh IPCC-2016, seperti Tabel 6.

Tabel 6. Tingkat Ketidakpastian sumber emisi tidak bergerak *default* IPCC

Bidang	Sistem Pendataan Baik		Sistem Pendataan Kurang Baik	
	Survei	Ekstrapolasi	Survei	Ekstrapolasi
Pembangkit listrik dan produksi uap	< 1%	3 – 5%	1 – 2%	5 – 10%

7.4.2. Asumsi Ketidakpastian Faktor Emisi

Nilai ketidakpastian faktor emisi CO_2 dihitung sesuai data kandungan karbon, NCV, dan densitas bahan bakar. Secara umum tingkat ketidakpastian faktor emisi CO_2 sesuai *default* IPCC seperti disampaikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai ketidakpastian faktor emisi CO2 di negara lain berdasarkan IPCC Guidelines

Negara	Ketidakpastian Faktor Emisi CO_2		
	Bahan bakar minyak	Batubara, *coke*, dan gas	Bahan bakar lainnya
Austria	± 0.5	± 0.5	N/A
Norwegia	± 3	± 7	N/A
Belanda	± 2	± 1-10	N/A
Inggris	± 2	± 1-6	N/A
Amerika Serikat	± 2	± 0-1	N/A
Finlandia	N/A	N/A	± 5

Adapun ketidakpastian faktor emisi untuk CH_4 dan terutama N_2O sangat tinggi atau sangat tidak pasti, begitu pula pada negara maju. Tingginya nilai ini disebabkan karena kurangnya pengukuran yang relevan, pemahaman proses pembakaran yang tidak cukup, dan variasi stokastik di kondisi proses (IPCC-2006). Rypdal dan Winiwater (dalam IPCC-2006) mengevaluasi ketidakpastian faktor emisi GRK CH_4 dan N_2O dan membandingkan hasil yang dilaporkan terhadap lima negara, yaitu Austria, Belanda, Norwegia, Inggris, and USA. Dalam Pedoman ini disepakati menggunakan angka ketidakpastian sebesar 50% untuk faktor emisi CH_4 dan 100% untuk faktor emisi N_2O.

Tabel 8. Tingkat Ketidakpastian Faktor Emisi GRK

Negara	Tingkat Ketidakpastian	
	Faktor Emisi CH_4	Faktor Emisi N_2O
Austria	± 50	± 20
Finladia	-75 sd +10	-75 sd +10
Norwegia	-50 sd +100	-66 sd +200
Belanda	± 25	± 75
Inggris	± 50	± 100 sd 200
Amerika Serikat	N/A	-55 sd +200

7.4.3. Nilai Ketidakpastian Emisi CO_2 dengan Menggunakan CEMS

Metodologi perhitungan tingkat ketidakpastian CEMS berdasarkan fungsi distribusi normal, yaitu hanya mempertimbangkan total emisi CO_2 yang dihasilkan dari pengukuran CEMS, sehingga semua prosedur yang berlaku selama pengoperasian CEMS harus terpenuhi.

Hasil pengukuran CEMS selama pembangkit beroperasi dapat dianalisis tingkat ketidakpastiannya. Semakin kecil tingkat ketidakpastian, semakin akurat hasil pengukuran.

Berdasarkan data *European Union* (EU) *Commission* tingkat ketidakpastian dari hasil pengukuran CEMS ditunjukkan pada Tabel 9. Dalam Pedoman ini ditetapkan tingkat ketidakpastian hasil pengukuran CEMS maksimum 2,5%. Tingkat ketidakpastian tersebut pada umumnya membutuhkan waktu pengoperasian CEMS minimal 97,5% selama pembangkit beroperasi.

Tabel 9. Nilai ketidakpastian maksimum untuk hasil pengukuran CEMS

Parameter	*Tier* **1**	*Tier* **2**	*Tier* **3**	*Tier* **4**
Emisi CO_2	± 10%	± 7,5%	± 5%	± 2,5%

7.5. Metodologi Penghitungan

Berdasarkan IPCC-2006, untuk menentukan tingkat ketidakpastian dari perhitungan emisi GRK dapat dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu pendekatan dengan metode *Propagation of Error* dan pendekatan dengan metode Simulasi Monte Carlo. Kedua metode ini dapat digunakan untuk menghitung ketidakpastian emisi GRK tahunan dan kecenderungan ketidakpastian emisi GRK. Namun dalam Pedoman ini, analisis ketidakpastian hanya membahas metode *Propagation of Error*.

7.5.1. *Propagation of Error*

7.5.1.4. Tahun berjalan (per tahun)

Penghitungan ketidakpastian tahun berjalan dengan metode *Propagation of Error* dilakukan baik terhadap unit pembangkitan listrik yang mempunyai data NCV dan kandungan karbon (Metode-3 dan Metode-4), maupun terhadap unit pembangkitan listrik yang tidak memiliki kedua data tersebut (Metode-1 dan Metode-2).

Penghitungan ketidakpastian dengan metode *Propagation of Error* dilakukan melalui *Propagation Distribution Function* (PDF) yang diterbitkan oleh EURACHEM dan CITAC, yaitu suatu lembaga di Eropa yang menetapkan sistem ketertelusuran kimia secara internasional dan mempromosikan praktik kualitas yang baik. Analisis ketidakpastian untuk memperoleh data

NCV maupun kandungan karbon yang diperoleh dari supplier atau hasil pengujian sendiri saat melakukan pengiriman bahan bakar dalam setiap tahun fiskal dengan mempertimbangkan nilai masing-masing NCV dan kandungan karbon, nilai rata-rata NCV dan kandungan karbon, serta standar deviasi tingkat kepercayaan sebesar 95%.

Selanjutnya, nilai ketidakpastian NCV dianalisis terhadap data konsumsi bahan bakar dan faktor emisi CO_2, sedangkan nilai ketidakpastian kandungan karbon dianalisis terhadap faktor emisi. Bagi unit pembangkitan listrik yang mempunyai hasil analisis karbon yang tidak terbakar (Metode-3), juga perlu melakukan analisis ketidakpastiannya dan menjadi faktor pengurang terhadap kandungan karbon bahan bakar. Hasil nilai ketidakpastian NCV dan kandungan karbon terhadap faktor emisi digabung, lalu dikalikan dengan nilai ketidakpastian NCV terhadap konsumsi bahan bakar. Penggabungan dan perkalian atas nilai ketidakpastian ini menghasilkan pangsa ketidakpastian emisi GRK atas konsumsi bahan bakar per tahun. Analisa tingkat ketidakpastian membutuhkan minimal 7 sampel data.

Penghitungan Ketidakpastian Faktor Emisi

Secara umum tahapan penghitungan ketidakpastian faktor emisi untuk seluruh jenis bahan bakar adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi komponen yang mempengaruhi nilai faktor emisi, seperti NCV dan kandungan karbon (C), dan hasil analisa karbon tidak terbakar (apabila ada);
2. Masukan informasi NCV dan tentukan rerata dari NCV;
3. Masukan nilai kandungan karbon dan tentukan rerata dari kandungan karbon:
4. Masukan nilai faktor emisi dan tentukan rerata dari FE;
5. Hitung nilai simpangan baku untuk NCV (S_{NCV}) sesuai rumus berikut:

$$S_{NCV} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{t}\left(NCV_i - NCV_t\right)^2}{n-1}}}{\sqrt{n}}$$

dimana:

S_{NCV} : Simpangan baku untuk NCV
NCV_i : Data NCV tahun-i
NCV_t : Data NCV tahun-t
n : Total jumlah sampel

6. Hitung nilai simpangan baku NCV terhadap nilai FE (SNCV terhadap FE) sesuai rumus berikut:

$$S_{NCV(FE)} = \sum \left(FE \times \sqrt[2]{\frac{S_{NCV}}{NCVi}} \right)$$

dimana:

$S_{NCV(FE)}$: Simpangan baku NCV terhadap nilai FE
FEi : Nilai faktor emisi tahun-i
SNCV : Simpangan baku untuk NCV
NCVi : Data NCV tahun-i

7. Hitung bentangan ketidakpastian untuk NCV dengan tingkat kepercayaan (*Confidence Level*) (CL_{NCV}) sebesar 95% sesuai rumus berikut:

$$CL_{NCV} = \left(S_{NCV} \times k \right)$$

dimana:

CL_{NCV} : *Confidence Level* untuk NCV sebesar 95%
S_{NCV} : Simpangan baku untuk NCV
k : *Coverage factor* untuk bentangan ketidakpercayaan 95% sebesar 2

8. Hitung nilai ketidakpastian untuk NCV sesuai rumus berikut:

$$\mu_{NCV} = \left(\frac{CL_{NCV}}{Rerata\left(NCV_i - NCV_t \right)} \right)$$

dimana:

μ_{NCV} : Nilai ketidakpastian untuk NCV
CL_{NCV} : *Confidence Level* untuk NCV
NCV_i : Data NCV tahun-i
NCV_t : Data NCV tahun-t

9. Hitung nilai simpangan baku untuk Kandungan Karbon (S_{CC}) sesuai rumus berikut:

$$SC = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{t}\left(C_i - C_t\right)^2}{n-1}}}{\sqrt{n}}$$

dimana:

S_C : Simpangan baku untuk kandungan karbon
C_i : Nilai kandungan karbon tahun-i
C_t : Nilai kandungan karbon tahun-t
n : Total jumlah sampel

10. Hitung nilai simpangan baku kandungan karbon terhadap nilai FE (SCC terhadap FE) sesuai rumus berikut:

$$S_{C(FE)} = \sum\left(FE_i \times \sqrt[2]{\frac{S_C}{C_i}}\right)$$

dimana:

$S_{C(FE)}$: Simpangan baku untuk kandungan karbon terhadap nilai FE
FE_i : Nilai faktor emisi tahun-i
S_C : Simpangan baku untuk kandungan karbon
C_i : Data kandungan karbon tahun-i

11. Hitung bentangan ketidakpastian untuk kandungan karbon dengan tingkat kepercayaan (*Confidence Level*) (CL_{CC}) sebesar 95% sesuai rumus berikut:

$$CL_C = \left(S_C \times k\right)$$

dimana:

CLC : *Confidence level* untuk kandungan karbon sebesar 95%

S_{CC} : Simpangan baku untuk kandungan karbon

k : *Coverage factor* untuk bentangan ketidakpercayaan 95% sebesar 2

12. Hitung nilai ketidakpastian untuk kandungan karbon (μ_{CC}) sesuai rumus berikut:

$$\mu_C = \left(\frac{CL_C}{Rerata\left(C_i - C_t\right)} \right)$$

dimana:

μ_{cc} : Nilai ketidakpastian untuk kandungan karbon

CL_C : Simpangan baku kandungan karbon terhadap nilai FE

C_i : Nilai kandungan karbon tahun-i

C_t : Nilai kandungan karbon tahun-t

13. Hitung nilai simpangan baku untuk faktor emisi (S_{FE}) sesuai rumus berikut:

$$S_{FE} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{t}\left(FE_i - FE_t\right)^2}{n-1}}}{\sqrt{n}}$$

dimana:

S_{FE} : Simpangan baku untuk faktor emisi

FE_i : Nilai faktor emisi tahun-i

FE_t : Nilai faktor emisi tahun-t

n : Total jumlah sampel

14. Hitung nilai ketidakpastian gabungan ($\mu_{gabungan}$) sesuai rumus berikut:

$$\mu_{gabungan} = \sqrt{\left(\sum \left(SNCV\left(FE\right)i - t\right)^2 + \left(S_{C(FE)i-t}\right)^2 + \left(S_{FE}\right)^2 \right)}$$

dimana:

$\mu_{gabungan}$: Simpangan baku gabungan untuk seluruh komponen yang mempengaruhi nilai faktor emisi, seperti NCV dan Kandungan Karbon

FE_i : Nilai faktor emisi tahun-i

$S_{NCV(FE)}$: Simpangan baku untuk NCV terhadap nilai FE

$SC_{(FE)}$: Simpangan baku untuk kandungan karbon terhadap nilai FE

S_{FE} : Simpangan baku untuk faktor emisi

15. Hitung bentangan ketidakpastian untuk faktor emisi dengan tingkat kepercayaan (*Confidence Level*) (CLFE) sebesar 95% sesuai rumus berikut:

$$CL_{FE} = \left(\mu_{gabungan} \times k\right)$$

dimana:

CL_{FE} : *Confidence Level* untuk nilai faktor emisi

$\mu_{gabungan}$: Simpangan baku gabungan untuk komponen yang mempengaruhi nilai faktor emisi, seperti NCV dan Kandungan Karbon

k : *Coverage factor* untuk bentangan ketidakpercayaan 95% sebesar 2

16. Hitung nilai ketidakpastian untuk faktor emisi (μ_{FE}) sesuai rumus berikut:

$$\mu_{FE} = \left(\frac{CL_{FE}}{Rerata\left(FE_i - FE_t\right)}\right)$$

dimana:

μ_{FE} : Nilai ketidakpastian untuk faktor emisi

CL_{FE} : Confidence Level untuk nilai faktor emisi

FE_i : Nilai faktor emisi tahun-i

FE_t : Nilai faktor emisi tahun-t

Lembar kerja perhitungan ketidakpastian untuk faktor emisi disajikan dalam Lampiran 10.

Penghitungan Ketidakpastian Data Aktivitas

Secara umum tahapan penghitungan ketidakpastian untuk data aktivitas untuk seluruh jenis bahan bakar adalah sebagai berikut :

1. Identifikasi komponen yang mempengaruhi nilai data aktivitas, seperti NCV dan densitas;
2. Masukan informasi NCV dan tentukan rerata dari NCV;
3. Masukan nilai densitas (ρ) dan tentukan rerata dari densitas;
4. Masukan nilai data aktivitas (DA) dan tentukan rerata dari DA;
5. Hitung nilai simpangan baku untuk NCV (S_{NCV}) sesuai rumus nomor 5 pada bagian penentuan ketidakpastian untuk faktor emisi;
6. Hitung nilai simpangan baku NCV terhadap nilai DA (S_{NCV} terhadap DA) sesuai rumus berikut:

$$S_{NCV(DA)} = \sum \left(DA_i \times \sqrt[2]{\frac{S_{NCV}}{NCV_i}} \right)$$

dimana:

$S_{NCV(DA)}$: Simpangan baku NCV terhadap nilai data aktivitas
DA_i : Nilai data aktivitas tahun-i
S_{NCV} : Simpangan baku untuk NCV
NCV_i : Data NCV tahun-i

7. Hitung nilai simpangan baku untuk densitas (Sρ) sesuai rumus berikut:

$$S\rho = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{t} \left(\rho_i - \rho_t\right)^2}{n-1}}}{\sqrt{n}}$$

dimana:

Sρ : Simpangan baku untuk densitas

ρ_i : Nilai densitas tahun-i
ρ_t : Nilai densitas tahun-t
n : Total jumlah sampel

8. Hitung nilai simpangan baku densitas terhadap nilai DA (Sρ terhadap DA) sesuai rumus berikut:

$$S_{\rho(DA)} = \sum \left(DA_i \times \sqrt[2]{\frac{S_\rho}{\rho_i}} \right)$$

dimana:
$S_{\rho(DA)}$: Simpangan baku densitas terhadap nilai DA
DA_i : Nilai data aktivitas tahun-i
S_ρ : Simpangan baku untuk densitas
ρ : Data densitas tahun-i

9. Hitung nilai simpangan baku untuk data aktivitas (SDA) sesuai rumus berikut:

$$S_{DA} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{t} \left(DA_i - DA_t \right)^2}{\sqrt{n-1}}}}{\sqrt{n}}$$

dimana:
S_{DA} : Simpangan baku untuk data aktivitas
DA_i : Nilai data aktivitas tahun-i
DA_t : Nilai data aktivitas tahun-t
n : Total jumlah sampel

10. Hitung nilai ketidakpastian gabungan ($\mu_{gabungan}$) sesuai rumus berikut:

$$\mu gabungan = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{t} \left(S_{NCV(DA)i-t} \right)^2 + \left(S\rho\left(DA\right)i-t \right)^2 \right) + \left(S_{DA} \right)^2}$$

dimana:

$\mu_{gabungan}$: Simpangan baku gabungan untuk komponen yang mempengaruhi nilai data aktivitas, seperti NCV dan densitas

DA_i : Nilai data aktivitas tahun-i

$S_{NCV(DA)}$: Simpangan baku untuk NCV terhadap nilai data aktivitas

$S_{\rho(DA)}$: Simpangan baku untuk densitas terhadap nilai data aktivitas

S_{DA} : Simpangan baku untuk data aktivitas

11. Hitung bentangan ketidakpastian untuk data aktivitas dengan tingkat kepercayaan (*Confidence Level*) (CLDA) sebesar 95% sesuai rumus berikut:

$$CL_{DA} = \left(\mu_{gabungan} \times k\right)$$

dimana:

CL_{DA} : Confidence Level untuk nilai data aktivitas

$\mu_{gabungan}$: Simpangan baku gabungan untuk komponen yang mempengaruhi nilai data aktivitas, seperti NCV dan densitas

k : Coverage factor untuk bentangan ketidakpercayaan 95% sebesar 2

12. Hitung nilai ketidakpastian untuk data aktivitas (μDA) sesuai rumus berikut:

$$\mu_{DA} = \left(\frac{CL_{DA}}{Rerata\left(DA_i - DA_t\right)}\right)$$

dimana:

μ_{DA} : Nilai ketidakpastian untuk data aktivitas

CL_{DA} : *Confidence Level* untuk nilai data aktivitas

DA_i : Nilai data aktivitas tahun-i

DA_t : Nilai data aktivitas tahun-t

Lembar kerja perhitungan ketidakpastian untuk data aktivitas disajikan dalam Lampiran 11.

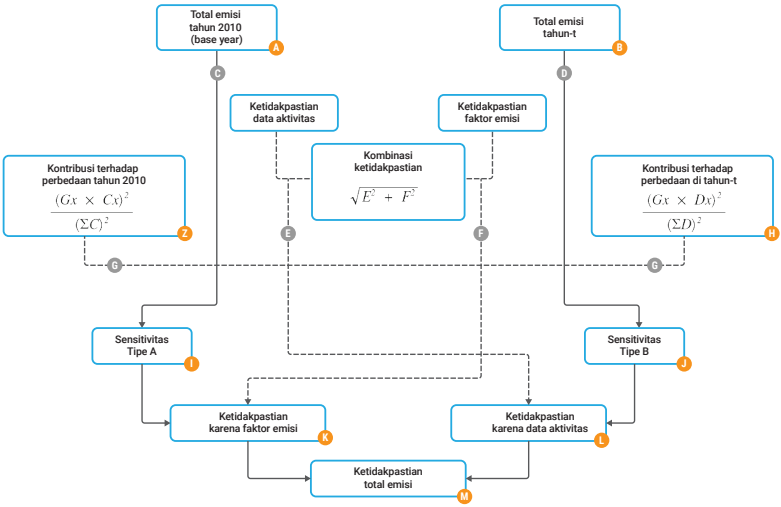
7.5.1.1. Tren ketidakpastian

Kecenderungan ketidakpastian dari nilai emisi GRK unit pembangkitan listrik selama tahun dasar (2010) sampai dengan tahun pelaporan terakhir (misalnya 2017) dapat diperkirakan menggunakan dua tipe sensitivitas:

- Sensitivitas Tipe A: perbedaan emisi GRK antara tahun dasar (2010) dengan tahun 2016, dinyatakan sebagai persentase, yang dihasilkan dari kenaikan 1% emisi GRK untuk tahun dasar dan tahun terakhir pelaporan (2017).
- Sensitivitas Tipe B: perbedaan emisi GRK antara tahun dasar (2010) dengan tahun 2016, dinyatakan sebagai persentase, yang dihasilkan dari kenaikan 1% emisi GRK hanya untuk tahun terakhir pelaporan (2017).

Sensitivitas Tipe A dan Tipe B hanyalah variabel yang mempermudah prosedur penghitungan. Hasil analisis tidak dibatasi hanya dengan kenaikan 1% emisi GRK, tetapi tergantung pada kisarannya ketidakpastian untuk setiap kategori. Ketidakpastian yang berkorelasi sepenuhnya antara tahun akan dikaitkan dengan sensitivitas Tipe A dan ketidakpastian yang tidak berkorelasi antara tahun akan dikaitkan dengan sensitivitas Tipe B.

Untuk unit pembangkitan listrik yang kapasitas produksinya tetap, maka disarankan menggunakan sensitivitas tipe A karena tidak terjadi perubahan yang signifikan atas total emisi GRK. Jika terjadi penambahan kapasitas pembangkitan listrik selama tahun 2011 sampai dengan tahun terakhir (2017) maka disarankan menggunakan sensitivitas tipe B. Adapun sensitivitas Tipe A dan Tipe B akan digunakan untuk menghitung ketidakpastian emisi GRK pembangkit listrik nasional dengan menggunakan Persamaan *Propagation of Error*. Penentuan tren ketidakpastian untuk faktor emisi, data aktivitas, dan total emisi GRK sesuai alur berikut:



Gambar 10. Alur penentuan tren ketidakpastian

1. Tahapan penentuan tren ketidakpastian adalah sebagai berikut:
2. Tentukan jenis bahan bakar yang digunakan di pembangkit;
3. Masukan nilai emisi tahun dasar (*baseyear*) 2010 dan emisi tahun terakhir pelaporan per jenis gas;
4. Masukan nilai ketidakpastian untuk faktor emisi (μFE)dan data aktivitas (μDA) per jenis gas;
5. Hitung kombinasi ketidakpastian (μkombinasi) untuk faktor emisi dan data aktivitas dengan menggunakan kesalahan persamaan propagasi;
6. Hitung kontribusi terhadap variasi dalam tahun dasar dan tahun terakhir pelaporan;
7. Hitung perbedaaan persentase emisi GRK antara tahun dasar 2010 dan tahun terakhir pelaporan (sensivitas);
8. Hitung kecenderungan ketidakpastian faktor emisi dalam tren emisi;
9. Hitung kecenderungan ketidakpastian faktor emisi dalam tren emisi;
10. Hitung tren ketidakpastian untuk emisi per jenis gas;
11. Hitung tren ketidakpastian untuk total emisi GRK.

Lembar kerja perhitungan tren ketidakpastian disajikan dalam Lampiran 12.

BAB 8
PENUTUP

Pedoman Penghitungan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Bidang Energi Sub Bidang Ketenagalistrikan disusun dalam rangka implementasi Peraturan Presiden Nomor 71 Tahun 2011. Pedoman ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi unit pembangkitan listrik dalam penyusunan inventarisasi emisi GRK yang terjadi pada unit pembangkitan listrik masing-masing yang memenuhi prinsip dasar TACCC sebagaimana diharuskan dalam IPCC-2006.

Dalam melakukan penghitungan inventarisasi emisi GRK, unit pembangkitan listrik atau unit pelaksana harus melakukan QC secara internal dan induk perusahaan pembangkit listrik perlu melakukan QA sebelum dilaporkan ke DJK KESDM. Unit pembangkitan listrik atau unit pelaksana perlu mendokumentasikan seluruh data dan hasil perhitungan dengan baik agar memudahkan DJK KESDM dalam mereview. Dalam *mereview*, DJK KESDM dapat mengakses seluruh data secara detail dan dapat berkoordinasi dengan induk perusahaan pembangkit listrik atau unit pelaksana dengan tembusan ke Unit Pembangkitan Listrik atau unit pelaksana jika ditemukan data yang dianggap anomali.

Hasil inventarisasi emisi GRK pada unit pembangkitan listrik atau unit pelaksana juga dapat digunakan untuk mengetahui seberapa besar tingkat mitigasi emisi GRK yang telah dilakukan. Untuk itu, berbagai kegiatan mitigasi GRK ini perlu disampaikan secara transparan dalam pelaporan inventarisasi emisi GRK unit pembangkitan listrik atau unit pelaksana.

Informasi mengenai tingkat emisi GRK pada unit pembangkitan listrik atau unit pelaksana merupakan hal penting dan telah menjadi salah satu 'tolok ukur kinerja lingkungan'. Laporan tingkat emisi GRK yang disampaikan kepada Kementerian/Lembaga terkait menjadi kontribusi sub bidang ketenagalistrikan dalam inventarisasi dan mendukung pencapaian target mitigasi emisi GRK nasional, khususnya bidang energi.

DAFTAR PUSTAKA

Ellison and Williams (2012), Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement, EURACHEM / CITAC Guide CG 4, Third Edition, QUAM:2-2012, Olomouc, Checz Republic

European Commission (2013), Guidance Document: The Monitoring and Reporting Regulation CEMS, Directorate General Climate Action, Bonn, Germany

Environment Canada (2012), Reference Method for Source Testing: Quantification of Carbon Dioxide Releases by Continuous Emission Monitoring Systems from Thermal Power Generation, ISBN: 978-1-100-20789-6.

IEA (2018), General Converter for Energy, https://www.iea.org/statistics/ resources/ unitconverter/

IPCC (2006), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 1: General Guidance and Reporting, Chapter 3: Uncertaities, Geneve, Austria.

IPCC (2006), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 1: Energy, Chapter 1: Introduction, Geneve, Austria.

IPCC (2006), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 1: Energy, Chapter 2: Stationary Combustion, Geneve, Austria.

KLH (2008), Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.21 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Pembangkit Tenaga Listrik Termal, Indonesia.

KLH (2012), Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional, Buku I: Pedoman Umum, Jakarta, Indonesia.

KLH (2012), Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional, Buku II Volume 1: Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca, Pengadaan dan Penggunaan Energi, Jakarta, Indonesia.

KLHK (2016), First Nationally Determined Contribution Republic of Indonesia, Jakarta, Indonesia.

KLHK (2016), Perubahan Iklim, Perjanjian Paris, dan NDC: Buku Pintar Pengendalian Perubahan Iklim, Ditjen PPI, Jakarta, Indonesia.

KLHK (2017), Indonesia Third National Communication, Jakarta, Indonesia.

Michael Gillenwater (2005), GHG Protocol Guidance: Calculation Tool for Direct Emissions from Stationary Combustion, Version 3.0, a WRI / WDCSD Tool, Washintong DC, USA

Novie dkk (2017), Penentuan Faktor Emisi CO_2 Nasional dengan Pendekatan Analisa Bahan Bakar Minyak, Prosiding Temu Ilmiah XIII Dan Pameran Hasil Litbang Energi dan Sumber Daya Mineral Tahun 2017/LEMIGAS-Jakarta, ISBN 978-979-8218-38-5 hal 327-332, Indonesia.

Pusdatin KESDM (2016), Data Inventori Emisi GRK Sektor Energi, Jakarta, Indonesia.

Puslitbang Teknologi Migas (Lemigas) KESDM (2015), Hasil Perhitungan Faktor Emisi Nasional CO_2 (*Tier*-2) Bahan Bakar Minyak.

Puslitbang Teknologi Migas (Lemigas) KESDM (2016), Penghitungan Emisi CO_2 dengan Menggunakan Faktor Emisi CO_2 Nasional (Country Spesific) Gas Bumi (Gas Kota, LNG, dan LPG), Jakarta, Indonesia.

Puslitbang Teknologi Migas (Lemigas) KESDM (2017), Penentuan Faktor Emisi CO_2 Nasional (*Tier*-2) Bahan Bakar Gas, Bandung.

Puslitbang Teknologi Migas (Lemigas) KESDM (2018). Penentuan Ketidakpastian Faktor Emisi CO_2 untuk BBM dan BBG, FGD ketidakpastian perhitungan emisi GRK bahan bakar, Bandung 15 Maret 2018.

Puslitbang Tekmira KESDM (2016), Data Faktor Emisi CO_2 Batubara dan Data Pendukung Lainnya, Surat Penyampaian Data Faktor Emisi Batubara Nasional (Country Specifik), Bandung, Indonesia.

Puslitbang Tekmira KESDM (2018). Penentuan Ketidakpastian Faktor Emisi CO_2 Batubara, FGD ketidakpastian perhitungan emisi GRK bahan bakar, Bandung 15 Maret 2018.

UN (2018), United Nations Treaty Collection:status of ratification of *Paris Agreement*, https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-7-d&chapter=27&clang=_en, diunduh pada 7 Mei 2018 pukul 10:00 WIB.

US-EPA (2016), Greenhouse Gas Inventory Guidance: Direct Emissions from Stationary Combustion Sources, United States, Januari 2016.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Konversi Energi

Multiplication Factor						
To Convert: From	TCE	TOE	Joule	k cal	MM Btu	kWh
TCE	1	0,700	$29,31 \times 10^{9}$	$7,0 \times 10^{6}$	27,782	8,141
TOE	1,429	1	$4,1868 \times 10^{10}$	10^{7}	39,683	$11,63 \times 10^{3}$
Joule	$34,12 \times 10^{-12}$	$23,38 \times 10^{-12}$	1	$0,239 \times 10^{-3}$	$9,478 \times 10^{-10}$	$2,778 \times 10^{-7}$
k cal	$0,142 \times 10^{-6}$	100×10^{-9}	$4,1868 \times 10^{3}$	1	$3,968 \times 10^{-6}$	$1,163 \times 10^{-3}$
M Btu	0,036	$25,20 \times 10^{-3}$	$1,0551 \times 10^{9}$	$252,0 \times 10^{3}$	1	293,07
kWh	$0,123 \times 10^{-3}$	$85,98 \times 10^{-6}$	$3,60 \times 10^{6}$	$0,859 \times 10^{3}$	$3,412 \times 10^{-3}$	1

Sumber: https://www.iea.org/statistics/resources/unitconverter/

Lampiran 2. Nilai Faktor Oksidasi

Bahan Bakar	Faktor Oksidasi
Batubara	0,98
Bahan bakar minyak	0,99
Bahan bakar gas	0,995

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 21 Tahun 2008

Lampiran 3. NCV dan Faktor Emisi IPCC (*Tier*-1)

Jenis Bahan Bakar	Kg GRK/TJ			Nilai Kalor (NCV)	Kandungan Karbon	
	CO_2	CH_4	N_2O	TJ/Gg	(Kg/GJ)	%
Gas oil (Minyak Solar, HSD/ADO)	74.100	3	0,6	43,0	20,2	87
Diesel oil (Minyak Diesel/ IDO)	74.100	3	0,6	43,0	20,2	87
Residual fuel oil (Minyak Bakar, MFO, HFO)	77.400	3	0,6	40,4	21,1	86
Natural Gas (Gas Bumi)	56.100	1	0,1	48,0	15,3	73
Coking Coal	94.600	1	1,5	28,2	25,8	67
Other Bituminous	94.600	1	1,5	25,8	25,8	73
Sub Bituminous	96.100	1	1,5	18,9	26,2	50
Lignite	101.000	1	1,5	11,9	27,6	33
Peat	106.000	1	1,5	9,76	28,9	28
Biodiesel	70.800	3	0,6	27,0	19,3	52
Landfill gas	54.600	1	0,1	50,4	14,9	75
Other Biogas	54.600	1	0,1	50,4	14,9	75
Wood/wood waste (Kayu)	112.000	30	4	15,6	30,5	48
Other primary solid biomass (Biomassa padat lainnya)	100.000	30	4	11,6	27,3	32

Sumber: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

Lampiran 4. NCV dan Faktor Emisi BBM dan BBG Nasional (*Tier*-2)

Jenis Bahan Bakar	Kg GRK/TJ			Nilai Kalor Bersih (NCV)	Kandungan Karbon (%)
	CO_2	CH_4	N_2O	TJ/Gg	
Minyak Solar (HSD/ ADO)1)	74.300	N/A	N/A	42,66	86
Minyak Diesel (IDO) 1)	73.900	N/A	N/A	42,12	85
Minyak Bakar (MFO, HFO) 1)	75.200	N/A	N/A	41,31	85
Gas alam (pipa) 2)	57.640	N/A	N/A	45,2 [3)]	71 [3)]
LNG 2)	57.270	N/A	N/A	47,1 [3)]	74 [3)]

Sumber:

1) Prosiding Temu Ilmiah & Pameran Hasil Litbang ESDM 2017, ISBN 978-979-8218-38-5 hal 327-332.

2) Puslitbang Teknologi Migas (Lemigas) 2017. Penentuan Faktor Emisi CO_2 Nasional (*Tier*-2) Bahan Bakar GasPuslitbang Teknologi Migas (Lemigas) KESDM Tentang Penentuan Ketidakpastian

3) Faktor Emisi CO_2 untuk BBM dan BBG, Maret 2018

Lampiran 5. Densitas BBM Nasional (*Tier*-2)

No	Bahan Bakar	Densitas (kg/m^3)
1	Minyak Solar (HSD)	837,5
2	Minyak Diesel (IDO)	910,0
3	Minyak Bakar (MFO, HFO)	991,0

Sumber: Hasil Studi Puslitbang Teknologi Migas (Lemigas) KESDM tentang Faktor Emisi BBM dan BBG, 2011

Lampiran 6. NCV dan Faktor Emisi Batubara Nasional (*Tier*-2)

Kualitas Batubara (nilai kalor, adb)	Kg GRK/TJ			NCV	Kandungan Karbon	
	CO_2	CH_4	N_2O	TJ/Gg	Kg C/TJ	%
Rendah (<5100)	106.476	N/A	N/A	14,8	29,0	42,92
Sedang (5100-6100)	100.575	N/A	N/A	18,7	27,4	51,24
Tinggi (6100-7100)	94.715	N/A	N/A	24,1	25,8	62,18
Tinggi Sekali (>7100)	95.062	N/A	N/A	28,5	25,9	73,82

Sumber: Hasil Kajian Puslitbang Tekmira KESDM, 2016.

Lampiran 7. Nilai Factor-V Untuk Berbagai Jenis Bahan Bakar

Bahan Bakar	Tipe	Faktor-V berbasis oksigen		Faktor-V berbasis karbon dioksoda (Vc) (Nm^3/GJ)
		Vd, *dry basis* (DNm^3/GJ)	Vw, *wet basis* (WNm^3/GJ)	
Batubara	*Anthracite*	277	288	54,2
	Bituminous	267	286	49,2
	Sub-bituminous	263	301	49,2
	Lignite	273	310	53
BBM	Minyak mentah, bakar atau hasil desalinasi	255	289	39,3
BBG	Gas alam	240	295	28,4
	Propana	238	281	32,5

Sumber: *Reference Method for Source Testing: Quantification of Carbon Dioxide Releases by Continuous Emission Monitoring Systems from Thermal Power Generation*, ISBN: 978-1-100-20789-6.

Nm^3 = meter kubik dalam kondisi standar, yaitu :
1 m^3 pada tekanan 101,235 kPa (1 atm) dan temperatur 25^0 C

GJ = 1.000.000.000 Joule

Lampiran 8. Nilai Ketidakpastian Nasional BBM dan BBG

Parameter	Bahan Bakar				
	HSD	IDO	FO	Gas Alam	LNG
Ketidakpastian kandungan karbon	N/A	N/A	N/A	0,01	N/A
Ketidakpastian NCV	0,06	N/A	N/A	0,68	N/A
Ketidakpastian Densitas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Ketidakpastian Faktor Emisi	0,0135	N/A	N/A	0,10	N/A

Sumber: Puslitbang Teknologi Migas (Lemigas) KESDM Tentang Penentuan Ketidakpastian Faktor Emisi CO_2 untuk BBM dan BBG, Maret 2018

Lampiran 9. Daftar Periksa *Quality Control*

A. Daftar Periksa Data Konsumsi Bahan Bakar Batubara Per Unit

Bahan Bakar Batubara (Per pengiriman)	Konsumsi Bahan Bakar di Pembangkit		Nilai Kalor/GCV (Kkal/kg)		Ultimate Analysis							
	Jumlah	Satuan	COA	Hasil Pengujian Laboratorium	Kandungan % (ar)						Kandungan % (ad, *Ultimate Analysis*)	
					C	*Ash*	H	O	TM	M	C	M

Nama Unit Pembangkit Tenaga Listrik	Karbon tidak terbakar	Faktor Oksidasi (Rerata dalam setahun)
	% berat (rerata dalam setahun)	
	C	FO

B. Daftar Periksa Data Konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) Per Unit

Bahan Bakar Minyak	Konsumsi Bahan Bakar di Pembangkit		Nilai Kalor/GCV (BTU/lb)		Densitas (kg /m^3)		Kandungan (%m/m)	
	Jumlah	Satuan	COA	Hasil Pengujian Laboratorium	COA	Hasil Pengujian Laboratorium	H	C

Nama Unit Pembangkit Tenaga Listrik	Faktor Oksidasi (Rerata dalam setahun)
	FO

C. Daftar Periksa Data Konsumsi Bahan Bakar Gas Bumi Per Unit

Bahan Bakar Gas Bumi	Konsumsi Bahan Bakar di Pembangkit		Nilai Kalor/GCV (BTU/CF)		Kandungan (%)	
	Jumlah	Satuan	COA	Hasil Pengujian Laboratorium	Nama Senyawa	% mol
					Methane	
					Ethane	
					Propane	
					i-butane	
					n-butane	
					i-pentane	
					n-pentane	
					n-hexane	
					n-heptane	
					n-octane	
					n-nonane	
					n-decane	
					ethylene	
					propylene	
					CO_2	
					H_2S	
					N_2	
					O_2	
					He	
					Air	
					H_2O	
					C_6+	

Nama Unit Pembangkit Tenaga Listrik	Faktor Oksidasi Rerata dalam setahun)
	FO

Lampiran 10. Lembar Kerja Perhitungan Ketidakpastian Faktor Emisi

No	JENIS BAHAN BAKAR	JUMLAH SAMPEL	NCV	C	FE	SNCV	SNCV (FE)	
1		1						
2		2						
3		3						
4		4						
5		5						
6		6						
7		7						
8		8						
9		9						
10		10						
11		11						
12		12						
RERATA						TOTAL		

CLFE	μNCV	Sc	Sc(FE)	CLC	μC	SFE	μgabungan	CLFE	μFE

Lampiran 11. Lembar Kerja Perhitungan Ketidakpastian Data Aktivitas

No	JENIS BAHAN BAKAR	KONSUMSI BAHAN BAKAR	JUMLAH SAMPEL	NCV	Densitas	DATA AKTIVITAS (TJ)	
1			1				
2			2				
3			3				
4			4				
5			5				
6			6				
7			7				
8			8				
9			9				
10			10				
11			11				
12			12				
RERATA							

SNCV	SNCV(DA)	Sρ	Sρ(DA)	SDA	μgabungan	CLDA	μDA
TOTAL							

Lampiran 12. Lembar Kerja Perhitungan Tren Ketidakpastian

No	JENIS BAHAN BAKAR	JENIS GAS	EMISI TAHUN DASAR (2010)	EMISI TAHUN-i	μFE	μDA	
1							
2							
3							
TOTAL							

μkombinasi	Kontribusi terhadap variasi dalam tahun dasar	Kontribusi terhadap variasi dalam tahun-i	Sensivitas	μFE dalam tren emisi	μDA dalam tren emisi	μemisi dalam tren emisi
TREN KETIDAKPASTIAN					TOTAL	

Lampiran 13. Tetapan Selisih Pangsa NCV dan GCV Masing-Masing Komposisi Gas

Compound	Nama Senyawa	Tetapan Selisih Pangsa NCV dan GCV (%)
C1	Methane	9,96%
C2	Ethane	8,52
C3	Propane	7,99
i-C4	i-butane	7,75
n-C4	n-butane	7,70
i-C5	i-pentane	7,55
n-C5	n-pentane	7,53
n-C6	n-hexane	7,40
n-C7	n-heptane	7,32
n-C8	n-octane	7,25
n-C9	n-nonane	7,19
n-C10	n-decane	7,14
C2	ethylene	6,29
C3	propylene	6,47
CO_2	Karbon Dioksida	7,90
H_2S	H_2S	N/A
N_2	N_2	N/A
O_2	O_2	N/A
He	He	N/A
Air	Air	N/A
H_2O	H_2O	N/A
C_6+	C_6+	N/A

Sumber: *Table of Physical Properties for Hydrocarbons and Other Compounds of Interest to the Natural Gas Industry - GPA Standard 2145-16.*

Kementerian Energi
dan Sumber Daya Mineral

Kementerian Koordinator
Bidang Perekonomian

pmr | PARTNERSHIP FOR MARKET READINESS INDONESIA

UNDP
Empowered lives.
Resilient nations.