

Lampiran

Nomor : 2093/28/DEK.T/2020
Tanggal : 15 November 2020

Metodologi Penghitungan Reduksi Emisi dan/atau Peningkatan Serapan GRK dalam Kerangka Verifikasi Aksi Mitigasi

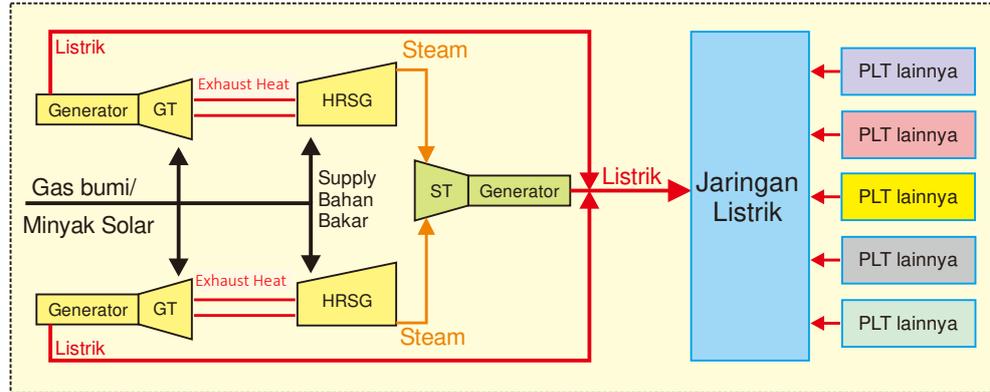
Lembar Usulan Metodologi

A. Informasi Umum	
Judul Metodologi	Konversi dari pembangkit <i>single cycle</i> menjadi <i>combined cycle</i>
Referensi	Metodologi CDM ACM0007 Versi 06.1.0
Pengusul	Direktorat Teknik dan Lingkungan, Ditjen Gatrik KESDM
Kategori	Penerapan teknologi energi bersih
Nomor usulan	
Tanggal dan Versi Usulan	16 Oktober 2020, versi 1
B. Aksi Mitigasi/Proyek	
Deskripsi aksi mitigasi	Kegiatan ini bertujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) dengan menerapkan kegiatan konversi pembangkit listrik <i>single cycle</i> menjadi <i>combined cycle</i> melalui upaya pemanfaatan panas buang. Panas buang diproses untuk menghasilkan uap guna mengoperasikan turbin uap yang menghasilkan listrik.
Kriteria kelayakan penerapan metodologi	<p>Metodologi ini berlaku untuk aksi mitigasi yang mengkonversikan satu atau beberapa unit pembangkit pada 1 (satu) lokasi yang terhubung ke sistem interkoneksi tenaga listrik, dari <i>single cycle</i> menjadi <i>combined cycle</i>. Metodologi ini berlaku jika unit-unit pembangkit listrik aksi mitigasi memenuhi kondisi berikut:</p> <ol style="list-style-type: none">1. unit-unit pembangkit mempunyai data historis operasi sedikitnya 1 (satu) tahun tanpa major retrofit, dan sedikitnya satu unit pembangkit mempunyai data historis operasi lebih dari 3 (tiga) tahun tanpa major retrofit;2. jika satu unit pembangkit mempunyai data historis operasi kurang dari 3 (tiga) tahun, semua unit pembangkit aksi mitigasi didisain dan diujikan untuk beroperasi dalam <i>single cycle</i>. Ini harus dibuktikan oleh peserta aksi mitigasi dengan memberikan dokumen yang relevan, seperti diagram proses asli dan skema dari konstruksi pembangkit, izin-izin, dan/atau dilakukan pengecekan di lokasi sebelum implementasi dari aksi mitigasi;3. selama 3 (tiga) tahun terakhir sebelum implementasi dari aksi mitigasi dan selama pelaksanaan aksi mitigasi, unit-unit pembangkit aksi mitigasi hanya menggunakan jenis bahan bakar sebagai berikut:<ol style="list-style-type: none">a) bahan bakar fosil; dan/ataub) campuran dari bahan bakar fosil dan bahan bakar nabati, dimana pencampuran bahan bakar nabati dalam bahan bakar fosil di luar kontrol pelaksana aksi mitigasi (seperti adanya aturan wajib untuk mencampurkan biodiesel dengan bahan bakar minyak atau biogas dengan bahan bakar gas). Tetapi, penggunaan bahan bakar nabati tidak termasuk dalam metodologi ini.4. jenis bahan bakar fosil yang digunakan oleh unit pembangkit aksi mitigasi juga digunakan selama 3 (tiga) tahun terakhir sebelum implementasi aksi mitigasi, kecuali, jika diperlukan, konsumsi bahan bakar <i>auxiliary (start-up)</i> yang tidak melebihi 3% terhadap total konsumsi bahan bakar (diukur berdasarkan energi).

Sumber dan jenis Emisi GRK yang diperhitungkan	Sumber emisi GRK yang diperhitungkan dalam kegiatan aksi mitigasi ini adalah emisi CO ₂ yang terjadi akibat konsumsi bahan bakar fosil pada pengoperasian unit-unit pembangkit listrik dan konsumsi bahan bakar fosil pada pemanfaatan panas buang untuk mengoperasikan turbin uap.
--	--

C. Perhitungan Emisi *Baseline*

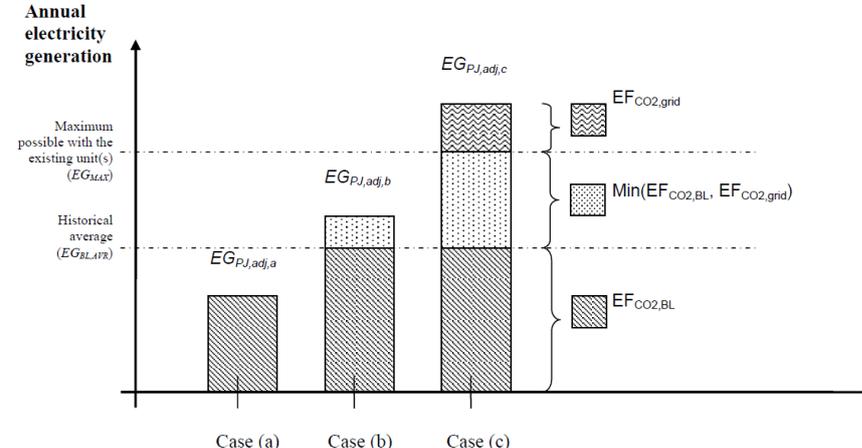
Batas aksi mitigasi	Batas aksi mitigasi (<i>boundary</i>) mencakup unit-unit pembangkit aksi mitigasi dan semua pembangkit listrik yang terkoneksi ke sistem interkoneksi tenaga listrik yang sama dengan pembangkit listrik yang melakukan aksi mitigasi.
---------------------	--



Gambar 1. Batas aksi mitigasi

Deskripsi <i>baseline</i>	<ul style="list-style-type: none"> Emisi baseline ditentukan berdasarkan jumlah emisi CO₂ yang dihasilkan dari pembangkit listrik single cycle berbahan bakar fosil sebelum penerapan aksi mitigasi dan semua pembangkit listrik berbahan bakar fosil yang terkoneksi ke sistem interkoneksi tenaga listrik yang terhubung dengan pembangkit listrik yang melakukan aksi mitigasi. Perhitungan emisi baseline dilakukan dengan mengalikan produksi listrik pembangkit listrik eksisting dengan faktor emisi baseline.
---------------------------	--

Cara perhitungan emisi <i>baseline</i>	Skenario <i>baseline</i> merupakan produksi listrik dari operasi unit-unit pembangkit dengan <i>single cycle</i> dan pembangkit yang terkoneksi dengan sistem interkoneksi tenaga listrik. Aksi mitigasi dengan pembangkit listrik <i>combined cycle</i> akan menggantikan sebagian produksi listrik skenario <i>baseline</i> untuk pembangkit listrik <i>single cycle</i> . Selain itu, aksi mitigasi juga dapat menggantikan produksi listrik jaringan, jika jumlah produksi listrik meningkat sebagai akibat dari kegiatan aksi mitigasi. Akan tetapi tidak diketahui penambahannya apakah karena aksi mitigasi atau memang akan ada (misalkan karena perubahan kebutuhan listrik atau adanya pembangkit listrik lain). Oleh karena itu, perhitungan emisi <i>baseline</i> didasarkan pada 3 (tiga) skenario seperti ditunjukkan pada Gambar 2.
--	--



Gambar 2. Perhitungan emisi *baseline* untuk 3 (tiga) skenario jumlah produksi listrik yang berbeda

Perhitungan emisi *baseline* pada tahun y (BE_y) dihitung sebagai berikut:

Tahap 1: Perhitungan emisi *baseline* dari pembangkit aksi mitigasi dengan berbagai skenario

- (a) Apabila produksi listrik yang dihasilkan dari unit-unit pembangkit listrik aksi mitigasi, disesuaikan untuk perubahan efisiensi ($EG_{PJ,adj,y}$), lebih rendah dari atau sama dengan produksi listrik rata-rata tahunan yang dihasilkan sebelum adanya kegiatan mitigasi ($EG_{BL,AVR}$). Emisi *baseline* dihitung sebagai berikut:

$$BE_y = EG_{PJ,adj,y} \times EF_{CO_2,BL} \quad (1)$$

- (b) Apabila produksi listrik yang dihasilkan dari unit-unit pembangkit aksi mitigasi, disesuaikan untuk perubahan efisiensi ($EG_{PJ,adj,y}$), melebihi tingkat rata-rata produksi listrik tahunan ($EG_{BL,AVR}$) sebelum aksi mitigasi, tetapi lebih rendah dari atau sama dengan produksi listrik maksimum yang dapat dihasilkan dari unit-unit pembangkit aksi mitigasi sebelum aksi mitigasi dilaksanakan ($EG_{BL,AVR}$),. Emisi *baseline* dihitung sebagai berikut:

$$BE_y = EG_{BL,AVR} \cdot EF_{CO_2,BL,y} + (EG_{PJ,adj,y} - EG_{BL,AVR}) \cdot \min(EF_{CO_2,BL}; EF_{grid,y}) \quad (2)$$

- (c) Apabila produksi listrik dihasilkan dari unit-unit pembangkit aksi mitigasi, disesuaikan untuk perubahan efisiensi, ($EG_{PJ,adj,y}$), melebihi produksi listrik maksimum tahunan yang dapat dihasilkan dari unit-unit pembangkit aksi mitigasi sebelum implementasi dari aksi mitigasi (EG_{MAX}). Emisi *baseline* dihitung sebagai berikut:

$$BE_y = EG_{BL,AVR} \cdot EF_{CO_2,BL,y} + (EG_{MAX} - EG_{BL,AVR}) \cdot \min(EF_{CO_2,BL}; EF_{grid,y}) + (EG_{PJ,adj,y} - EG_{MAX}) \cdot EF_{grid,y} \quad (3)$$

dimana:

BE_y = Emisi *Baseline* pada tahun y (tonCO₂/tahun)

$EG_{PJ,adj,y}$ = produksi listrik neto dari semua unit pembangkit aksi mitigasi yang disalurkan ke sistem interkoneksi tenaga listrik pada tahun y , disesuaikan untuk perubahan efisiensi (MWh/tahun)

$EG_{BL,AVR}$ = rata-rata jumlah produksi listrik *baseline* dari semua unit pembangkit aksi mitigasi yang disalurkan ke sistem interkoneksi tenaga listrik selama 3 (tiga) tahun operasi sebelum aksi mitigasi dilaksanakan (MWh/tahun)

EG_{MAX} = produksi listrik neto maksimum tahunan yang dapat diproduksi oleh semua unit pembangkit aksi mitigasi pada skenario *baseline* (MWh/tahun)

$EF_{CO_2,BL}$ = Faktor Emisi CO₂ untuk produksi listrik yang dihasilkan dalam mode *single cycle* pada kondisi *baseline* (tCO₂/MWh)

$EF_{grid,y}$ = Faktor Emisi GRK Sistem Ketenagalistrikan dimana hasil produksi listrik aksi mitigasi disalurkan ke sistem interkoneksi tenaga listrik (tCO₂/MWh)

Produksi listrik neto maksimum tahunan yang dapat diproduksi oleh semua unit pembangkit aksi mitigasi pada skenario *baseline* (EG_{MAX}) dihitung sebagai berikut:

$$EG_{MAX} = CAP_{max} \cdot T_{max} \quad (4)$$

- HMR_x = rata-rata jam dalam tahun x unit-unit pembangkit aksi mitigasi tidak beroperasi karena perawatan atau perbaikan (jam/tahun)
 x = masing-masing tahun operasi pada 3 (tiga) tahun historis operasi
 dimana:
 EG_{MAX} = produksi listrik maksimum tahunan yang dapat diproduksi oleh semua unit pembangkit aksi mitigasi pada skenario *baseline* (MWh/tahun)
 CAP_{max} = daya mampu pembangkit (*gross*) maksimum sebelum pelaksanaan aksi mitigasi (MW)
 T_{max} = jam operasi maksimum unit pembangkit aksi mitigasi dapat beroperasi penuh dalam setahun sebelum pelaksanaan aksi mitigasi (jam/tahun)

Jika semua unit pembangkit *baseline* memiliki catatan historis operasi selama 3 (tiga) tahun, dan jika tidak ada *major retrofit* selama kurun waktu tersebut pada setiap unitnya, maka jam operasi maksimum unit-unit pembangkit aksi mitigasi dapat beroperasi penuh dalam setahun sebelum pelaksanaan aksi mitigasi dihitung sesuai persamaan (5) atau sebagai penyederhanaan, T_{MAX} sama dengan 8.760 jam/tahun.

$$T_{MAX} = 8760 - \frac{\sum_{x=1}^3 HMR_x}{3} \quad (5)$$

dimana:

T_{MAX}	= jam operasi maksimum unit pembangkit aksi mitigasi dapat beroperasi penuh dalam setahun sebelum pelaksanaan aksi mitigasi (jam/tahun)
-----------	---

Rata-rata produksi listrik disalurkan ke sistem interkoneksi tenaga listrik oleh unit-unit pembangkit aksi mitigasi dalam periode historis 3 (tiga) tahun dihitung menurut persamaan (6). Perhitungan harus didasarkan pada data pembangkit aksi mitigasi 3 (tiga) tahun terakhir dan tidak ada *major retrofit* selama periode tersebut.

$$EG_{BL,AVR} = \frac{\sum_{x=1}^3 EG_x}{3} \quad (6)$$

dimana:

- $EG_{BL,AVR}$ = rata-rata jumlah produksi listrik *baseline* dari semua unit pembangkit aksi mitigasi yang disalurkan ke sistem interkoneksi tenaga listrik selama tiga tahun operasi sebelum aksi mitigasi dilaksanakan (MWh/tahun)
 $\sum EG_x$ = produksi listrik neto dari semua unit pembangkit aksi mitigasi yang disalurkan ke sistem interkoneksi tenaga listrik selama tiga tahun terakhir operasi pada periode x dan tidak terdapat *retrofit* pada periode ini (MWh/tahun)
 x = masing-masing tahun operasi pada 3 (tiga) tahun historis operasi

Total produksi listrik neto yang disalurkan ke sistem interkoneksi tenaga listrik oleh pembangkit listrik aksi mitigasi pada tahun y selama aksi mitigasi harus disesuaikan dengan perhitungan emisi *baseline* dengan mempertimbangkan bahwa langkah-langkah efisiensi energi di masa depan (yaitu langkah-langkah yang dapat diterapkan setelah aksi kegiatan) tidak akan menghasilkan pengurangan emisi. Oleh karena itu, jumlah total listrik neto yang disalurkan ke sistem interkoneksi tenaga listrik ($EG_{PJ,y}$) digunakan untuk menghitung emisi *baseline* harus disesuaikan secara konservatif dengan menerapkan faktor diskon berdasarkan minimum efisiensi yang dipantau setelah pelaksanaan aksi kegiatan, seperti yang dijelaskan dalam persamaan di bawah ini:

$$EG_{PJ,adj,y} = EG_{PJ,y} \times \frac{\eta_{PJ,min,y}}{\eta_{PJ,y}} \quad (7)$$

$$\eta_{PJ,min,y} = \min (\eta_{PJ,1}, \dots \eta_{PJ,y}) \quad (8)$$

dimana:

$EGL_{PJ,adj,y}$ = produksi listrik neto dari semua unit pembangkit aksi mitigasi yang disalurkan ke sistem interkoneksi tenaga listrik pada tahun y, disesuaikan untuk perubahan efisiensi (MWh/tahun)

$EG_{PJ,y}$ = produksi listrik neto dari semua unit pembangkit aksi mitigasi yang disalurkan ke sistem interkoneksi tenaga listrik pada tahun y (MWh/tahun)

$\eta_{PJ,min,y}$ = efisiensi minimum pembangkit aksi mitigasi yang dimonitor selama tahun pertama hingga setahun sebelum tahun terakhir (1 ke y-1)

$\eta_{PJ,l} \eta_{PJ,y}$ = rata-rata efisiensi energi unit-unit pembangkit aksi mitigasi yang dimonitor selama tahun pertama hingga setahun sebelum tahun terakhir (1 ke y-1)

Tahap 2: Perhitungan Faktor Emisi *baseline* dari pembangkit listrik *single cycle* ($EF_{CO2,BL}$)

Apabila unit-unit pembangkit aksi mitigasi memiliki catatan historis operasi selama 3 (tiga) tahun terakhir dan tidak ada *major retrofit* pada pembangkit, maka faktor emisi CO₂ unit-unit pembangkit aksi mitigasi yang dioperasikan dengan mode *single cycle* ($EF_{CO2,BL}$) ditetapkan berdasarkan unjuk kerja historis sebelum aksi mitigasi serta dihitung menurut persamaan (9). Sebaliknya, jika dilaksanakan *major retrofit* selama periode 3 (tiga) tahun tersebut dihitung berdasarkan persamaan (10).

$$EF_{CO2,BL} = \frac{\sum_{x=1}^3 \sum_i FC_{i,x} \cdot NCV_{i,x}}{\sum_{x=1}^3 EG_x} \quad (9)$$

dimana:

$EF_{CO2,BL}$ = Faktor Emisi CO₂ untuk produksi listrik yang dihasilkan dalam mode *single cycle* pada kondisi *baseline* (tCO₂/MWh)

$FC_{i,x}$ = jumlah konsumsi per jenis bahan bakar fosil *i* yang digunakan oleh semua unit pembangkit aksi mitigasi dalam periode x (satuan masa atau volume/tahun)

$NCV_{i,x}$ = nilai kalor bersih (*weighted average*) per jenis bahan bakar fosil *i* yang digunakan dalam aksi mitigasi pada tahun x (GJ/unit masa atau volume)

$EF_{CO2,min}$ = Faktor Emisi CO₂ dari jenis bahan bakar fosil dengan tingkat emisi rendah yang digunakan pembangkit *baseline* selama 3 (tiga) tahun historis operasi (tCO₂/GJ)

EG_x = produksi listrik neto dari semua unit pembangkit aksi mitigasi yang disalurkan ke sistem interkoneksi tenaga listrik selama tiga tahun

	<p>terakhir operasi pada periode x dan tidak ada <i>retrofit</i> pada periode ini (MWh/tahun) $x =$ masing-masing dari 3 (tiga) tahun historis operasi</p> <p>Apabila data historis operasi selama 3 (tiga) tahun tidak tersedia pada semua unit pembangkit atau jika ada <i>major retrofit</i> selama periode ini, maka Faktor Emisi CO₂ dari listrik yang dibangkitkan oleh pembangkit <i>single cycle</i> pada <i>baseline</i> (EF_{CO₂,BL}) ditetapkan menggunakan nilai <i>default</i> untuk efisiensi dari unit-unit pembangkit dari <i>annex 1</i> dari “<i>Tool to calculate the emission factor for an electricity system</i>”¹ dihitung menggunakan versi terakhir, menurut persamaan berikut:</p> $EF_{CO_2,BL} = \frac{3,6}{\eta} \cdot EF_{CO_2,min} \quad (10)$ <p>dimana:</p> <p>EF_{CO₂,BL} = Faktor Emisi CO₂ untuk produksi listrik yang dihasilkan dalam mode <i>single cycle</i> pada kondisi <i>baseline</i> (tCO₂/MWh) EF_{CO₂,min} = Faktor Emisi CO₂ dari jenis bahan bakar fosil dengan tingkat emisi rendah yang digunakan pembangkit <i>baseline</i> selama 3 (tiga) tahun historis operasi (tCO₂/GJ) η = efisiensi energi <i>default</i> dari semua unit pembangkit aksi mitigasi <i>single cycle</i> 3,6 = faktor konversi satuan (GJ/MWh)</p> <p>Tahap 3: Penentuan Faktor Emisi GRK Sistem Ketenagalistrikan (EF_{grid,y})</p> <p>Faktor Emisi GRK Sistem Ketenagalistrikan (EF_{grid,y}) harus dihitung sebagai faktor emisi <i>Combined Margin</i>, menggunakan “<i>Tool to calculate the emission factor for an electricity system</i>”².</p>
D. Perhitungan Emisi Proyek	
<p>Sumber emisi : <i>leakage</i></p>	<p>Potensi <i>Leakage</i> Emisi (LE_y) dari aksi mitigasi utamanya disebabkan oleh:</p> <ul style="list-style-type: none"> (i) emisi yang terkait dengan situasi dimana panas buang telah ditampung dan dimanfaatkan kembali sebelum pelaksanaan dari aksi mitigasi, yang mana pengalihan dari panas ini untuk aksi mitigasi dapat meningkatkan adanya emisi di tempat lain; dan (ii) emisi yang terkait dengan ekstraksi, produksi, transportasi, distribusi dan pengolahan dari peningkatan jumlah bahan bakar fosil yang dikonsumsi oleh aksi mitigasi (LE_{upstream,y}). <p>Emisi <i>Leakage</i> dihitung sebagai berikut:</p> $LE_y = LE_{upstream,y} + LE_{HR,y} \quad (11)$ <p>dimana:</p>

¹ <https://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-07-v7.0.pdf>

² Saat ini mengikuti metodologi dalam <https://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-07-v7.0.pdf>

- LE_y = Emisi *Leakage* pada tahun y (tCO_{2e}/tahun)
- $LE_{\text{upstream},y}$ = Emisi *Leakage* terkait dengan emisi *upstream* dari penambahan penggunaan bahan bakar fosil dalam aksi mitigasi pada tahun y (tCO_{2e}/tahun)
- $LE_{HR,y}$ = Emisi *Leakage* akibat penurunan jumlah panas buang yang diperoleh kembali untuk tujuan lain selain pembangkit listrik dalam aksi mitigasi, dibandingkan dengan tahun terakhir sebelum pelaksanaan aksi mitigasi, dalam periode y (tCO_{2e}/tahun)

Penetapan $LE_{HR,y}$

Apabila jumlah panas yang diperoleh dari panas buang selama tahun terakhir sebelum pelaksanaan aksi mitigasi ($Q_{HR,x}$) kurang dari 3% dalam basis energi dari konsumsi bahan bakar fosil atau lebih kecil atau sebanding dengan jumlah panas buang yang dimanfaatkan kembali pada tahun y untuk tujuan selain pembangkit listrik ($Q_{HR,y}$), maka emisi dari sumber *leakage* ini nol.

Akan tetapi, $LE_{HR,y}$ dihitung sebagai jumlah pengurangan pemanfaatan panas dikalikan dengan faktor emisi dari bahan bakar yang digunakan dengan emisi karbon tertinggi selama historis operasi sebelum aksi mitigasi. Jika sebelum penerapan aksi mitigasi bahan bakar dicampur dengan bahan bakar nabati, maka faktor emisi dari bahan bakar tersebut dianggap sebagai faktor emisi untuk bahan bakar fosil campuran.

$$LE_{HR,y} = (Q_{HR,x} - Q_{HR,y}) \cdot EF_{CO_2,max} \tag{12}$$

dimana:

- $LE_{HR,y}$ = Emisi *Leakage* akibat penurunan jumlah panas buang yang diperoleh kembali untuk tujuan lain selain pembangkit listrik dalam aksi mitigasi, dibandingkan dengan tahun terakhir sebelum pelaksanaan aksi mitigasi, dalam periode y (tCO_{2e}/tahun)
- $Q_{HR,x}$ = besar panas buang yang dimanfaatkan kembali oleh unit-unit pembangkit selama tahun terakhir sebelum aksi mitigasi (GJ/tahun)
- $Q_{HR,y}$ = besar panas buang yang dimanfaatkan kembali oleh unit-unit pembangkit untuk tujuan selain pembangkitan listrik di tahun y (GJ/tahun)
- $EF_{CO_2,max}$ = Faktor Emisi CO_2 dari jenis bahan bakar fosil dengan emisi karbon tertinggi yang digunakan dalam historis operasi unit-unit pembangkit (tCO_2/GJ)

Penentuan $LE_{\text{upstream},y}$

Apabila konsumsi bahan bakar pada aksi mitigasi lebih rendah daripada konsumsi bahan bakar pada 3 (tiga) tahun sebelum aksi mitigasi, Emisi *Leakage* dari sumber ini sama dengan nol. Jika sebaliknya, Emisi *Leakage* terkait dengan emisi *upstream* dari peningkatan penggunaan bahan bakar fosil pada aksi mitigasi akan dihitung. Emisi *Leakage upstream* dihitung sebagai berikut:

$$LE_{\text{upstream},y} = \max \left[0, \left(\sum_i (FC_{i,y} \cdot NCV_{i,y} \cdot EF_{i,\text{upstream}CH_4}) \cdot GWP_{CH_4} + LE_{LNG,CO_2,y} \right) \cdot \left(1 - \frac{\frac{1}{3} \sum_{x=1}^3 \sum_i FC_{i,x} \cdot NCV_{i,x}}{\sum_i FC_{i,y} \cdot NCV_{i,y}} \right) \right] \tag{13}$$

dimana:

$LE_{\text{upstream},y}$	=	Emisi <i>Leakage</i> terkait dengan emisi <i>upstream</i> dari penambahan penggunaan bahan bakar fosil dalam aksi mitigasi pada tahun y (tCO_{2e}/tahun)
--------------------------	---	---

	$FC_{i,y}$	=	jumlah konsumsi per jenis bahan bakar fosil i yang digunakan oleh semua unit pembangkit aksi mitigasi pada tahun y (satuan masa atau volume/tahun)												
	$NCV_{i,y}$	=	nilai kalor bersih (<i>weighted average</i>) per jenis bahan bakar fosil i yang digunakan dalam aksi mitigasi pada tahun y (GJ/unit massa atau volume)												
	$EF_{i,upstream,CH_4}$	=	Faktor Emisi <i>upstream</i> emisi metana <i>fugitive</i> akibat dari produksi, transportasi, distribusi bahan bakar fosil i yang digunakan unit-unit pembangkit aksi mitigasi pada tahun y (tCO ₄ /GJ)												
	GWP_{CH_4}	=	<i>Global Warming Potential</i> yang relevan (tCO _{2e} /tCH ₄)												
	$LE_{LNG,CO_2,y}$	=	Emisi <i>Leakage</i> karena pembakaran bahan bakar fosil/konsumsi listrik terkait <i>liquefaction</i> , transportasi re-gasifikasi dan kompresi LNG ke transmisi atau sistem distribusi gas bumi pada tahun y (tCO _{2e} /tahun)												
	$FC_{i,x}$	=	jumlah konsumsi per jenis bahan bakar fosil i yang digunakan dalam unit-unit pembangkit aksi mitigasi dalam periode x (satuan masa atau volume/tahun)												
	$NCV_{i,x}$	=	nilai kalor bersih per jenis bahan bakar fosil i yang digunakan dalam aksi mitigasi pada tahun x (GJ/unit massa atau volume)												
	x	=	masing-masing dari 3 (tiga) tahun historis operasi												
	<p>Emisi <i>Leakage</i> karena pembakaran bahan bakar fosil/konsumsi listrik terkait dengan <i>liquefaction</i>, transportasi, <i>re-gasification</i> dan kompresi LNG ke transmisi dan sistem distribusi gas alam ($LE_{LNG,CO_2,y}$) dihitung sebagai berikut:</p> $LE_{LNG,CO_2,y} = FC_{LNG,y} \cdot NCV_{LNG,y} \cdot EF_{CO_2,upstream,LNG} \quad (14)$ <p>dimana:</p> <table border="1"> <tr> <td>$LE_{LNG,CO_2,y}$</td> <td>=</td> <td>Emisi <i>Leakage</i> karena pembakaran bahan bakar fosil/konsumsi listrik terkait dengan <i>liquefaction</i>, transportasi, <i>re-gasification</i> dan kompresi LNG ke sistem transmisi atau dan distribusi gas bumi di tahun y (tCO_{2e}/tahun)</td> </tr> <tr> <td>$FC_{LNG,x}$</td> <td>=</td> <td>jumlah gas bumi diproduksi dari LNG yang digunakan aksi mitigasi pada tahun x (satuan massa atau volume/tahun)</td> </tr> <tr> <td>$NCV_{LNG,x}$</td> <td>=</td> <td>nilai kalor bersih gas bumi diproduksi dari LNG yang digunakan aksi mitigasi pada tahun y (GJ/unit massa atau volume)</td> </tr> <tr> <td>$EF_{CO_2,upstream,LNG}$</td> <td>=</td> <td>Faktor Emisi <i>Upstream</i> emisi CO₂ terkait dengan <i>liquefaction</i>, <i>re-gasification</i> dan kompresi LNG ke transmisi atau sistem distribusi gas bumi (tCO_{2e}/GJ)</td> </tr> </table>			$LE_{LNG,CO_2,y}$	=	Emisi <i>Leakage</i> karena pembakaran bahan bakar fosil/konsumsi listrik terkait dengan <i>liquefaction</i> , transportasi, <i>re-gasification</i> dan kompresi LNG ke sistem transmisi atau dan distribusi gas bumi di tahun y (tCO _{2e} /tahun)	$FC_{LNG,x}$	=	jumlah gas bumi diproduksi dari LNG yang digunakan aksi mitigasi pada tahun x (satuan massa atau volume/tahun)	$NCV_{LNG,x}$	=	nilai kalor bersih gas bumi diproduksi dari LNG yang digunakan aksi mitigasi pada tahun y (GJ/unit massa atau volume)	$EF_{CO_2,upstream,LNG}$	=	Faktor Emisi <i>Upstream</i> emisi CO ₂ terkait dengan <i>liquefaction</i> , <i>re-gasification</i> dan kompresi LNG ke transmisi atau sistem distribusi gas bumi (tCO _{2e} /GJ)
$LE_{LNG,CO_2,y}$	=	Emisi <i>Leakage</i> karena pembakaran bahan bakar fosil/konsumsi listrik terkait dengan <i>liquefaction</i> , transportasi, <i>re-gasification</i> dan kompresi LNG ke sistem transmisi atau dan distribusi gas bumi di tahun y (tCO _{2e} /tahun)													
$FC_{LNG,x}$	=	jumlah gas bumi diproduksi dari LNG yang digunakan aksi mitigasi pada tahun x (satuan massa atau volume/tahun)													
$NCV_{LNG,x}$	=	nilai kalor bersih gas bumi diproduksi dari LNG yang digunakan aksi mitigasi pada tahun y (GJ/unit massa atau volume)													
$EF_{CO_2,upstream,LNG}$	=	Faktor Emisi <i>Upstream</i> emisi CO ₂ terkait dengan <i>liquefaction</i> , <i>re-gasification</i> dan kompresi LNG ke transmisi atau sistem distribusi gas bumi (tCO _{2e} /GJ)													
Cara perhitungan emisi aksi mitigasi	:	<p>Emisi aksi mitigasi (EP_y) dihitung menggunakan versi terakhir dari "<i>Tool to calculate project or leakage CO₂ emissions from fossil fuel combustion</i>" yang dinyatakan sebagai $EP_{FC,j,y}$ di mana j adalah pembakaran bahan bakar fosil aksi mitigasi dan untuk mengoperasikan unit-unit pembangkit aksi mitigasi serta untuk menambah panas buang dalam pengoperasian turbin uap.</p> <p>Ketika "<i>Tool to calculate project or leakage CO₂ emissions from fossil fuel combustion</i>" diaplikasikan, maka bahan bakar fosil yang dicampur dengan bahan bakar nabati dianggap 100% merupakan bahan bakar fosil.</p> $EP_y = EP_{FC,j,y}$ <p>dimana:</p> EP_y = Emisi aksi mitigasi pada tahun y (tCO ₂) $EP_{FC,j,y}$ = Emisi aksi mitigasi pada tahun y , dimana j adalah pembakaran bahan bakar fosil aksi mitigasi dan untuk mengoperasikan unit-unit pembangkit aksi mitigasi serta untuk menambah panas buang dalam pengoperasian turbin uap													

Emisi aksi mitigasi ($EP_{FC,j,y}$) dihitung dengan persamaan berikut:

$$EP_{FC,j,y} = \sum_i FC_{i,j,y} \times COEF_{i,y} \quad (15)$$

dimana:

$EP_{FC,j,y}$ = Emisi aksi mitigasi pada tahun y , dimana j adalah pembakaran bahan bakar fosil aksi mitigasi dan untuk mengoperasikan unit-unit pembangkit aksi mitigasi serta untuk menambah panas buang dalam pengoperasian turbin uap (tCO_2)

$FC_{i,j,y}$ = jumlah konsumsi bahan bakar i dari proses j pada tahun y (massa atau volume)

$COEF_{i,y}$ = koefisien emisi CO_2 tiap jenis bakar i di tahun y (tCO_2 /massa atau volume)

i = jenis bahan bakar fosil

Perhitungan $COEF_{i,y}$ dapat dilakukan dengan 2 (dua) metode dengan pendekatan berdasarkan ketersediaan data yang dimiliki, namun pemilihan metode 1 lebih diutamakan. Penghitungan $COEF_{i,y}$ dilakukan sesuai persamaan berikut:

- berdasarkan ketersediaan kualitas data bahan bakar

$$COEF_{i,y} = w_{c,i,y} \times 44/12 \quad (\text{jika dalam satuan massa}) \quad (16)$$

$$COEF_{i,y} = w_{c,i,y} \times \rho_{i,y} \times 44/12 \quad (\text{jika dalam satuan volume}) \quad (17)$$

dimana:

$COEF_{i,y}$	=	koefisien emisi CO_2 tiap jenis bakar i di tahun y (tCO_2 /massa atau volume)
$w_{c,i,y}$	=	fraksi massa karbon (<i>weighted average</i>) bahan bakar tipe i pada tahun y (ton karbon/massa)
$\rho_{i,y}$	=	densitas bahan bakar tipe i pada tahun y (massa/volume)
i	=	jenis bahan bakar fosil

- berdasarkan nilai kalori bersih dan Faktor Emisi CO_2 bahan bakar tipe i :

$$COEF_{i,y} = NCV_{i,y} \times EF_{CO_2,i,y} \quad (18)$$

dimana:

$COEF_{i,y}$	=	koefisien emisi CO_2 tiap jenis bakar i di tahun y (tCO_2 /massa atau volume)
$NCV_{i,y}$	=	nilai kalor bersih (<i>weighted average</i>) bahan bakar tipe i pada tahun y (GJ/massa atau volume)
$EF_{CO_2,i,y}$	=	Faktor Emisi bahan bakar tipe i pada tahun y (tCO_2 /GJ)
i	=	jenis bahan bakar fosil

E. Perhitungan Penurunan Emisi

Cara perhitungan penurunan emisi	: $PE_y = BE_y - EP_y - LE_y$		
	dimana:		
	PE _y	=	Penurunan emisi pada tahun y (tonCO ₂)
	BE _y	=	Emisi <i>Baseline</i> pada tahun y (tonCO ₂)
	EP _y	=	Emisi aksi mitigasi pada tahun y (tonCO ₂)
	LE _y	=	Emisi <i>Leakage</i> pada tahun y (tonCO ₂)

E. Rencana Pemantauan

Parameter *Ex-post*

1. Produksi listrik

Parameter	EG _{PJ,y}
Satuan	MWh/tahun
Deskripsi	Produksi listrik neto dari semua unit pembangkit aksi mitigasi yang disalurkan ke sistem interkoneksi tenaga listrik listrik pada tahun y (MWh/tahun)
Sumber Data	Dokumentasi perusahaan
Metode dan Prosedur Pengukuran	kWh meter
Frekwensi Pengukuran	Secara kontinyu dalam setahun, minimal sebulan sekali
QA/QC	<i>Cross check</i> hasil pengukuran kWh meter dengan <i>invoice</i> penjualan listrik (jika relevan)
Lainya	-

2. Konsumsi bahan bakar

Parameter	FC _{i,y}
Satuan	Berat atau Volume
Deskripsi	jumlah konsumsi per jenis bahan bakar fosil i yang digunakan oleh semua unit pembangkit aksi mitigasi pada tahun y
Sumber Data	Dokumentasi perusahaan
Metode dan Prosedur Pengukuran	<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan meteran berat atau volume. Jika bahan bakar disuplai dari tangki kecil, alat pengukur volume yang digunakan, dengan syarat: alat pengukur volume merupakan bagian dari tangki dan dikalibrasi minimal setahun sekali serta adanya buku catatan sebagai kontrol dari hasil pengukuran (dilakukan setiap hari atau per <i>shift</i>); Aksesoris seperti <i>transducers</i>, sonar dan peralatan <i>piezoelectronic</i> diperbolehkan jika dikalibrasi dengan baik dengan alat pengukur volume serta mendapatkan perawatan yang memadai; Jika tangki harian dengan <i>pre-heater</i> minyak berat, kalibrasi dilakukan dengan sistem pada kondisi tipikal operasi
Frekwensi Pengukuran	Kontinyu sepanjang tahun
QA/QC	Jumlah konsumsi bahan bakar yang tercatat dalam alat ukur (meteran volume atau berat) harus diperiksa ulang melalui neraca energi tahunan sesuai jumlah bahan bakar yang dibeli dan perubahan stok. Jika faktur pembelian bahan bakar tersedia, jumlah konsumsi bahan bakar yang tercatat dalam meteran (volume atau berat) juga harus diperiksa ulang dengan faktur pembelian yang tersedia dari catatan keuangan
Lainya	-

3. Rata-rata efisiensi

Parameter	$\eta_{PJ,y}$
Satuan	-
Deskripsi	Rata-rata efisiensi pembangkit aksi mitigasi pada tahun y selama kegiatan
Sumber Data	Dokumentasi perusahaan
Metode dan Prosedur Pengukuran	<ul style="list-style-type: none"> • Metode langsung dengan membagi produksi listrik neto dengan kandungan energi dari konsumsi bahan bakar selama periode waktu yang sama), bukan metode tidak langsung dengan penentuan pasokan bahan bakar atau produksi panas, dan estimasi <i>losses</i>); • Menggunakan standar yang diakui dalam pengukuran efisiensi pembangkit listrik; <p>Efisiensi harus disebut dalam hal nilai kalor bersih bahan bakar yang digunakan dan listrik bersih yang dihasilkan, yaitu total listrik yang dihasilkan dikurangi konsumsi listrik internal.</p>
Frekwensi Pengukuran	Sekali setahun. Estimasi awal yang dibuat dalam tahun pertama setelah implementasi aksi mitigasi
QA/QC	-
Lainya	-
4. Pemanfaatan kembali panas buang	
Parameter	$Q_{HR,y}$
Satuan	GJ/tahun
Deskripsi	Besar panas yang dimanfaatkan kembali dari panas buang unit-unit pembangkit aksi mitigasi untuk tujuan selain pembangkitan listrik pada tahun y
Sumber Data	Dokumentasi perusahaan (seperti <i>heat exchanger</i> , dll)
Metode dan Prosedur Pengukuran	Perhitungan dari pengukuran langsung oleh peserta pengelola aksi mitigasi dengan alat ukur yang memadai (yaitu temperatur, tekanan, flow meter untuk udara dan umpan air)
Frekwensi Pengukuran	Kontinyu
QA/QC	-
Lainya	Parameter ini dimonitor hanya jika panas buang yang dimanfaatkan kembali pada tahun terakhir sebelum aksi mitigasi dilaksanakan lebih dari 3% dari energi bahan bakar yang digunakan oleh pembangkit aksi mitigasi pada tahun yang sama.
5. Nilai kalor bersih	
Parameter	$NCV_{i,y}$
Satuan	GJ/unit massa atau volume
Deskripsi	<i>Weighted average</i> dari NCV bahan bakar i pada tahun y
Sumber Data	<ol style="list-style-type: none"> <i>Invoice</i> dari pemasok bahan bakar (Tier-3) Melakukan pengukuran NCV oleh operator pembangkit (Tier-3) Menggunakan NCV bahan bakar nasional atau regional sesuai publikasi terakhir KESDM (Tier-2)
Metode dan Prosedur Pengukuran	Pengukuran dilakukan sesuai metode nasional atau internasional. NCV harus diperoleh setiap pengiriman bahan bakar, untuk dihitung <i>weighted average</i>
Frekwensi Pengukuran	<ul style="list-style-type: none"> • Untuk sumber data huruf a dan b, NCV harus dihitung untuk setiap pengiriman bahan bakar dan nilai NCV tahunan dihitung berdasarkan <i>weighted average</i> • Untuk sumber data huruf c, sesuai publikasi terakhir KESDM
QA/QC	Verifikasi apakah nilai pada sumber data huruf a, b, dan c berada dalam kisaran ketidakpastian dari nilai-nilai standar IPCC seperti yang diberikan dalam Tabel 1.2, Vol. 2 dari Pedoman IPCC 2006. Jika nilainya berada di bawah kisaran tersebut,

	maka kumpulkan informasi tambahan dari laboratorium pengujian untuk membenarkan hasilnya atau melakukan pengukuran tambahan. Laboratorium untuk melakukan pengujian pada sumber data huruf a, b dan c harus memiliki akreditasi sesuai ISO17025 atau membenarkan bahwa mereka dapat memenuhi standar kualitas serupa.
Lainya	Catatan bahwa nilai NCV didasarkan atas tekanan dan temperatur yang sama
6. Faktor Emisi fugitif <i>upstream</i> CH₄	
Parameter	EF _{i,upstream,CH4}
Satuan	tCO ₄ /GJ
Deskripsi	Faktor Emisi <i>upstream</i> emisi metana <i>fugitive</i> akibat dari produksi, transportasi, distribusi bahan bakar fosil i yang digunakan unit-unit pembangkit aksi mitigasi pada tahun y
Sumber Data	Utamakan data emisi fugitive CH ₄ nasional yang resmi berlaku yang terkait dengan produksi, transportasi dan distribusi bahan bakar. Jika data resmi nasional tidak tersedia, dapat menggunakan faktor emisi default dari 2006 Revised IPCC yang berlaku
Metode dan Prosedur Pengukuran	-
Frekwensi Pengukuran	-
QA/QC	-
Lainya	Faktor Emisi <i>fugitive</i> CH ₄ <i>upstream</i> gas bumi harus termasuk emisi <i>fugitive</i> dari produksi, pengolahan, transportasi dan distribusi gas bumi.
7. Faktor Emisi bahan bakar fosil LNG	
Parameter	EF _{CO2,upstream,LNG}
Satuan	tCO ₄ /GJ
Deskripsi	Faktor Emisi CO ₂ <i>upstream</i> karena pembakaran bahan bakar fosil/konsumsi listrik terkait dengan <i>liquefaction</i> , transportasi, <i>re-gasification</i> dan kompresi LNG ke sistem transmisi dan distribusi gas bumi selama tahun y dari pembangkit aksi mitigasi
Sumber Data	Jika tersedia data yang handal dan akurat emisi CO ₂ <i>upstream</i> karena pembakaran bahan bakar fosil/konsumsi listrik terkait dengan <i>liquefaction</i> , transportasi, <i>re-gasification</i> , dan kompresi LNG ke sistem transmisi dan distribusi, maka pengelola proyek harus menggunakan data ini untuk menentukan rata-rata faktor emisi. Jika data tersebut tidak tersedia maka nilai <i>default</i> 0,006 tCO ₂ /GJ dapat digunakan sebagai perkiraan kasar.
Metode dan Prosedur Pengukuran	-
Frekwensi Pengukuran	-
QA/QC	-
Lainnya	Nilai <i>default</i> diturunkan dari data yang telah dipublikasikan untuk sistem LNG Amerika Utara. "Barclay, M. and N. Denton, 2005. <i>Selecting offshore LNG process</i> . < http://www.fwc.com/publications/tech_papers/files/LNJ091105p34-36.pdf > (10th April 2006)"
F. Dokumen untuk verifikasi	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Dokumen net kapasitas pembangkit pada 3 tahun terakhir sebelum aksi mitigasi 2. Dokumen kapasitas terpasang pembangkit listrik pada tahun y 3. Dokumen rata-rata efisiensi pembangkit listrik pada tahun y 4. Dokumen kWh meter yang disalurkan ke jaringan pada tahun y 5. Dokumen kalibrasi alat ukur kWh meter, volume meter, dan berat meter. 6. Dokumen total pembelian bahan bakar pada tahun y 	

7. Dokumen hasil perhitungan emisi CO₂ per jenis bahan bakar pada tahun y
8. Dokumen Faktor Emisi GRK Sistem Ketenagalistrikan
9. Dokumen NCV bahan bakar sesuai data *invoice* atau dokumen NCV bahan bakar nasional dari KESDM, atau dokumen IPCC terakhir
10. Dokumen kapasitas daya pembangkit listrik eksisting dalam 3 tahun
11. Dokumen kapasitas disain pembangkit listrik eksisting
12. Dokumen jumlah hari tanpa operasi pembangkit eksisting dalam 3 tahun terakhir akibat perawatan pembangkit
13. Dokumen jumlah listrik yang disalurkan ke sistem interkoneksi tenaga listrik dalam 3 tahun terakhir
14. Dokumen faktor Emisi CO₂ per bahan bakar yang dikonsumsi pembangkit eksisting selama 3 tahun terakhir sesuai nasional (Tier-2), atau spesifik (Tier-3)
15. Dokumen nilai kalori bersih dari bahan bakar yang digunakan pembangkit listrik eksisting selama 3 tahun terakhir, sesuai nasional (Tier-2), atau spesifik (Tier-3)
16. Data *log book* konsumsi per jenis bahan bakar selama 3 tahun terakhir
17. Dokumen efisiensi pembangkit listrik eksisting dalam 3 tahun terakhir sampai dengan tahun pelaporan aksi mitigasi

G. Daftar Singkatan

GRK	Gas Rumah Kaca
MW	Mega Watt
MWh	Mega Watt-Hour
TJ	Tera Joule

H. Daftar Istilah

<i>Combined Cycle</i>	Pengoperasian pembangkit yang memanfaatkan panas buang untuk mengoperasikan turbin uap yang digunakan untuk menghasilkan listrik.
<i>Major Retrofit</i>	Kegiatan pemeliharaan non rutin yang dapat menyebabkan perubahan dasar pada desain pembangkit listrik atau biaya modal tetap penggantian komponen yang ditambah dengan biaya penggantian dan pemeliharaan yang menjadi bagian dari kegiatan pemeliharaan tersebut melebihi 20% dari biaya pembangunan unit baru (dengan telah mempertimbangkan inflasi dan kurs mata uang).
<i>Single Cycle</i>	Pengoperasian pembangkit tanpa pemanfaatan gas buang

Tabel 1. Default Faktor Emisi Fugitive

Altivitas	Satuan	Default Faktor Emisi
Batubara		
• Tambang Dalam	Ton CH4/kilo ton batubara	13,4
• Rambang Terbuka	Ton CH4/kilo ton batubara	0,8
BBM		
• Produksi	Ton CH4/PJ	2,5
• Transportasi	Ton CH4/PJ	1,6
• Total	Ton CH4/PJ	4,1
Gas Bumi		
• Produksi	Ton CH4/PJ	68
• <i>Processing</i> , transportasi, dan distribusi	Ton CH4/PJ	228
• <i>Total</i>	Ton CH4/PJ	206