

**DRAFT**

**PETUNJUK TEKNIS**

**PERHITUNGAN EMISI GAS RUMAH KACA**

**(GRK)**

**DI SEKTOR INDUSTRI**

## **Kata Pengantar**

Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional (RAN) Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) merupakan tindak lanjut pernyataan Presiden bahwa Pemerintah Indonesia akan menurunkan emisi GRK sebanyak 26 % dengan upaya sendiri dan sebesar 41% dengan dukungan internasional. RAN tersebut disusun untuk memberikan pedoman kepada pemerintah pusat, daerah, dunia usaha/swasta dan masyarakat dalam melaksanakan berbagai kegiatan/program untuk mengurangi emisi GRK dalam periode tahun 2010-2020.

Kementerian Perindustrian sebagai salah satu Kementerian Teknis yang memiliki tanggung jawab dalam penyediaan data emisi GRK dari sektor industri. Agar di dalam penyediaan data emisi GRK dari sektor industri dapat dipertanggung jawabkan, maka diperlukan pemahaman yang sama tentang perhitungan emisi GRK sektor industri ini. Oleh karena itu, perlu diterbitkan petunjuk teknis perhitungan emisi gas rumah kaca (GRK) untuk sektor industri.

Dengan diterbitkannya petunjuk teknis ini, diharapkan dapat bermanfaat bagi semua pihak. Akhir kata kami

mengucapkan banyak terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan petunjuk teknis ini.

Jakarta, Mei 2012  
Kepala Badan Pengkajian  
Kebijakan Iklim dan Mutu Industri

**ARRYANTO SAGALA**

## DAFTAR ISI

<b>Kata Pengantar</b> .....	<b>ii</b>
<b>Daftar Isi</b> .....	<b>iii</b>
<b>Daftar Tabel</b> .....	<b>v</b>
<b>Daftar Gambar</b> .....	<b>vi</b>
<b>A. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
<b>B. SEKTOR INDUSTRI YANG MEMBERIKAN KONTRIBUSI EMISI TERBESAR</b> .....	<b>2</b>
<b>C. SUMBER-SUMBER EMISI GRK SEKTOR INDUSTRI</b> .....	<b>3</b>
1. Emisi GRK yang Berasal dari Penggunaan Energi.....	4
2. Emisi GRK yang Berasal dari Proses Produksi.....	5
3. Emisi GRK yang Berasal dari Limbah.....	6
<b>D. CARA PERHITUNGAN EMISI GRK DI SEKTOR INDUSTRI</b> .....	<b>7</b>
1. Tahap Persiapan.....	7
2. Tahap Perhitungan.....	8
2.1. Perhitungan Emisi GRK dari Energi.....	9

2.1.1. Perhitungan Emisi Berdasarkan Penggunaan Listrik yang Dibeli dari Luar Pabrik (Electricity Purchase).....	11
2.1.2. Perhitungan Emisi dari Pembakaran Bahan Bakar Fosil di Power Plant Milik Industri .....	12
2.1.3. Emisi dari Pembakaran Bahan Bakar Biomassa.....	14
2.2. Perhitungan Emisi GRK dari IPPU .....	18
2.2.1. Perhitungan Emisi GRK dari Proses Kalsinasi.....	20
2.2.2. Steam Reforming dan CO <sub>2</sub> absorber pada Produksi Amoniak.....	24
2.2.3. Reaksi Reduksi Bijih Besi.....	26
2.3. Perhitungan Emisi GRK dari Limbah.....	28
2.3.1. Pendekatan Untuk Memperkirakan Emisi Metan dari Air Limbah dan Penanganan Endapan Air Limbah.....	29
<b>E. PENUTUP.....</b>	<b>37</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.</b> Kontribusi Emisi GRK dari Sektor Industri .....	3
<b>Tabel 2.</b> Faktor Emisi (EF) .....	11
<b>Tabel 3.</b> Faktor Emisi Sistem Ketenagalistrikan.....	12
<b>Tabel 4.</b> Faktor Emisi CO <sub>2</sub> IPCC.....	13
<b>Tabel 5.</b> Rekomendasi Faktor Koreksi Karbon yang Tidak Teroksidasi dari Berbagai Dokumen Pedoman .....	14
<b>Tabel 6.</b> Faktor Emisi CH <sub>4</sub> dan N <sub>2</sub> O dari Pembakaran Biomassa.....	16
<b>Tabel 7.</b> Material dalam Bahan Baku Pembuatan Besi dan Baja.....	27

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Klasifikasi Emisi.....	8
<b>Gambar 2.</b> Skema Neraca Massa Sistem (Emisi GRK dari Energi).....	9
<b>Gambar 3.</b> Skema Neraca Massa Sistem (Emisi GRK dari IPPU).....	18

# PETUNJUK TEKNIS PERHITUNGAN EMISI GAS RUMAH KACA (GRK) DI SEKTOR INDUSTRI

## A. PENDAHULUAN

Gas yang dikategorikan sebagai Gas Rumah Kaca (GRK) adalah gas-gas yang berpengaruh secara langsung maupun tidak langsung terhadap efek rumah kaca yang menyebabkan perubahan iklim. Dalam konvensi PBB mengenai Perubahan Iklim (*United Nation Framework Convention On Climate Change-UNFCCC*), ada enam jenis yang digolongkan sebagai GRK yaitu karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), gas metan ( $\text{CH}_4$ ), dinitrogen oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ), sulfurheksafluorida ( $\text{SF}_6$ ), perfluorokarbon (PFCS) dan hidrofluorokarbon (HFCS). Selain itu ada beberapa gas yang juga termasuk dalam GRK yaitu karbonmonoksida ( $\text{CO}$ ), nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ), klorofluorokarbon (CFC), dan gas-gas organik *non metal volatile*. Gas-gas rumah kaca yang dinyatakan paling berkontribusi terhadap gejala pemanasan global adalah  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ , PFC dan  $\text{SF}_6$ . Namun, untuk Indonesia dua gas yang disebut terakhir masih sangat kecil emisinya, sehingga tidak diperhitungkan.

Dari keenam gas-gas rumah kaca tersebut di atas, karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) memberikan kontribusi terbesar terhadap pemanasan global diikuti oleh gas metan ( $\text{CH}_4$ ). Lebih dari 75



% komposisi GRK di atmosfer adalah CO<sub>2</sub> sehingga apabila kontribusi CO<sub>2</sub> dari berbagai kegiatan dapat dikurangi secara signifikan maka ada peluang bahwa dampak pemanasan global terhadap perubahan iklim akan berkurang.

Total emisi GRK di Indonesia dari semua sektor pada tahun 2000 sebesar : 1,377,982 Gg CO<sub>2</sub>e dan sektor industri memberikan kontribusi sebesar 3,12 %.

Untuk mengurangi dampak negatif dari fenomena perubahan iklim, perlu dihitung jumlah emisi GRK dari kegiatan industri. Oleh karena itu disusun petunjuk teknis untuk membantu stakeholder dalam perhitungan emisi GRK.

## **B. SEKTOR INDUSTRI YANG MEMBERIKAN KONTRIBUSI EMISI TERBESAR**

Semua sektor industri memberikan kontribusi emisi GRK, tetapi kontributor terbesar adalah industri semen, industri baja, industri pulp & kertas, industri tekstil, industri petrokimia, industri keramik, industri pupuk, industri makanan dan minuman.

Berdasarkan Peraturan Presiden No. 61 tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK) target penurunan emisi dari sektor industri adalah sebesar 0,001 Gton CO<sub>2</sub>e (skenario 26 %) dan sebesar 0,005

Gton CO<sub>2</sub>e (skenario 41 %) pada tahun 2020. Hasil inventori GRK yang dilakukan pada tahun 2010 menunjukkan bahwa emisi GRK di 8 (delapan) subsektor industri lahap energi adalah sebagaimana digambarkan pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Kontribusi Emisi GRK dari sektor industri

No	Subsektor Industri	Emisi GRK (Mton CO <sub>2</sub> e) Inventory tahun 2010	Prosentase (%)	Target penurunan emisi GRK pada 2020 (skenario 26%) Mton CO <sub>2</sub> e	Target penurunan emisi GRK pada 2020 (skenario 41 %) Mton CO <sub>2</sub> e
1	Semen	32	27,97	0.280	1.398
2	Baja	8.34	7,29	0.073	0.364
3	Pulp & Kertas	31.02	27,11	0.271	1.356
4	Tekstil	11.09	9,69	0.097	0.485
5	Petrokimia	11.46	10,02	0.100	0.501
6	Keramik	1.36	1,19	0.012	0.059
7	Pupuk	11.23	9,82	0.098	0.491
8	Makanan & Minuman	7.91	6,91	0.069	0.346
	<b>Total</b>	<b>114,41</b>	<b>100</b>	<b>1</b>	<b>5</b>

### C. SUMBER- SUMBER EMISI GRK SEKTOR INDUSTRI

Sumber emisi GRK di sektor industri berasal dari penggunaan energi khususnya energi fosil, proses produksi dan limbah.

## 1. Emisi GRK yang berasal dari penggunaan energi

Energi merupakan sumber daya yang sangat penting dalam proses produksi di industri. Sektor pengguna energi terbesar di Indonesia adalah industri yang menyerap 47,2 % dari total penggunaan energi nasional. Jenis-jenis energi yang digunakan di industri saat ini terdiri dari energi fosil dan energi non fosil serta energi baru terbarukan. Pangsa penggunaan energi di sektor industri pada tahun 2010 adalah sebagai berikut : batubara sebesar 34,43 %, gas 28,86 %, ADO (*automotive diesel oil*) 10,93 %, FO (*fuel oil*) 3,17 %, kerosene 0,24%, IDO 0,22 %, briket 0,07%. Dengan perkataan lain bahwa penggunaan bahan bakar minyak sebesar 14,56 %.

Energi di industri digunakan untuk bahan bakar pembangkit listrik, bahan bakar motor, bahan bakar di furnace, bahan bakar boiler untuk membuat steam, bahan baku (*feedstock*) khusus pada industri pupuk, transportasi dan perkantoran. Dalam beberapa kasus, emisi yang dihasilkan dari proses industri menjadi satu dengan emisi dari pembakaran bahan bakar dan mungkin sulit untuk memutuskan apakah emisi tersebut harus dilaporkan dalam sektor energi atau proses industri sehingga perlu

dilihat peruntukannya. Secara garis besar, emisi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar merupakan emisi energi, bukan emisi proses industri.

Penggunaan bahan bakar terbesar adalah minyak bumi yang diikuti dengan penggunaan batubara. Cadangan bahan bakar ini sudah sangat terbatas dan diperkirakan hanya dapat bertahan sekitar 11 (sebelas) tahun kedepan apabila tidak ada eksplorasi baru. Oleh karena itu, untuk menjamin keberlangsungan industri perlu dipercepat penggunaan EBT di sektor industri.

## **2. Emisi GRK yang Berasal dari Proses Produksi**

Emisi gas rumah kaca dari proses produksi adalah emisi yang dihasilkan dari reaksi kimia atau secara fisik menghasilkan zat sisa yang diklasifikasikan sebagai emisi gas rumah kaca. Industri-industri dimaksud adalah sebagai berikut :

1. Industri yang bahan baku ataupun bahan penunjangnya mengandung karbonat, seperti industri semen, industri batu kapur, industri gelas, industri keramik, industri pulp & kertas serta industri gula rafinasi.
2. Industri yang melakukan reaksi *steam reforming* yaitu industri ammoniak dan industri kimia.

3. Industri yang melakukan reaksi reduksi biji besi di dalam *furnace* (Electric Arc Furnace, Induction Arc Furnace, Blast Furnace, dll).

Untuk menghitung emisi GRK didasarkan pada reaksi-reaksi yang terlibat di dalam proses produksi. Peralatan yang berkaitan dengan emisi GRK dari proses antara lain:

- a. Boiler,
- b. Tungku bakar (*furnace, fire heater*),
- c. Kolom regenerasi absorben pemisahan gas CO<sub>2</sub>
- d. *Kiln* batu kapur,
- e. *Kiln* pengering,
- f. *Kiln* reduktor,
- g. Tanur *smelting*,
- h. Turbin gas,
- i. Unit-unit proses penghasil CO<sub>2</sub> (seperti *reformer*),

### **3. Emisi GRK yang Berasal dari Limbah**

Emisi GRK dapat berasal dari pengolahan limbah padat ataupun limbah cair. Limbah padat biasanya dibakar di insinerator menghasilkan CO<sub>2</sub>. Perhitungan emisi GRK insinerator sama dengan emisi GRK dari sistem pembakaran. Limbah cair yang diproses secara anaerobik menghasilkan CH<sub>4</sub>.

## D. CARA PERHITUNGAN EMISI GRK DI SEKTOR INDUSTRI

Cara perhitungan emisi GRK di sektor industri dilakukan melalui beberapa tahapan.

### 1. Tahap Persiapan

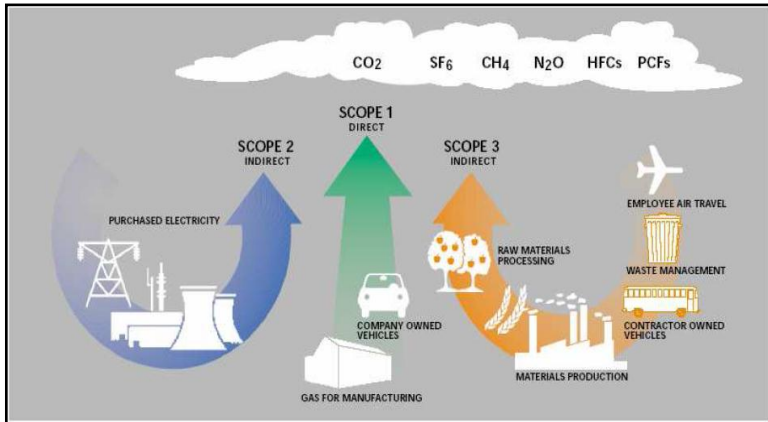
Persiapan perhitungan emisi GRK dari sektor industri diawali dengan identifikasi ruang lingkup emisi dari industri terkait (**Gambar 1**), sebagai berikut :

Lingkup 1: Semua emisi langsung yang dihasilkan dibawah kendali perusahaan sesuai batas manajemen. Termasuk didalamnya, emisi yang dihasilkan oleh proses kimia, unit transportasi, refrigerator dan sistem pendingin.

Lingkup 2: Emisi pada lingkup 1 ditambah emisi tidak langsung yang berasal dari listrik, uap (steam), panas (heat) yang dibeli dari pihak lain. Dalam hal ini faktor emisi yang digunakan untuk listrik yang dibeli, tidak memperhitungkan *distribution loss*.

Lingkup 3: Emisi tidak langsung yang tidak dibawah kendali perusahaan, misalnya emisi yang diakibatkan oleh aktivitas distribusi produk,

kegiatan yang disub kontrakkan dan kendaraan yang digunakan dalam pengendalian limbah.



**Gambar 1.** Klasifikasi emisi

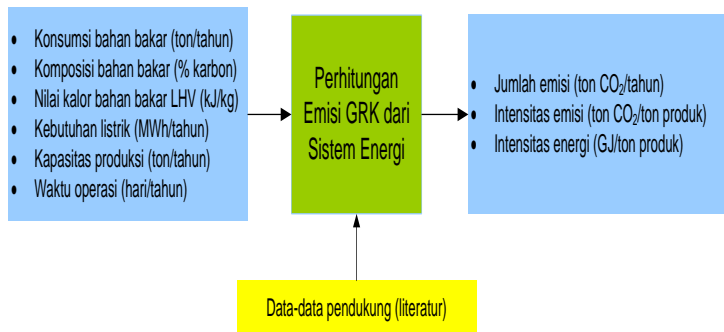
## 2. Tahap Perhitungan

Untuk melaksanakan tahap perhitungan emisi terdapat 6 langkah utama, yaitu :

- Identifikasi sumber emisi
- Seleksi pendekatan perhitungan
- Memilih faktor emisi
- Pengumpulan data
- Menetapkan alat bantu perhitungan
- Menyampaikan data dari level satuan operasi ke level korporat (jika diperlukan)

Ada dua cara perhitungan yang bisa dilakukan, yaitu perhitungan berdasarkan stoikhiometri reaksi dan neraca massa suatu proses. Cara kedua, perhitungan dilakukan berdasarkan faktor yang sudah terdokumentasi. Faktor ini sebenarnya adalah rasio yang digunakan untuk menghubungkan emisi terhadap pengukuran aktivitas suatu sumber emisi. Jumlah emisi GRK dari sektor industri dilaporkan dengan mengkompilasi dan menjumlahkan penggunaan bahan bakar dan selanjutnya dikonversikan menjadi emisi CO<sub>2</sub> dengan menggunakan faktor emisi.

## 2.1 Perhitungan Emisi GRK dari Energi



**Gambar 2.** Skema Neraca Massa Sistem (Emisi GRK dari Energi)



### a. Metode Neraca Massa

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{laju bahan bakar} \times \%C \text{ bahan bakar} \times \\ 44/12 \times \text{waktu operasi} \times 24$$

(pers. 1)

$$\begin{array}{ll} \text{ton/tahun} & \text{ton/jam} \\ \text{hari/tahun} & \text{jam/hari} \end{array}$$

### b. Metode Faktor Emisi IPCC

$$E = A \times EF$$

$$= \text{energi bahan bakar (TJ)} \times EF(\text{kg/TJ})$$

(pers. 2)

### Langkah-langkah perhitungan

1. Perhitungan *Low Heating Value* (LHV)/ *Net Caloric Value* (NCV) bahan bakar

2. Perhitungan kandungan energi bahan bakar

$$\text{Energi bahan bakar} = \text{LHV} \times \text{laju alir bahan bakar} \times \\ \text{waktu operasi}$$

3. Perhitungan emisi CO<sub>2</sub> pada pers. 2

4. Perhitungan emisi dalam CO<sub>2</sub> ekivalen

$$E = \sum E_{\text{CO}_2} + \sum E_{\text{CH}_4} \times 21 + \sum E_{\text{N}_2\text{O}} \times 310 \quad \text{satuan CO}_2 \\ \text{ekivalen}$$

(pers.3)

**Tabel 2.** Faktor Emisi (EF)

Bahan bakar	Faktor Emisi (ton CO <sub>2</sub> /TJ)			NCV (TJ/Gg)	%C
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O		
Gas alam	56.100	1	0,1	48	73,4%
LPG	63.100	1	0,1	47,3	81,4%
Biodiesel	70.800	3	0,6	27	52,1%
Jet Kerosene	71.500	3	0,6	44,1	86,0%
Kerosen lainnya	71.900	3	0,6	43,8	85,9%
Minyak diesel	74.100	3	0,6	43	86,9%
Minyak residu	77.400	3	0,6	40,4	85,3%
Batubara antrasit	98.300	10	1,5	26,7	71,6%
Batubara bituminous	94.600	10	1,5	25,8	66,6%
Batubara sub-bituminous	96.100	10	1,5	18,9	49,5%
Lignit	101.000	10	1,5	11,9	32,8%
Kayu/limbah kayu	112.000	30	4	15,6	47,7%
Biomassa padat lainnya	100.000	30	4	11,6	31,6%
Black liquor	95.300	3	2	11,8	30,7%
Coke	107.000	10	1,5	28,2	82,3%

### 2.1.1. Perhitungan Emisi berdasarkan penggunaan listrik yang dibeli dari luar pabrik (*electricity purchase*)

Perhitungan emisi berdasarkan penggunaan listrik yang dibeli dari luar pabrik (*electricity purchase*) dilakukan dengan mengalikan jumlah penggunaan listrik dengan faktor emisi sesuai sistem ketenagalistrikan di daerah tersebut (**Tabel 3**).

**Tabel 3.** Faktor Emisi Sistem Ketenagalistrikan

<b>Sistem Ketenagalistrikan</b>	<b>Baseline Faktor Emisi (kgCO<sub>2</sub>/kWh)</b>	<b>Tahun</b>
Jamali	0,725	2009
Sumatera	0,743	2008
Kaltim	0,742	2009
Kalbar	0,775	2009
Kalteng dan Kalsel	1,273	2009
Sulut, Sulteng dan Gorontalo	0,161	2009
Sulsel, Sulbar, Sultra	0,269	2009

Perhitungan ini tidak disarankan karena dikhawatirkan akan terjadi perhitungan berulang yang dilakukan oleh PLN.

### **2.1.2. Perhitungan emisi dari pembakaran bahan bakar fosil di Power Plant milik industri**

Parameter yang diperlukan untuk perhitungan emisi GRK di sektor industri yang diakibatkan oleh penggunaan energi adalah : jumlah dan jenis energi yang digunakan, faktor emisi dan faktor konversi. Faktor emisi dari berbagai sumber bahan bakar fosil dapat dilihat pada **Tabel 4** dan **Tabel 5** berikut.

**Tabel 4.** Faktor emisi CO<sub>2</sub> IPCC

<b>Bahan bakar fosil</b>	<b>Faktor Emisi Belum Terkoreksi</b>	<b>Faktor Emisi Terkoreksi</b>
	<b>kg CO<sub>2</sub>/TJ*</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>/TJ</b>
Minyak mentah	73.300	72.600
Bensin	69.300	68.600
Minyak tanah	71.900	71.200
Minyak diesel	74.100	73.400
Minyak residu	77.400	76.600
LPG	63.100	62.500
Petroleum coke	100.800	99.800
Batubata Anthrasit	98.300	96.300
Batubara Bituminous	94.600	92.700
Batubara Sub- bituminous	96.100	94.200
Lignit	101.200	99.200
Peat	106.000	104.900
Gas alam	56.100	55.900

\* Faktor-faktor ini diasumsikan karbon tidak teroksidasi

Sumber : NCASI, 2005

Dalam beberapa kasus, total emisi CO<sub>2</sub> dari semua sumber pembakaran bahan bakar fosil dapat diestimasi dari masing-masing unit pembakaran secara terpisah. Contoh, jika suatu pabrik membakar gas alam dalam beberapa boiler dan infrared dryer, emisi CO<sub>2</sub> dari

pembakaran gas alam tersebut dapat diestimasi dari total gas yang digunakan.

**Tabel 5.** Rekomendasi faktor koreksi karbon yang tidak teroksidasi dari berbagai dokumen pedoman

<b>Sumber</b>	<b>Batubara (%)</b>	<b>Minyak (%)</b>	<b>Gas Alam (%)</b>
IPCC (1997c)	98	99	99,5
Environment Canada (2004)	99	99	99,5
EPA Climate Leaders (USEPA 2003)	99	99	99,5
DOE 1605b (USDOE 1994)	99	99	99
EPA AP-42 (USEPA 1996, 1998a,b,c)	99	99	99,9

Sumber : NCASI, 2005

### **2.1.3. Emisi dari Pembakaran Bahan Bakar Biomassa**

#### **a. Emisi CO<sub>2</sub>**

CO<sub>2</sub> yang dihasilkan jika biomassa dibakar tidak termasuk dalam total emisi tetapi dilaporkan sebagai informasi tambahan.

Bahan bakar yang termasuk biomassa berdasarkan IPCC adalah sebagai berikut:

- Kayu dan sisa kayu
- Arang
- Kotoran ternak
- Limbah dan residu pertanian
- Limbah padat industri dan domestik
- Biogas
- Bio-alkohol
- Lindi hitam
- Gas landfill
- Gas lumpur

Emisi  $\text{CO}_2$  dari pembakaran peat masuk kedalam perhitungan total emisi GRK.

#### **b. Emisi $\text{CH}_4$ dan $\text{N}_2\text{O}$**

Walaupun  $\text{CO}_2$  dari pembakaran biomassa tidak termasuk emisi, tetapi emisi  $\text{CH}_4$  dan  $\text{N}_2\text{O}$  dari pembakaran biomassa kadang-kadang dimasukkan karena gas-gas ini tidak ikut dalam proses resirkulasi  $\text{CO}_2$  di atmosfer. Oleh karena itu perangkat perhitungan melengkapinya untuk membantu estimasi emisi gas-gas ini. Bila perusahaan mempunyai data spesifik yang mewakili untuk estimasi emisi  $\text{CH}_4$  dan

$N_2O$ , maka perhitungannya harus menggunakan data tersebut. Kecuali bila diperlukan menggunakan faktor emisi yang tersedia. Tabel 6 menunjukkan faktor emisi untuk  $CH_4$  dan  $N_2O$  dari pembakaran biomassa dari berbagai sumber.

**Tabel 6.** Faktor emisi  $CH_4$  dan  $N_2O$  dari pembakaran biomassa

Uraian Faktor Emisi	Kg $CH_4$ /TJ	Kg $N_2O$ /TJ	Referensi
Boiler bahan bakar limbah kayu			
Kayu dan limbah kayu dan selain biomassa dan limbah	30	4	Tier 1 – IPCC 1997c
Emisi tak terkendali di boiler <i>stoker</i> bahan bakar kayu	15	-	Tier 2 – IPCC 1997c
Rata-rata untuk pembakaran residu kayu	9,5	5,9	USEPA 2001
Rata-rata pembakaran <i>peat</i> atau kulit kayu di <i>circulating fluidized bed boiler</i>	1	8,8	Fortum 2001
Rata-rata pembakaran <i>peat</i> atau kulit kayu di <i>bubbling fluidized bed boiler</i>	2	< 2	Fortum 2001
Boiler <i>stoker</i> bahan bakar residu kayu sebelum 1980	8,2	-	NCASI 1980

Uraian Faktor Emisi	Kg CH <sub>4</sub> /TJ	Kg N <sub>2</sub> O/TJ	Referensi
Boiler stoker bahan bakar residu kayu sebelum 1980 setelah <i>wet scrubber</i>	2,7	-	NCASI 1985
Boiler bahan bakar kayu	41	3,1	JPA 2002
Kayu sebagai bahan bakar	24	3,4	AEA Tech. 2001
Limbah kayu	30	5	Swedish EPA 2004
<i>Median faktor emisi limbah</i>	12	4	
	1 - 40	1,4 – 75	EEA 2004
<i>Recovery furnaces</i>			
<i>Recovery furnace</i>	< 1	< 1	Fortum 2001
<i>Recovery furnace –lindi hitam</i>	2,5	-	JPA 2002
Lindi hitam	30	5	Swedish EPA2004
<i>Median faktor emisi untuk lindi hitam</i>	2,5	2	
	1 – 17,7	1 – 21,4	EEA 2004

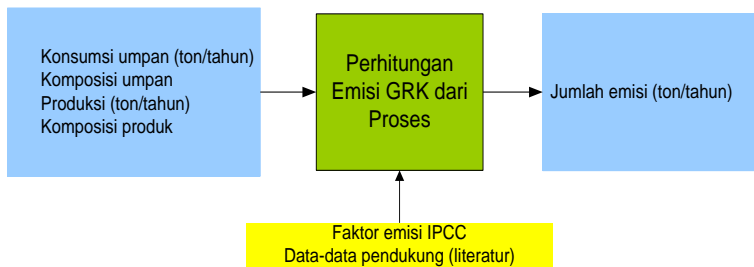
Sumber : NCASI, 2005

NCASI menyarankan untuk perhitungan pembakaran bahan bakar campuran biomassa dan fosil di boiler, diestimasi dari



total panas input ke boiler dan faktor emisi CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O untuk biomassa.

## 2.2 Perhitungan Emisi GRK dari IPPU



**Gambar 3.** Skema Neraca Massa Sistem (Emisi GRK dari IPPU)

Secara umum, perhitungan gas rumah kaca dilakukan dengan menggunakan konsep neraca massa. Untuk menyederhanakan dan mempermudah perhitungan, digunakan suatu faktor pengali yang disebut faktor emisi, yakni suatu nilai representatif yang menghubungkan kuantitas emisi yang dilepas ke atmosfer dengan aktivitas yang berkaitan dengan emisi tersebut. Perumusan emisi GRK dengan menggunakan faktor emisi dalam IPCC Guidelines 2006 adalah sebagai berikut:

$$E = A \times EF$$

(pers. 4)

Keterangan :

E = jumlah emisi

A = data aktivitas (jumlah bahan-bahan penghasil emisi)

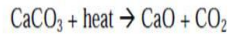
EF = faktor emisi

Perhitungan emisi GRK tersebut dapat dibagi menjadi tiga tier (tingkat), yaitu:

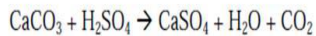
- Tier 1  
Emisi dihitung berdasarkan jumlah bahan-bahan penghasil emisi dikalikan faktor emisi standar
- Tier 2  
Emisi dihitung berdasarkan jumlah bahan-bahan penghasil emisi dikalikan faktor emisi nasional
- Tier 3  
Emisi dihitung berdasarkan bahan-bahan penghasil emisi dikalikan faktor emisi peralatan sumber emisi

Faktor emisi *default* untuk tier 1 tersedia dalam Panduan IPCC untuk setiap gas rumah kaca yang diemisikan dari ketiga sumber emisi yang bersangkutan (sistem energi, proses, dan limbah). Faktor emisi *default* ini merupakan hasil perata-rataan dari studi-studi di berbagai negara. Makin tinggi tier, makin rumit dan akurat perhitungan emisi GRK yang dilakukan.

### 2.2.1. Perhitungan Emisi GRK dari proses Kalsinasi



Source: IPCC 2006 Guidelines



Source: IPCC 2006 Guidelines

#### Neraca Massa

E = jumlah karbonat dalam bahan baku x 44/100 x faktor konversi

= laju alir bahan baku x komposisi karbonat x 44/100 x faktor konversi

(pers. 5)

#### Langkah-langkah perhitungan :

1. Perhitungan jumlah karbonat dalam bahan baku
2. Perhitungan karbon dioksida yang terbentuk

#### Tier 1. Emisi berdasarkan produksi semen.

##### Rumus 1

$$\text{Emisi } \text{CO}_2 = \left[ \sum_i (M_{ci} \cdot C_{cli}) - Im + Ex \right] \cdot EF_{dc}$$

Dimana:

Emisi CO<sub>2</sub> = Emisi CO<sub>2</sub> dari produksi semen, ton;

M<sub>ci</sub> = Berat semen tipe i yang diproduksi, ton;

C<sub>cli</sub> = Fraksi clinker semen tipe i, fraksi;

I<sub>m</sub> = Import Clinker, ton;

E<sub>x</sub> = Ekspor Clinker, ton;

EF<sub>dc</sub> = Faktor emisi clinker, ton CO<sub>2</sub>/tonclinker.

## Tier 2. Emisi berdasarkan produksi clinker

Rumus 2:

$$Emisi\ CO_2 = M_{cl} \cdot EF_{cl} \cdot CF_{ckd}$$

Dimana:

Emisi CO<sub>2</sub> = Emisi CO<sub>2</sub> dari produksi semen, ton

M<sub>cl</sub> = Berat clinker yang diproduksi, ton

EF<sub>cl</sub> = Faktor emisi clinker, ton CO<sub>2</sub>/ton clinker

CF<sub>ckd</sub> = Faktor emisi koreksi

## Tier 3:

Rumus 3:

$$CO_2\ Emissions = \sum_i (EF_i \cdot M_i \cdot F_i) - M_d \cdot C_d \cdot (1 - F_d) \cdot EF_d + \sum_k (M_k \cdot X_k \cdot EF_k)$$

Dimana:

Emisi CO<sub>2</sub> = Emisi CO<sub>2</sub> dari produksi semen, ton;

- $EF_i$  = Faktor emisi karbonat tipe i, ton CO<sub>2</sub>/ton Karbonat;
- $M_i$  = Berat karbonat tipe i yang dikonsumsi di Kiln, ton;
- $F_i$  = Fraksi kalsinasi untuk menjadi karbonat tipe i, fraksi;
- $M_d$  = Berat CKD yang tidak dapat dipakai lagi ke kiln (CKD yang hilang), ton;
- $C_d$  = Berat fraksi karbonat asli di CKD yang tidak dapat dipakai lagi ke kiln, fraksi;
- $F_d$  = Fraksi kalsinasi untuk menjadi CKD yang tidak dapat dipakai lagi ke kiln, fraksi;
- $EF_d$  = Faktor emisi karbonat yang tidak terkalsinasi di CKD yang tidak dapat dipakai lagi ke kiln, fraksi;
- $M_k$  = Berat organik atau bahan mentah *carbon-bearing nonfuel* lainnya, ton;
- $X_k$  = Fraksi total dari organik atau bahan mentah *carbon in specific nonfuel*, ton;
- $EF_k$  = Faktor emisi karogen atau bahan mentah *carbon-bearing nonfuel* lainnya, ton

## Clinker Fraction:

**TABLE 2.2**  
**CLINKER FRACTION OF BLENDED CEMENT 'RECIPES' AND OVERALL PRODUCT MIXES (BASED ON U.S. STANDARDS ASTM C-150 AND C-595; U.S. DATA MAY BE ILLUSTRATIVE FOR OTHER COUNTRIES)**

Cement Name	Symbol	Recipe	% Clinker	Notes
Portland	'PC'	100% PC	95 - 97 90 - 92	Some U.S. states allow inclusion of 3% GGBFS. Latest standards allow inclusion of $\leq$ 5% ground limestone.
Masonry	'MC'	2/3 PC	64	varies considerably
Slag-modified portland	I(SM)	slag < 25%	>70 - 93	
Portland BF Slag	IS	slag 25-70%	28 - 70	
Portland pozzolan	IP and P	pozz 15-40%	28 - 79/81	base is PC and/or IS
Pozzolan-modified portland	I(PM)	pozz <15%	28 - 93/95	base is PC and/or IS
Slag cement	S	slag 70+%	<28/29	can use CaO instead of clinker

Product Mix (PC/blend)**	PERCENT CLINKER IN THE PRODUCT MIX					
	Percent Additives (Pozzolan + Slag) in the Blended Cement*					
	0%	10%	20%	30%	40%	75%
100/0	95 - 97	0	0	0	0	0
0/100	0	85.5	76	66.5	57	23.8
15/85	14.2	86.9	78.9	70.8	62.7	26.4
25/75	23.8	87.9	80.8	73.6	66.5	41.6
30/70	28.5	88.35	81.7	75.1	68.4	45.2
40/60	38	89.3	83.6	77.9	72.2	52.3
50/50	47.5	90.3	85.5	80.8 ***	76	59.4
60/40	57	91.2	87.4	83.6	79.8	66.5
70/30	66.5	92.2	89.3	86.5	83.6	73.6
75/25	71.1	92.6	90.1	87.8	85.4	77.1
85/15	80.8	93.6	92.2	90.7	89.3	84.3

**Notes:**

\* The inclusion of slag allows for the blend to be portland and/or portland blast furnace slag cement.

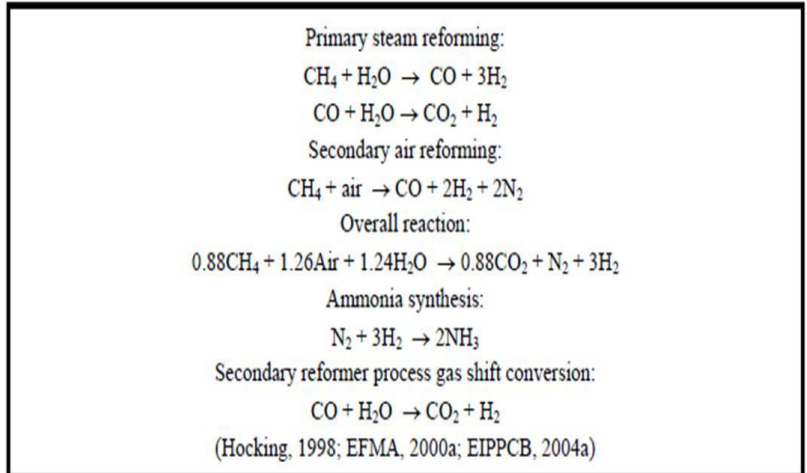
Except for 100 percent portland range itself, all other portland assumed to be 95 percent clinker.

\*\* Product Mix refers to range of products of a country, e.g., 75 percent of total production is portland and the rest is blended.

It is assumed that all the hydraulic cement is portland and/or blended, or pure pozzolan. Masonry would approximate a product mix of 60/40 to 70/30 portland/blended, for the 75 percent additive column. Other hydraulic cements (e.g., aluminous) are assumed to be zero.

\*\*\* Example: Clinker fraction where a country's cement output is 50 percent portland cement and 50 percent blended cement, and the blended cement contains 70 percent portland cement and 30 percent additives.

## 2.2.2. Steam reforming dan CO<sub>2</sub> absorber pada produksi amoniak



### Tier 1. Emisi berdasarkan produksi amoniak

Rumus 4:

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

Dimana:

$E_{\text{CO}_2}$  = Emisi CO<sub>2</sub>, kg;

AP = Produksi amoniak, ton;

FR = Kebutuhan bahan bakar per unit output, GJ/ton;

CCF = Faktor kadar karbon dari bahan bakar, kg C/GJ;

COF = Faktor oksidasi karbon dari bahan bakar, fraksi;

$R_{\text{CO}_2}$  = CO<sub>2</sub> recovered (produksi urea), kg.

## Tier 2. Emisi berdasarkan kebutuhan bahan bakar

Rumus 5:

$$TFR_i = \sum_j (AP_{ij} \cdot FR_{ij})$$

Dimana:

$TFR_i$  = Total kebutuhan bahan bakar untuk bahan bakar tipe  $i$ ,  
GJ

$AP_{ij}$  = Produksi amoniak menggunakan bahan bakar tipe  $i$   
pada proses tipe  $j$ , ton

$FR_{ij}$  = Kebutuhan bahan bakar per unit output untuk bahan  
bakar tipe  $i$  pada proses tipe  $j$ , GJ/ton

Rumus 6:

$$E_{CO_2} = \sum_i (TFR_i \cdot CCF_i \cdot COF_i \cdot 44/12) - R_{CO_2}$$

Dimana:

$E_{CO_2}$  = Emisi  $CO_2$ , kg;

$FR_i$  = Kebutuhan bahan bakar per unit output tipe  $i$ , GJ/ton;

$CCF_i$  = Faktor kadar karbon dari bahan bakar tipe  $i$ , kg C/GJ;

$COF_i$  = Faktor oksidasi karbon dari bahan bakar tipe  $i$ , fraksi;

$R_{CO_2}$  =  $CO_2$  recovered (produksi urea dan  $CO_2$  capture  
storage), kg.



### Tier 3. Emisi berdasarkan kebutuhan bahan bakar

Rumus 7:

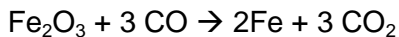
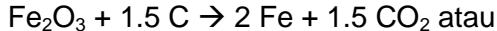
$$TFR_i = \sum_n TFR_{in}$$

Dimana:

$TFR_i$  = Total kebutuhan bahan bakar untuk bahan bakar tipe  $i$ , GJ

$TFR_{in}$  = Total kebutuhan bahan bakar untuk bahan bakar tipe  $i$  yang digunakan oleh *plant*  $n$ , GJ

#### 2.2.3. Reaksi reduksi bijih besi



#### **Neraca Massa**

Jumlah emisi  $\text{CO}_2$  didasarkan pada perhitungan stoikiometri reaksi-reaksi di atas.

#### **Tier 1**

$$E = A \times EF \times 44/12$$

= laju alir umpan x C content (Tabel 6) x 44/12

(pers. 6)

**Tabel 7.** Material dalam Bahan Baku Pembuatan Besi dan Baja

<b>Process Materials</b>	<b>C content (kg C/kg)</b>
Blast Furnace Gas	0.17
Charcoal	0.91
Coal	0.67
Coal Tar	0.62
Coke	0.83
Coke Oven Gas	0.47
Coking Coal	0.73
Direct Reduced Iron	0.02
Dolomite	0.13
EAF Carbon Electrodes	0.82
EAF Charge Carbon	0.83
Fuel Oil	0.86
Gas Coke	0.83
Hot Briquetted Iron	0.02
Limestone	0.12
Natural Gas	0.73
Oxygen Steel Furnace Gas	0.35
Petroleum Coke	0.87
Purchased Pig Iron	0.04
Scrap Iron	0.04
Steel	0.01

### **2.3. Perhitungan Emisi GRK dari Limbah**

Metode untuk menghitung emisi CH<sub>4</sub> dari penanganan air limbah memerlukan tiga langkah dasar :

#### **Langkah 1 – Tentukan total jumlah materi organik dalam tiap sistem penanganan air limbah**

Faktor utama dalam menentukan potensi terbentuknya CH<sub>4</sub> dalam air limbah adalah jumlah bahan organik terdegradasi dari air limbah. Parameter yang paling sering digunakan untuk mengukur *degradable organic component* (DC) dari air limbah adalah BOD (Biochemical Oxygen Demand) dan COD (Chemical Oxygen Demand). COD adalah parameter yang direkomendasikan untuk memperkirakan DC dalam air limbah. Indikator DC, biasanya diindikasikan dalam unit jumlah massa DC per unit volume (seperti kg COD per m<sup>3</sup> air limbah) dikalikan dengan volume sumber air limbah (seperti industri atau masyarakat) untuk memperkirakan jumlah total air limbah organik yang diproduksi.

#### **Langkah 2 – Perkiraan faktor emisi untuk sistem penanganan air limbah dalam kg CH<sub>4</sub>/kg DC.**

Faktor emisi tergantung pada sebagian air limbah

yang dikelola oleh tiap metode penangan air limbah, kapasitas maksimum air limbah untuk memproduksi CH<sub>4</sub>, dan karakteristik proses penanganan air limbah (terutama, sampai sejauh mana sifatnya anaerobic).

**Langkah 3 – Kalikan faktor emisi untuk tiap sistem penangan air limbah dengan jumlah total organik material dalam air limbah yang diproduksi tiap sistem, dan jumlahkan dengan sistem air limbah untuk memperkirakan total emisi CH<sub>4</sub>.**

### **2.3.1 Pendekatan Untuk Memperkirakan Emisi Methan dari Air Limbah dan Penanganan Endapan Air Limbah**

Pendekatan ini diadaptasi dari Doorn and Ecklund (1995) dan Lexmond and Zeeman (1995).

#### **Langkah 1 – Total Limbah dan Lumpur Organik**

Potensi pembentukan gas rumah kaca dari limbah dipicu oleh muatan organik dari aliran limbah dan volume limbah. Berikut adalah metode untuk menghitung total organic wastewater (TOW). Data yang dibutuhkan adalah :

1. Indikator Degradable organic component (DC) dalam kg DC per m<sup>3</sup> limbah/lumpur industri yang

diproduksi industri per unit produk. Untuk air limbah industri dan sungai lumpur COD adalah indikator DC yang tepat. Data mengenai nilai COD seharusnya tersedia untuk beberapa negara. Disarankan menggunakan informasi spesifik dari masing – masing negara, bila ada. Nilai standar COD disediakan untuk industri yang berbeda-beda per wilayah dalam Tabel 6-6. (Walaupun nilai standar dalam Tabel 6-6 disediakan per wilayah, dalam kebanyakan kasus nilai standar adalah berdasarkan perkiraan untuk satu negara dalam tiap wilayah);

2. Air limbah yang diproduksi per unit produk oleh industri dalam  $m^3/\text{ton}$  produk. Nilai standar disediakan pada Table 6-6. (Walaupun nilai standar dalam Table 6-6 disediakan per wilayah, dalam kebanyakan kasus nilai standar adalah berdasarkan perkiraan untuk satu Negara dalam tiap wilayah);
3. Total output industri dalam ton per tahun;
4. Bagian dari COD yang dibuang sebagai endapan.

Persamaan 7 berikut menyajikan perhitungan total air limbah organik ( $TOW_{ind}$ ) untuk industri tertentu.

$$TOW_{ind} \text{ (kg COD/yr)} = W \times O \times D_{ind} \times (1 - DS_{ind})$$

(pers. 7)

Persamaan 8 menyajikan perhitungan total lumpur organik ( $TOS_{ind}$ ) untuk industri tertentu.

$$TOS_{ind} \text{ (kg COD/yr)} = W \times O \times D_{ind} \times DS_{ind}$$

(pers. 8)

dimana:

$TOW_{ind}$  = Total air limbah organik industri, kg COD/yr;

$TOS_{ind}$  = Total lumpur organik industri, kg COD/yr;

$W$  = Konsumsi air limbah, m<sup>3</sup>/ton produk;

$O$  = total output, ton/yr;

$D_{ind}$  = komponen organik terdegradasi industri, kg COD/ m<sup>3</sup>.

$DS_{ind}$  = fraksi komponen organik terdegradasi industry terhapus lumpur.

## Langkah 2 – Faktor Emisi

Untuk menghitung faktor emisi setiap tipe air limbah dan lumpur, rata-rata tertimbang dari *methane conversion factors* (MCF) dihitung menggunakan estimasi air limbah yang dikelola tiap metode penanganan air limbah. Rata-rata MCF kemudian dikalikan dengan kapasitas maksimum untuk memproduksi methane ( $B_O$ ) dari tiap jenis air limbah.

*Maximum methane producing capacity (B<sub>0</sub>):* Jumlah maksimum CH<sub>4</sub> yang dapat diproduksi dari sejumlah air limbah atau lumpur. Nilai B<sub>0</sub> bergantung pada komposisi air limbah atau lumpur dan nilai penguraiannya. Nilai default untuk B<sub>0</sub> adalah 0.25 kg CH<sub>4</sub>/ kg BOD untuk air limbah dan lumpur. (Lexmond et al., 1995).

*Fraction of wastewater treated by certain handling system (WS%):* Terdapat 2 jenis WS% yaitu aerobic dan anaerobic. Suatu negara dapat menggunakan WS% jika tersedia. Nilai default WS% untuk setiap negara tersedia pada table di bawah.

*Fraction of sludge treated by certain systems (SS%):* Terdapat 2 jenis SS% yaitu aerobic dan anaerobic. Suatu negara dapat menggunakan SS% jika tersedia.

*Methane conversion factor (MCF):* Jumlah metana yang diemisikan tergantung pada factor konvensi CH<sub>4</sub>. Nilai MCF bervariasi mulai dari 0,0 untuk system aerobik sampai 1,0 untuk system anaerobik.

Karena penanganan aerobik dan anaerobik adalah satu-satunya sistem penanganan yang dipertimbangkan, tingkat konversi CH<sub>4</sub> dapat digunakan untuk menggambarkan range yang luas antara sistem

penanganan aerobic dan anaerobic.

Persamaan 9 menyajikan perhitungan faktor emisi untuk air limbah:

$$EF_i = B_{oi} \times \sum (WS_{ix} \times MCF_x)$$

(pers. 9)

dimana:

$EF_i$  = Faktor emisi air limbah, kg  $CH_4$ / kg DC;

$B_{oi}$  = Kapasitas maksimum produksi metana air limbah tipe I (kg  $CH_4$ /kg DC)

$WS_{ix}$  = fraksi air limbah tipe i menggunakan penanganan air limbah sistem x;

$MCF_x$  = faktor konversi metana dari sistem penanganan air limbah x.

Persamaan 10 menyajikan perhitungan faktor emisi untuk lumpur.

$$EF_i = B_{oj} \times \sum (SS_{iy} \times MCF_y)$$

(pers. 10)

dimana:

$EF_i$  = Faktor emisi lumpur, kg  $CH_4$ / kg DC;

$B_{oj}$  = Kapasitas maksimum produksi metana lumpur tipe j (kg  $CH_4$ /kg DC);

$SS_{iy}$  = fraksi lumpur tipe j menggunakan penanganan lumpur sistem y;



$MCF_y$  = faktor konversi metana dari tiap sistem penanganan lumpur y.

### Langkah 3 – Emisi Air Limbah

Untuk memperkirakan total emisi dari air limbah, faktor emisi yang dipilih dikalikan dengan produksi limbah organik yang berhubungan dan ditambahkan. Kurangi jumlah  $CH_4$ , jika ada, yang diselamatkan dan tidak dilepas ke atmosfer untuk tiap metode penanganan. Jika tidak ada data yang tersedia, asumsi standar adalah jumlahnya nol. Tambahkan hasil dari tiap metode penanganan untuk menentukan total emisi  $CH_4$  dari limbah. Dalam bentuk persamaan, estimasi total emisi  $CH_4$  dari penanganan limbah sebagai berikut :

$$WM = \sum_i (TOW_i \times EF_i - MR_i)$$

(pers. 11)

dimana:

$WM$  = Total emisi metana air limbah , kg  $CH_4$ ;

$TOW_i$  = Total limbah organik pada air limbah tipe i, kg DC/yr;

$EF_i$  = Faktor emisi air limbah tipe i, kg  $CH_4$ / kg DC;

$MR_i$  = Total jumlah methane recovered air limbah tipe i, kg  $CH_4$ .

#### **Langkah 4 – Emisi Lumpur**

Untuk mengestimasi total emisi dari lumpur, faktor emisi yang dipilih dikalikan dengan produksi lumpur organik yang berhubungan dan ditambahkan. Kurangi dengan jumlah CH<sub>4</sub>, jika ada, yang diselamatkan dan tidak dilepas ke atmosfer untuk tiap metode penanganan. Jika tidak ada data yang tersedia, asumsi standar adalah jumlahnya nol. Tambahkan hasil dari tiap metode penanganan untuk menentukan total emisi CH<sub>4</sub> dari limbah. Dalam bentuk persamaan, estimasi total emisi CH<sub>4</sub> dari penanganan lumpur sebagai berikut :

$$SM = \sum_j (TOS_j \times EF_j - MR_j)$$

(pers. 12)

dimana:

SM = Total emisi metana lumpur, kg CH<sub>4</sub>;

TOS<sub>j</sub> = Total limbah organik pada lumpur tipe j, kg DC/yr;

EF<sub>j</sub> = Faktor emisi lumpur tipe j, kg CH<sub>4</sub>/ kg DC;

MR<sub>j</sub> = Total jumlah methane recovered air limbah tipe i,  
kg CH<sub>4</sub>.

#### **Langkah 5 - Total Emisi**

Total emisi dari air limbah dan lumpur dapat ditentukan dengan menambahkan hasil dari langkah 3 dan 4. Hal ini dinyatakan sebagai berikut dalam persamaan 13:

$$TM = WM + SM$$

(pers. 13)

dimana:

TM = Total metana dari penanganan air limbah dan lumpur, kg CH<sub>4</sub>;

WM = Total metana dari air limbah, kg CH<sub>4</sub>

SM = Total metana dari lumpur, kg CH<sub>4</sub>;

## **E. PENUTUP**

Untuk mengurangi dampak negatif dari fenomena perubahan iklim, perlu menghitung jumlah emisi karbon (CO<sub>2</sub>) dari kegiatan industri. Perhitungan karbon untuk industri meliputi beberapa kegiatan, antara lain :

- Identifikasi ruang lingkup emisi dari industri
- Identifikasi sumber-sumber emisi pada proses di industri
- Identifikasi sumber-sumber emisi pada proses pembakaran
- Identifikasi sumber-sumber emisi pada pengelolaan lingkungan, dan
- Penetapan metode perhitungan emisi yang digunakan

Hasil perhitungan dapat digunakan sebagai tolok ukur perencanaan pengembangan industri dan untuk mengetahui keberlanjutan kegiatan industri.

## DAFTAR PUSTAKA

- 2007.”*Carbon Dioxide Emission Reduction Technologies and Measures in US Industrial Sector*” Center for Energy and Environmental Policy, Final Report, Korea Environment Institute, February.
- \_\_\_\_\_ 1997., *Energy efficiency Improvement and Cost Saving opportunities for the Pulp and Paper Industry*”, Environmental Energy Technologies Division,
- Adams, Terry N., 1997. “*Kraft Recovery Boilers*”, Tappi Press, Atlanta, 1997
- Francois, A. 2001. “ *Guide for Computing CO2 emissions Related to Energy Use*” Research Scientist, CANMET Energy Diversification research Laboratory.
- Gavrilescu, D. 2008. “*Energy from Biomass in Pulp and Paper*” Environmental Engineering and Management Journal, September/October 2008, Vol.7.No.5, 537-546.
- Gielen, D.; Tam,C. 2006. “*Energy Use, Technologies and CO2 Emissions in the Pulp and Paper Industry*” WBCSD, IEA, Paris, 9 October 2006.

ICFPA, 2005, Version 1.1 July 8, "*Calculation Tools for Estimating Greenhouse Gas Emissions from Pulp and Paper Mills*" NCASI-USA

"NCASI, 2005. *Calculation Tools for Estimating Greenhouse Gas Emissions from Pulp and paper Mills*. Research Triangle Park.NC.USA.

NCASI-IFC, 2009. *A Calculation Tool for Characterizing the Emissions from the Forest Products Value Chain*, Including Forest Carbon.

Stultz, S.C., and J.B. Kitto., 2000. "*Steam / Its Generation and Use*". The Babcock & Wilcox Company

US EPA 2008. *Climate Leaders Greenhouse Gas Inventory Protocol Offset Project Methodology for landfill methane collection and combustion*. Climate Protection Partnerships Division. Tersedia pada <http://www.epa.gov/climateleaders/resources/optional-module.html>

US EPA, 2010. "*Available and Emerging Technologies for Reducing Greenhouse Gas Emissions from the Pulp and Paper Manufacturing Industry*" October'

Valzano. F; Jackson M., Campbell A.; 2001. *Greenhouse Gas Emissions from Composting Facilities*. ROU. The University of New South Wales. Australia.

## LAMPIRAN

### Tabel Konversi Satuan Untuk Energi

*Table 1: Energy Contents*

Electricity	Hydro	3,6	MJ/kWh
	Nuclear (typical value)	11,6	MJ/kWh
Steam		2,33	MJ/kg
Natural gas		37,23	MJ/m <sup>3</sup>
Ethane (liquid)		18,36	MJ/l
Propane (liquid)		25,53	MJ/l
Coal	Anthracite	27,7	MJ/kg
	Bituminous	27,7	MJ/kg
	Sub-bituminous	18,8	MJ/kg
	Lignite	14,4	MJ/kg
	Average domestic use	22,2	MJ/kg
Petroleum products	Aviation gasoline	33,62	MJ/l
	Motor gasoline	34,66	MJ/l
	Kerosene	37,68	MJ/l
	Diesel	38,68	MJ/l
	Light fuel oil (no.2)	38,68	MJ/l
	Heavy fuel oil (no.6)	41,73	MJ/l

*Table 2: Conversion factors for energy*

1 Gigajoule (GJ)	= 0,001	Terajoule (TJ)
	= 1000	Megajoules (MJ)
	= $1 \times 10^9$	Joules (J)
	= 277,8	kilowatt-hours (kWh)
	= 948170	BTU



**Table 3: Miscellaneous conversion factors**

1 pound (lb)	= 0,454	kilogram (kg)
1 tonne	= 1000	kilograms (kg)
1 m <sup>3</sup>	= 1000	litres (l)
1 imperial gallon	= 4,547	litres (l)
1 US gallon	= 3,785	litres (l)
1 cubic foot (pi <sup>3</sup> )	= 0,02832	m <sup>3</sup>
1 tera	= 1×10 <sup>12</sup>	
1 giga	= 1×10 <sup>9</sup>	
1 mega	= 1×10 <sup>6</sup>	

**Table 4: Emission factors for fuels**

		CO <sub>2</sub> (t/TJ)	N <sub>2</sub> O (kg/TJ)	CH <sub>4</sub> (kg/TJ)
<b>Natural Gas</b>	Commercial boiler	49,68	0,52	1,1
	Industrial boiler	49,68	0,52	1,3
		CO <sub>2</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	N <sub>2</sub> O (kg/m <sup>3</sup> )	CH <sub>4</sub> (kg/m <sup>3</sup> )
<b>Light Oil</b>	Commercial boiler	2830	0,013	0,026
	Industrial boiler	2830	0,013	0,006
<b>Heavy Oil</b>	Commercial boiler	3090	0,013	0,06
	Industrial boiler	3090	0,013	0,12
<b>Propane (LPG)</b>	LPG	1530	0,23	0,03

### Contoh Perhitungan :

Suatu pabrik menggunakan boiler kecil dan *infrared dryer*. Pabrik mencatat pemakaian gas alam dalam setahun sebesar 17.000.000 m<sup>3</sup>. Pabrik memutuskan untuk mengestimasi emisi dari semua konsumsi gas alam. Pabrik tidak memiliki data kandungan karbon dalam gas alam. Tetapi menggunakan faktor emisi IPCC yaitu 55,9 ton CO<sub>2</sub>/TJ. Pabrik menggunakan faktor emisi CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O dari Tabel 4.6 (5 kg CH<sub>4</sub>/TJ dan 0,1 kg N<sub>2</sub>O/TJ). Pabrik memperkirakan NCV gas alam sebesar 52 TJ/kiloton dan densitinya 0,673 kg/m<sup>3</sup>.

Estimasi emisi dalam setahun adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Emisi CO}_2 \text{ (ton CO}_2\text{/th)} &= (E_k) (FE_{\text{CO}_2}) \\ &= Q \times \rho \times \text{NCV} \times FE_{\text{CO}_2}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E_k &= (17 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ gas/th}) \times (0,673 \text{ kg/m}^3) \times (52 \text{ TJ/kiloton}) \\ &= 595 \text{ TJ/th}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Emisi CO}_2 \text{ (ton CO}_2\text{/th)} &= (595 \text{ TJ/th}) \times (55,9 \text{ ton CO}_2\text{/TJ}) \\ &= 33.300 \text{ ton CO}_2\text{/th}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Emisi CH}_4 \text{ (ton CH}_4\text{/th)} &= (E_k) (FE_{\text{CH}_4}) \\ &= (595 \text{ TJ /th}) \times (5 \text{ kg})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CH}_4/\text{TJ} &= 2.975 \text{ kg CH}_4/\text{th} \\ &= 2,975 \text{ ton CH}_4/\text{th} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisi CH}_4 \text{ (ton CO}_2 \text{ eq./th)} &= \text{Emisi CH}_4 \text{ (ton CH}_4/\text{th)} \\ &\quad (\text{GWP}_{\text{CH}_4}) \\ &= (2,975 \text{ ton CH}_4/\text{th}) (21) \\ &= 62,5 \text{ ton CO}_2\text{-eq./th} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisi N}_2\text{O (ton N}_2\text{O/th)} &= (E_k) (\text{FE}_{\text{N}_2\text{O}}) \\ &= (595 \text{ TJ/th}) (0,1 \text{ kg N}_2\text{O/TJ}) \\ &= 59,5 \text{ kg N}_2\text{O/th} \\ &= 0,06 \text{ ton N}_2\text{O/th} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisi N}_2\text{O (ton CO}_2 \text{ eq./th)} &= \text{Emisi N}_2\text{O (ton N}_2\text{O/th)} \\ &\quad (\text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}}) \\ &= (0,06 \text{ ton N}_2\text{O/th}) (310) = 18 \\ &\quad \text{ton CO}_2\text{-eq./th} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total emisi GRK} &= \text{Emisi CO}_2 + \text{Emisi CH}_4 + \text{Emisi N}_2\text{O} \\ &= 33.300 + 62,5 + 18 \\ &= 33.381 \text{ ton CO}_2\text{-eq./th} \end{aligned}$$

### ***Kasus 1: Emisi CO<sub>2</sub> berdasarkan kandungan karbon bahan bakar***

Kandungan karbon batu bara yang dibakar di boiler (80,1% w/w). Pabrik memutuskan menggunakan koreksi IPCC untuk kadar karbon yang tidak terbakar dalam coal-fired boiler (karbon tidak terbakar 2%). Pabrik memutuskan menggunakan IPCC untuk faktor emisi untuk CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O dari Tabel 4.7 dan faktor emisi dry bottom, wall fired boilers burning pulverized bituminous coal menurut IPCC adalah 0,7 kg CH<sub>4</sub>/TJ NCV dan 1,6 kg N<sub>2</sub>O/TJ NCV. Pabrik mengasumsikan bahwa NCV untuk batubara 5% lebih rendah dari GCV.

Emisi CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, dan N<sub>2</sub>O setahun diestimasi sebagai berikut.

#### **Emisi CO<sub>2</sub> (ton CO<sub>2</sub>/th) :**

$$\begin{aligned} &= m \times \text{kandungan karbon batubara} \times (1 - \% \text{ karbon tidak terbakar}) \times (\text{BM CO}_2/\text{BM karbon}) \\ &= (370.000 \text{ ton/th batubara}) \times (0,801 \text{ ton karbon/ton batubara}) \times (0,98 \text{ ton karbon terbakar}) \times (44 \text{ mg CO}_2 / 12 \text{ mg carbon}) \\ &= 1.065.000 \text{ ton CO}_2/\text{th} \end{aligned}$$

**Emisi CH<sub>4</sub> (ton CH<sub>4</sub>/th) :**

$$\begin{aligned} &= (E_k) (FE_{CH_4}) = (m \times NCV)(FE_{CH_4}) \\ &= 370.000 \text{ tons batubara/th} (2.000 \text{ lb/1 ton}) (13.000 \text{ Btu} \\ &\quad \text{GCV/lb}) (0,95 \text{ NCV}) (1.055 \text{ J/Btu}) (1\text{TJ}/10^{12}\text{J}) (0,7 \text{ kg} \\ &\quad \text{CH}_4/\text{TJ NCV}) \\ &= 6.750 \text{ kg CH}_4/\text{th} \\ &= 75 \text{ ton CH}_4/\text{th} \end{aligned}$$

**Emisi CH<sub>4</sub> (ton CO<sub>2</sub>-eq./th) :**

$$\begin{aligned} &= \text{Emisi CH}_4 \text{ (ton CH}_4/\text{th) (GWP}_{CH_4}) \\ &= (6,75 \text{ ton CH}_4/\text{th}) (21) \\ &= 142 \text{ ton CO}_2\text{-eq./th} \end{aligned}$$

**Emisi N<sub>2</sub>O (ton N<sub>2</sub>O/th) :**

$$\begin{aligned} &= (E_k) (FE_{N_2O}) \\ &= (m \times NCV)(FE_{N_2O}) \\ &= (370.000 \text{ ton batubara/th}) (2.000 \text{ lb/1 ton}) (13.000 \text{ Btu} \\ &\quad \text{GCV/lb}) (0,95 \text{ NCV}) (1.055 \text{ J/Btu}) (1\text{TJ}/10^{12}\text{J}) (1,6 \text{ kg} \\ &\quad \text{N}_2\text{O}/\text{TJ NCV}) \\ &= 15,4 \text{ ton N}_2\text{O}/\text{th} \end{aligned}$$

**Emisi N<sub>2</sub>O (ton CO<sub>2</sub>-eq./th) :**

$$\begin{aligned} &= \text{Emisi N}_2\text{O (ton N}_2\text{O/th) (GWP}_{N_2O}) \\ &= (15,4 \text{ ton N}_2\text{O/th}) (310) \\ &= 4.780 \text{ ton CO}_2\text{-eq./th} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total emisi GRK} &= \text{Emisi CO}_2 + \text{Emisi CH}_4 + \text{Emisi N}_2\text{O} \\
 &= 1.065.000 + 142 + 4.780 \\
 &= 1.070.000 \text{ ton CO}_2\text{-eq./th}
 \end{aligned}$$

***Kasus 2: Emisi CO<sub>2</sub> berdasarkan faktor emisi***

Pabrik tidak mempunyai data kandungan karbon batubara yang dibakar diboiler. Pabrik menggunakan faktor emisi menurut IPCC untuk CO<sub>2</sub> adalah 94,6 ton CO<sub>2</sub>/TJ NCV. Pabrik memutuskan menggunakan koreksi IPCC untuk kadar karbon yang tidak terbakar dalam coal-fired boiler (2% karbon tidak terbakar).

**Emisi CO<sub>2</sub> yang belum terkoreksi :**

**Emisi CO<sub>2</sub> (ton CO<sub>2</sub>/th)**

$$\begin{aligned}
 &= (E_k) (FE_{\text{CO}_2}) = m \times \text{NCV} \times FE_{\text{CO}_2} \\
 &= 370.000 \text{ tons batubara/th (2.000 lb/1 ton) (13.000 Btu} \\
 &\quad \text{GCV/lb) (0,95)(1.055 J/Btu) (1TJ/10}^{12}\text{J) (94,6 ton CO}_2 \text{/TJ} \\
 &\quad \text{NCV) = } 912 \times 10^3 \text{ ton CO}_2\text{/th}
 \end{aligned}$$

**Emisi CO<sub>2</sub> terkoreksi 2% karbon tak terbakar :**

$$\begin{aligned}
 &= (912 \times 10^3 \text{ ton CO}_2\text{/th) (1 - 0,02) \\
 &= 894 \times 10^3 \text{ ton CO}_2\text{/th}
 \end{aligned}$$

**Emisi CH<sub>4</sub> (ton CH<sub>4</sub>/th) :**

$$= (E_k) (FE_{\text{CH}_4})$$

$$\begin{aligned}
&= (m \times \text{NCV})(\text{FE}_{\text{CH}_4}) \\
&= (370.000 \text{ tons batubara/th}) (2.000 \text{ lb/1 ton}) (13.000 \text{ Btu GCV/lb}) (0,95 \text{ NCV/GCV}) (1.055 \text{ J/Btu}) (1\text{TJ}/10^{12}\text{J}) (0,7 \text{ kg CH}_4/\text{TJ NCV}) = 6.750 \text{ kg CH}_4/\text{th} = 6,75 \text{ ton CH}_4/\text{th}
\end{aligned}$$

**Emisi CH<sub>4</sub> (ton CO<sub>2</sub>-eq./th) :**

$$\begin{aligned}
&= \text{Emisi CH}_4 \text{ (ton CH}_4/\text{th)} (\text{GWP}_{\text{CH}_4}) \\
&= (6,75 \text{ ton CH}_4/\text{th}) (21) = 142 \text{ ton CO}_2\text{-eq./th}
\end{aligned}$$

**Emisi N<sub>2</sub>O (ton N<sub>2</sub>O/th) :**

$$\begin{aligned}
&= (E_k) (\text{FE}_{\text{N}_2\text{O}}) = (m \times \text{NCV})(\text{FE}_{\text{N}_2\text{O}}) \\
&= (370.000 \text{ ton batubara/th}) (2.000 \text{ lb/1 ton}) (13.000 \text{ Btu GCV/lb}) (0,95 \text{ NCV/GCV}) (1.055 \text{ J/Btu}) (1\text{TJ}/10^{12}\text{J}) (1,6 \text{ kg N}_2\text{O}/\text{TJ NCV}) = 15,4 \text{ ton N}_2\text{O}/\text{th}
\end{aligned}$$

**Emisi N<sub>2</sub>O (ton CO<sub>2</sub>-eq./th) :**

$$\begin{aligned}
&= \text{Emisi N}_2\text{O} \text{ (ton N}_2\text{O/th)} (\text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}}) \\
&= (15,4 \text{ ton N}_2\text{O/th}) (310) \\
&= 4.780 \text{ ton CO}_2\text{-eq./th}
\end{aligned}$$

**Total emisi GRK :**

$$\begin{aligned}
&= \text{Emisi CO}_2 + \text{Emisi CH}_4 + \text{Emisi N}_2\text{O} \\
&= 894.000 + 142 + 4.780 \\
&= 898.922 \text{ ton CO}_2\text{-eq./th}
\end{aligned}$$