



Estimasi Dampak *Global Warming Potential* Limbah B3 Tambang *Limestone* Pabrik Semen dengan Sistem Pengolahan Insinerasi Menggunakan Metode *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC)

Andi Muhammad Rizki Nurzamilov¹, Praditya Sigit Ardisty Sitogasa¹, Muhammad Taufik Albanjari², Dila Rahmayanti²

¹ Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

² CV. Hijau Asri

Email Korespondensi (Penulis): Praditya.s.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 20-10-2023
Disetujui: 07-12-2023
Diterbitkan: 29-03-2024

Kata Kunci:

Gas Rumah Kaca, *Global Warming Potential*, IPCC, Limbah B3, Semen

ABSTRAK

Limbah B3 secara signifikan meningkatkan produksi Gas Rumah Kaca (GRK) yang dapat mempengaruhi *Global Warming Potential* (GWP). Salah satu industri atau pabrik semen di Pulau Sumatera Indonesia mampu menghasilkan Gas Rumah Kaca (GRK) dari limbah B3 pada saat penambangan (tambang *limestone*). Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dengan sistem proses pembakaran (insinerasi) menggunakan metode IPCC. Metode IPCC mengestimasi emisi karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan dinitrogen monoksida (N₂O), yang kemudian dikonversikan menjadi dampak *Global Warming Potential* (GWP). Perkiraan dampak *Global Warming Potential* (GWP) pada tahun 2022 adalah sebesar 7,296E+01 Ton CO₂ eq. Rinciannya yakni emisi CO₂ 7,296E+01 Ton, emisi CH₄ 1,348E-06 Ton, dan emisi N₂O 6,739E-06 Ton. Emisi CO₂ diketahui mempunyai dampak paling besar, yakni mencapai 99,997098%, dengan kontributor dominan adalah limbah B3 cair jenis oli bekas.

Received: 20-10-2023
Accepted: 07-12-2023
Published: 29-03-2024

Keywords:

Cement, *Global Warming Potential*, Greenhouse Gases, Hazardous Waste, IPCC

ABSTRACT

Hazardous waste significantly increases the production of Green House Gases (GHG) which can affect the *Global Warming Potential* (GWP). One of the industries or cement factories on the Indonesian island of Sumatra is capable of producing Green House Gases (GHG) from hazardous waste during mining (*limestone* mining). The aim of this research is to estimate Green House Gas (GHG) emissions with a combustion process system (incineration) using the IPCC method. The IPCC method estimates emissions of carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), and nitrous monoxide (N₂O), which are then converted into *Global Warming Potential* (GWP) impacts. The estimated impact of *Global Warming Potential* (GWP) in 2022 is 7,296E+01 Tons CO₂ eq. The details are CO₂ emissions of 7,296E+01 tons of CO₂, CH₄ emissions of 1,348E-06 tons of CH₄, and N₂O emissions of 6,739E-06 tons of N₂O. CO₂ emissions are known to have the greatest impact, reaching 99.997098%, with the dominant contributor being liquid hazardous waste such as used oil.

1. PENDAHULUAN

Penyebab berubahnya atmosfer bumi dan iklim alami dalam kurun waktu tertentu terjadi karena salah satu faktornya berasal dari kegiatan makhluk hidup khususnya manusia dalam perjalanan waktunya (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2016). Komposisi atmosfer bumi yang dimaksud adalah komposisi atmosfer bumi yang berupa Gas Rumah Kaca (GRK), antara lain karbon dioksida, metana, nitrogen, dan lain-lain. Pada hakikatnya Gas Rumah Kaca (GRK) diperlukan untuk menjaga kestabilan suhu bumi. Namun peningkatan konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK) menyebabkan atmosfer menebal. Semakin banyak yang

terperangkap di atmosfer bumi sehingga menyebabkan suhu bumi meningkat atau dikenal dengan pemanasan global (Budiarso, 2019; Dinas Lingkungan Hidup Pemerintah Kota Surabaya, 2022). Dampak aktivitas manusia terhadap Gas Rumah Kaca (GRK) ke atmosfer telah meningkat secara signifikan, terutama sejak era pra-industri yang meningkatkan konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK) di atmosfer. Hal ini menimbulkan isu pemanasan global dan perubahan iklim. Sumber *Global Warming Potential* (GWP) dari emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dikelompokkan menjadi 6 (enam) jenis, yaitu karbon dioksida (CO₂), gas metana (CH₄), dinitrogen monoksida (N₂O), sulfur heksafluorida (SF₆), perfluorokarbon

(PFCS), dan hidrofluorokarbon (HFCS) (Martono, 2015). Menurut Pratama (2019), peningkatan Gas Rumah Kaca (GRK) dikontribusi oleh hal-hal berikut: Energi, Kerusakan Kehutanan, Peternakan dan Pertanian, serta limbah B3 dan Non-B3.

Permasalahan limbah B3 merupakan salah satu permasalahan penting dalam lingkungan industri yang perlu mendapat perhatian (Sitogasa & Alim, 2023). Semakin besar industri (kegiatan/usahanya), maka semakin banyak pula limbah B3 yang dihasilkan. Limbah B3 merupakan salah satu penyumbang emisi lingkungan terbesar pada industri kering. Limbah B3 sebagian besar dihasilkan dari penggunaan bahan, produk, dan produk samping dari proses produksi utama serta fasilitas pendukungnya. Banyaknya limbah B3 yang dihasilkan tergantung pada beberapa faktor, terutama bahan baku dan bahan penolong. Peningkatan jumlah limbah B3 memerlukan perlakuan khusus. (Masrurroh dkk., 2022; Rahmadi dkk., 2022). Peningkatan jumlah limbah B3 akan selaras dengan kenaikan dampak perubahan iklim secara signifikan, yang menyebabkan pelepasan Gas Rumah Kaca (GRK) ke atmosfer pada suatu wilayah tertentu dalam jangka waktu tertentu (Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, 2014; Kementerian Lingkungan Hidup, 2012a). Besarnya emisi Gas Rumah Kaca (GRK) tergantung pada banyaknya limbah B3 yang dihasilkan, jenis limbah B3 (padat, cair, atau medis), dan bentuk pengelolaan limbah B3 yang dilakukan (Anifah dkk., 2021). Efek lain yang akan timbul yakni Gas Rumah Kaca (GRK) yang dilepaskan ke atmosfer mempunyai potensi kerusakan 20 kali lipat (Wahyudi, 2019).

Salah satu industri atau pabrik semen di Pulau Sumatera Indonesia, merupakan perusahaan yang berkomitmen terhadap penerapan sistem manajemen mutu dan lingkungan, mengacu pada SNI ISO 9001:2008 dan SNI ISO 14001:2015. Dalam proses produksi semen khususnya pada unit penambangan (*quarry*), emisi Gas Rumah Kaca (GRK) akan timbul dari kegiatan yang menghasilkan limbah B3. Di samping itu, pabrik semen tersebut juga memiliki komitmen untuk menurunkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) melalui program optimalisasi kinerja perusahaan. Kegiatan pengelolaan limbah B3 yang menghasilkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) menjadi salah satu penyumbang terbesar dalam pencemaran udara di area tambang *limestone*. Untuk itu, diperlukan monitor, analisa, perhitungan, dan evaluasi besar. Sehingga, tujuan dilaksanakannya estimasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari limbah B3 untuk mengetahui seberapa besarnya kontribusi terhadap emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Ruang lingkup dan batasan kajian dalam penelitian ini yakni menggunakan ketentuan *Tier 1*, dimana metode perhitungan emisi berasal dari *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidline* untuk Indonesia (Asia Tenggara). Penentuan *Tier* dalam inventarisasi GRK sangat bergantung pada ketersediaan data dan tingkat kemajuan suatu negara atau pabrik dalam melakukan penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan metodologi atau menentukan faktor emisi yang spesifik dan berlaku bagi negara atau pabrik tersebut. Di Indonesia, sumber emisi sektor atau kegiatan utama dalam inventarisasi GRK menggunakan *Tier 1*, yang didasarkan pada data aktivitas dan faktor emisi *default* IPCC Pendekatan metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu insinerasi atau pembakaran (*burning*) yang merupakan metode untuk mengurangi volume 90% dan massa limbah 75% dan

memastikan tidak terjadi pencemaran udara akibat pembakaran gas beracun (Romawati, 2018; Rusdiani, 2018).

2. METODE

Perhitungan dampak *Global Warming Potential (GWP)* dari limbah B3 ditentukan dari karakteristik limbah B3 yang diolah. Penelitian ini berdasarkan Kementerian Lingkungan Hidup (2012) serta Intergovernmental Panel on Climate Change (2006), yang digunakan sebagai acuan estimasi dampak *Global Warming Potential (GWP)* tersebut. Terdapat 3 (tiga) karakteristik limbah B3 yang dapat dilakukan pengolahan dengan insinerasi, antara lain: Limbah B3 Padat, Limbah Medis/Klinik yang memiliki sifat infeksius dan beracun, serta Limbah B3 Cair yang berasal dari fosil. Adapun langkah-langkah mengestimasi dampak *Global Warming Potential (GWP)* limbah B3 dengan cara insinerasi sebagai berikut:

- a) Menentukan Jenis Limbah B3 Sesuai 3 Karakteristik Utama.

Tabel 1. Jenis Limbah B3 Sesuai Karakteristik

Limbah B3 Padat	Limbah B3 Medis/Infeksius	Limbah B3 Cair (Fosil)
Majun Bekas	-	Oli Bekas
Filter Oli Bekas	-	-
Kemasan Bekas B3	-	-
Aki Bekas	-	-
Lampu TL Bekas	-	-

- b) Menentukan Emisi Fraksi (dm_i) di Dalam Limbah B3, Emisi *Default* yang Digunakan Yaitu 0,90.
- c) Menentukan Fraksi Karbon (CF_i) dan Menentukan Fraksi Karbon Fosil (FCF_i).

Tabel 2. Nilai Fraksi Karbon dan Nilai Fraksi Karbon Fosil

Jenis Limbah	Fraksi Dry Matter (CF_i)	Fraksi Karbon Fosil (FCF_i)
Limbah B3 Padat	0,50	0,90
Limbah B3 Klinik	0,60	0,40
Limbah B3 Cair	-	1,0

- d) Menentukan Fraksi Faktor Oksidasi (OF_i) di Dalam Limbah B3, Emisi *Default* yang Digunakan Yaitu 1,0.
- e) Perhitungan Emisi CO_2 Dengan *Tier 1* (Limbah B3 Padat):

$$\sum_i (SW_i \times dm_i \times CF_i \times FCF_i \times OF_i) \times (44 / 12) \quad (1)$$

Dimana:

- CO_2 = Estimasi CO_2 yang Timbul (Ton)
- SW_i = Massa Limbah B3 (Kegiatan *Burning*) (Ton)
- dm_i = Fraksi Emisi Limbah B3 (Berat Basah)
- CF_i = Fraksi Karbon Limbah B3 (Karbon Total)
- FCF_i = Fraksi Karbon Fosil Limbah B3
- OF_i = Fraksi Oksidasi
- $44 / 12$ = Faktor Konversi Karbon
- I = Jenis Limbah B3

- f) Perhitungan Emisi CH_4 Dengan *Tier 1*:

$$Emisi CH_4 = \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6} \quad (2)$$

Dimana:

CH_4 = Emisi CH_4 yang Dihasilkan Tiap Tahun (Ton)

IW_i = Total Berat (Basah) Limbah Padat yang Dibakar (Ton)

EF_i = Fraksi Emisi Metana

10^{-6} = Konversi Massa (Gigagram)

g) Perhitungan Emisi CO_2 Dengan Tier 1 (Limbah B3 Cair):

$$\text{Emisi } CO_2 = \sum_i (AL_i \times CL_i \times OF_i) \times (44 / 12) \quad (3)$$

Dimana:

CO_2 = Emisi CO_2 dari Limbah Cair yang Dihasilkan Tiap Tahun (Ton)

AL_i = Massa Limbah B3 Cair yang Diolah Dengan Insinerasi (Ton)

CL_i = Fraksi Karbon Fosil Limbah B3 Cair (Fraksi)

$44 / 12$ = Faktor Konversi Karbon

h) Perhitungan Emisi N_2O Dengan Tier 1:

$$\text{Emisi } N_2O = \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6} \quad (4)$$

Dimana:

N_2O = Emisi N_2O yang Dihasilkan Tiap Tahun (Ton)

IW_i = Total Berat Limbah B3 - Kegiatan *Burning* (Ton)

EF_i = Fraksi Emisi Dinitrogen Monoksida

10^{-6} = Konversi Massa (Gigagram)

i) Mengkonversi Emisi CH_4 dan N_2O ke Gas Rumah Kaca (GRK) Dengan Faktor Konversi *Global Warming Potential* (GWP).

Tabel 3. Faktor Konversi CH_4 dan N_2O Menjadi Gas Rumah Kaca (*Global Warming Potential*)

No.	Jenis Gas	GWP (CO_2 eq)
1.	Karbon Dioksida (CO_2)	1
2.	Metana (CH_4)	21
3.	Dinitrogen Monoksida (N_2O)	310

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Estimasi Dampak *Global Warming Potential* Limbah B3 Padat

3.1.1 Majun Bekas

Estimasi timbulan limbah B3 jenis majun bekas ditentukan dari proses pengolahan limbah B3 yang digunakan yaitu insinerasi, dalam menghitung emisi Gas Rumah Kaca (GRK) tahun 2022 sebagai berikut:

$$W_{\text{majun bekas}} = 0,01 \text{ Ton}$$

Perhitungan emisi CO_2 yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Emisi } CO_2 &= \sum_i (SW_i \times dm_i \times CF_i \times FCF_i \times OF_i) \times (44 / 12) \text{ Ton } CO_2 \\ &= (0,01 \text{ Ton} \times 0,9 \times 0,5 \times 0,9 \times 1) \times (44 / 12) \text{ Ton } CO_2 \\ &= 6,977E+00 \text{ Ton } CO_2 \text{ eq} \end{aligned}$$

Perhitungan emisi CH_4 yaitu:

$$\text{Emisi } CH_4 = \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6} \text{ Ton } CH_4$$

$$= (6,997E+00 \text{ Ton } CO_2 \text{ eq} \times 0,2) \times 10^{-6} \text{ Ton } CH_4$$

$$= 2,000E-09 \text{ Ton } CH_4 \times 21$$

$$= 4,200E-08 \text{ Ton } CO_2 \text{ eq}$$

Perhitungan emisi N_2O yaitu:

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

$$= (6,997E+00 \text{ Ton } CO_2 \text{ eq} \times 1) \times 10^{-6} \text{ Ton } N_2O$$

$$= 1,000E-08 \text{ Ton } N_2O \times 310$$

$$= 3,100E-06 \text{ Ton } CO_2 \text{ eq}$$

Diperoleh estimasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari limbah B3 jenis majun bekas dari proses pengolahan limbah B3 dengan sistem insinerasi yakni sebesar 6,997E+00 Ton CO_2 , 2,000E-09 Ton CH_4 , dan 1,000E-08 Ton N_2O . Hasil perhitungan tersebut, dikonversikan Faktor Potensi Pemanasan Global, yang menunjukkan bahwa limbah B3 jenis majun bekas pada tahun 2022 yang dihasilkan dari operasional tambang *limestone* pabrik semen sebesar 6,977E+00 Ton CO_2 eq atau berkontribusi sebesar 9,5626% dari estimasi total dampak *Global Warming Potential* dari unit proses tersebut.

3.1.2 Filter Oli Bekas

Estimasi timbulan limbah B3 jenis filter oli bekas ditentukan dari proses pengolahan limbah B3 yang digunakan yaitu insinerasi, dalam menghitung emisi Gas Rumah Kaca (GRK) tahun 2022 sebagai berikut:

$$W_{\text{filter oli bekas}} = 1,507 \text{ Ton}$$

Perhitungan emisi CO_2 yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Emisi } CO_2 &= \sum_i (SW_i \times dm_i \times CF_i \times FCF_i \times OF_i) \times (44 / 12) \text{ Ton } CO_2 \\ &= (1,507 \text{ Ton} \times 0,9 \times 0,5 \times 0,9 \times 1) \times (44 / 12) \text{ Ton } CO_2 \\ &= 8,474E+00 \text{ Ton } CO_2 \text{ eq} \end{aligned}$$

Perhitungan emisi CH_4 yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Emisi } CH_4 &= \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6} \text{ Ton } CH_4 \\ &= (8,474E+00 \text{ Ton } CO_2 \text{ eq} \times 0,2) \times 10^{-6} \text{ Ton } CH_4 \\ &= 3,014E-07 \text{ Ton } CH_4 \times 21 \\ &= 6,329E-06 \text{ Ton } CO_2 \text{ eq} \end{aligned}$$

Perhitungan emisi N_2O yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Emisi } N_2O &= \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6} \text{ Ton } N_2O \\ &= (8,474E+00 \text{ Ton } CO_2 \text{ eq} \times 1) \times 10^{-6} \text{ Ton } N_2O \\ &= 1,507E-06 \text{ Ton } N_2O \times 310 \\ &= 4,672E-04 \text{ Ton } CO_2 \text{ eq} \end{aligned}$$

Diperoleh estimasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari limbah B3 jenis filter oli bekas dari proses pengolahan limbah B3 dengan sistem insinerasi yakni sebesar 8,474E+00 Ton CO_2 , 3,014E-07 Ton CH_4 , dan 1,507E-06 Ton N_2O . Hasil perhitungan tersebut, dikonversikan Faktor Potensi Pemanasan Global, yang menunjukkan bahwa limbah B3 jenis filter oli bekas pada tahun 2022 yang dihasilkan dari operasional tambang *limestone* pabrik semen sebesar 8,474E+00 Ton CO_2 eq atau berkontribusi sebesar 11,6151% dari estimasi total dampak *Global Warming Potential* dari unit proses tersebut.

3.1.3 Kemasan Bekas B3

Estimasi timbulan limbah B3 jenis kemasan bekas B3 ditentukan dari proses pengolahan limbah B3 yang digunakan

yaitu insinerasi, dalam menghitung emisi Gas Rumah Kaca (GRK) tahun 2022 sebagai berikut:

$$W_{\text{kemasan bekas B3}} = 3,567 \text{ Ton}$$

Perhitungan emisi CO₂ yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Emisi CO}_2 &= \sum_i (SW_i \times dm_i \times CF_i \times FCF_i \times OF_i) \times (44 / 12) \text{ Ton CO}_2 \\ &= (3,567 \text{ Ton} \times 0,9 \times 0,5 \times 0,9 \times 1) \times (44 / 12) \text{ Ton CO}_2 \\ &= 1,053E+01 \text{ Ton CO}_2 \text{ eq} \end{aligned}$$

Perhitungan emisi CH₄ yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Emisi CH}_4 &= \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6} \text{ Ton CH}_4 \\ &= (1,053E+01 \text{ Ton CO}_2 \text{ eq} \times 0,2) \times 10^{-6} \text{ Ton CH}_4 \\ &= 7,134E-07 \text{ Ton CH}_4 \times 21 \\ &= 1,498E-05 \text{ Ton CO}_2 \text{ eq} \end{aligned}$$

Perhitungan emisi N₂O yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Emisi N}_2\text{O} &= \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6} \text{ Ton N}_2\text{O} \\ &= (1,053E+01 \text{ Ton CO}_2 \text{ eq} \times 1) \times 10^{-6} \text{ Ton N}_2\text{O} \\ &= 3,567E-06 \text{ Ton N}_2\text{O} \times 310 \\ &= 1,106E-03 \text{ Ton CO}_2 \text{ eq} \end{aligned}$$

Diperoleh estimasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari limbah B3 jenis kemasan bekas B3 dari proses pengolahan limbah B3 dengan sistem insinerasi yakni sebesar 1,053E+01 Ton CO₂, 7,134E-07 Ton CH₄, dan 3,567E-06 Ton N₂O. Hasil perhitungan tersebut, dikonversikan Faktor Potensi Pemanasan Global, yang menunjukkan bahwa limbah B3 jenis kemasan bekas B3 pada tahun 2022 yang dihasilkan dari operasional tambang *limestone* pabrik semen sebesar 1,053E+01 Ton CO₂ eq atau berkontribusi sebesar 14,4395% dari estimasi total dampak *Global Warming Potential* dari unit proses tersebut.

3.1.4 Aki Bekas

Estimasi timbulan limbah B3 jenis aki bekas ditentukan dari proses pengolahan limbah B3 yang digunakan yaitu insinerasi, dalam menghitung emisi Gas Rumah Kaca (GRK) tahun 2022 sebagai berikut:

$$W_{\text{aki bekas}} = 1,412 \text{ Ton}$$

Perhitungan emisi CO₂ yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Emisi CO}_2 &= \sum_i (SW_i \times dm_i \times CF_i \times FCF_i \times OF_i) \times (44 / 12) \text{ Ton CO}_2 \\ &= (1,412 \text{ Ton} \times 0,9 \times 0,5 \times 0,9 \times 1) \times (44 / 12) \text{ Ton CO}_2 \\ &= 8,379E+00 \text{ Ton CO}_2 \text{ eq} \end{aligned}$$

Perhitungan emisi CH₄ yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Emisi CH}_4 &= \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6} \text{ Ton CH}_4 \\ &= (8,379E+00 \text{ Ton CO}_2 \text{ eq} \times 0,2) \times 10^{-6} \text{ Ton CH}_4 \\ &= 2,824E-07 \text{ Ton CH}_4 \times 21 \\ &= 5,930E-06 \text{ Ton CO}_2 \text{ eq} \end{aligned}$$

Perhitungan emisi N₂O yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Emisi N}_2\text{O} &= \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6} \text{ Ton N}_2\text{O} \\ &= (8,379E+00 \text{ Ton CO}_2 \text{ eq} \times 1) \times 10^{-6} \text{ Ton N}_2\text{O} \\ &= 1,412E-06 \text{ Ton N}_2\text{O} \times 310 \\ &= 4,377E-04 \text{ Ton CO}_2 \text{ eq} \end{aligned}$$

Diperoleh estimasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari limbah B3 jenis aki bekas dari proses pengolahan limbah B3 dengan sistem insinerasi yakni sebesar 8,379E+00 Ton CO₂, 2,824E-07 Ton CH₄, dan 1,412E-06 Ton N₂O. Hasil perhitungan tersebut, dikonversikan Faktor Potensi Pemanasan Global, yang menunjukkan bahwa limbah B3 jenis aki bekas pada

tahun 2022 yang dihasilkan dari operasional tambang *limestone* pabrik semen sebesar 8,379E+00 Ton CO₂ eq atau berkontribusi sebesar 11,4848% dari estimasi total dampak *Global Warming Potential* dari unit proses tersebut.

3.1.5 Lampu TL Bekas

Estimasi timbulan limbah B3 jenis lampu TL bekas ditentukan dari proses pengolahan limbah B3 yang digunakan yaitu insinerasi, dalam menghitung emisi Gas Rumah Kaca (GRK) tahun 2022 sebagai berikut:

$$W_{\text{lampu TL bekas}} = 0,243 \text{ Ton}$$

Perhitungan emisi CO₂ yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Emisi CO}_2 &= \sum_i (SW_i \times dm_i \times CF_i \times FCF_i \times OF_i) \times (44 / 12) \text{ Ton CO}_2 \\ &= (0,243 \text{ Ton} \times 0,9 \times 0,5 \times 0,9 \times 1) \times (44 / 12) \text{ Ton CO}_2 \\ &= 7,210E+00 \text{ Ton CO}_2 \text{ eq} \end{aligned}$$

Perhitungan emisi CH₄ yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Emisi CH}_4 &= \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6} \text{ Ton CH}_4 \\ &= (7,210E+00 \text{ Ton CO}_2 \text{ eq} \times 0,2) \times 10^{-6} \text{ Ton CH}_4 \\ &= 4,860E-08 \text{ Ton CH}_4 \times 21 \\ &= 1,021E-06 \text{ Ton CO}_2 \text{ eq} \end{aligned}$$

Perhitungan emisi N₂O yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Emisi N}_2\text{O} &= \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6} \text{ Ton N}_2\text{O} \\ &= (7,210E+00 \text{ Ton CO}_2 \text{ eq} \times 1) \times 10^{-6} \text{ Ton N}_2\text{O} \\ &= 2,430E-07 \text{ Ton N}_2\text{O} \times 310 \\ &= 7,533E-05 \text{ Ton CO}_2 \text{ eq} \end{aligned}$$

Diperoleh estimasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari limbah B3 jenis lampu TL bekas dari proses pengolahan limbah B3 dengan sistem insinerasi yakni sebesar 7,210E+00 Ton CO₂, 4,860E-08 Ton CH₄, dan 2,430E-07 Ton N₂O. Hasil perhitungan tersebut, dikonversikan Faktor Potensi Pemanasan Global, yang menunjukkan bahwa limbah B3 jenis lampu TL bekas pada tahun 2022 yang dihasilkan dari operasional tambang *limestone* pabrik semen sebesar 7,210E+00 Ton CO₂ eq atau berkontribusi sebesar 9,8820% dari estimasi total dampak *Global Warming Potential* dari unit proses tersebut.

3.2 Estimasi Dampak *Global Warming Potential* Limbah B3 Cair

3.2.1 Oli Bekas

Estimasi timbulan limbah B3 jenis oli bekas ditentukan dari proses pengolahan limbah B3 yang digunakan yaitu insinerasi, dalam menghitung emisi Gas Rumah Kaca (GRK) tahun 2022 sebagai berikut:

$$W_{\text{oli bekas}} = 25,72 \text{ Ton}$$

Perhitungan emisi CO₂ yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Emisi CO}_2 &= \sum_i (AL_i \times CL_i \times OF_i) \times (44 / 12) \text{ Ton CO}_2 \\ &= (25,72 \text{ Ton} \times 1 \times 1) \times (44 / 12) \text{ Ton CO}_2 \\ &= 3,138E+01 \text{ Ton CO}_2 \text{ eq} \end{aligned}$$

Diperoleh estimasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari limbah B3 jenis oli bekas dari proses pengolahan limbah B3 dengan sistem insinerasi yakni sebesar 3,138E+01 Ton CO₂. Hasil perhitungan tersebut, dikonversikan Faktor Potensi Pemanasan Global, yang menunjukkan bahwa limbah B3 jenis oli bekas pada tahun 2022 yang dihasilkan dari operasional tambang *limestone* pabrik semen sebesar 3,138E+01 Ton CO₂

eq atau berkontribusi sebesar 43,0160% dari estimasi total dampak *Global Warming Potential* dari unit proses tersebut.

3.3 Total Estimasi Dampak *Global Warming Potential* Limbah B3

Total keseluruhan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dengan dampak *Global Warming Potential* (GWP) yang dihasilkan dari limbah B3 yang berasal dari tambang *limestone* pabrik semen dengan proses pengolahan menggunakan sistem insinerasi adalah sebagai berikut:

Perhitungan emisi total CO₂ yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Total CO}_2 &= (\text{Total Emisi CO}_2 \text{ Limbah B3 Padat}) + (\text{Total Emisi CO}_2 \text{ Limbah B3 Cair}) \\ &= (6,977\text{E}+00 + 8,474\text{E}+00 + 1,053\text{E}+01 + 8,379\text{E}+00 + 7,210\text{E}+00) \text{ Ton CO}_2 + (3,138\text{E}+01) \text{ Ton CO}_2 \\ &= 7,296\text{E}+01 \text{ Ton CO}_2 \end{aligned}$$

Perhitungan emisi total CH₄ yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Total CH}_4 &= (\text{Total Emisi CH}_4 \text{ Limbah B3 Padat}) + (\text{Total Emisi CH}_4 \text{ Limbah B3 Cair}) \\ &= (2,000\text{E}-09 + 3,014\text{E}-07 + 7,134\text{E}-07 + 2,824\text{E}-07 + 4,860\text{E}-08) \text{ Ton CH}_4 + (0,000\text{E}+00) \text{ Ton CH}_4 \\ &= 1,348\text{E}-06 \text{ Ton CH}_4 \end{aligned}$$

Perhitungan emisi total CH₄ yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Total N}_2\text{O} &= (\text{Total Emisi N}_2\text{O} \text{ Limbah B3 Padat}) + (\text{Total Emisi N}_2\text{O} \text{ Limbah B3 Cair}) \\ &= (1,000\text{E}-08 + 1,507\text{E}-06 + 3,567\text{E}-06 + 1,412\text{E}-06 + 2,430\text{E}-07) \text{ Ton N}_2\text{O} + (0,000\text{E}+00) \text{ Ton N}_2\text{O} \\ &= 6,739\text{E}-06 \text{ Ton N}_2\text{O} \end{aligned}$$

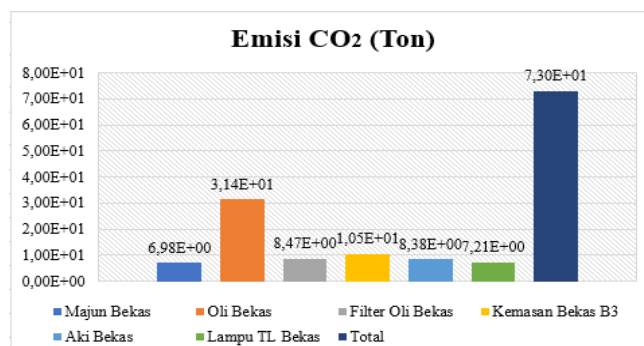
Perhitungan total *Global Warming Potential* (GWP) yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Total GWP} &= (\text{Total CO}_2) + (21 \times \text{Total CH}_4) + (310 \times \text{Total N}_2\text{O}) \\ &= (7,296\text{E}+01) + (21 \times 1,348\text{E}-06) + (310 \times 6,739\text{E}-06) \text{ Ton CO}_2 \text{ eq} \\ &= 7,296\text{E}+01 \text{ Ton CO}_2 \text{ eq} \end{aligned}$$

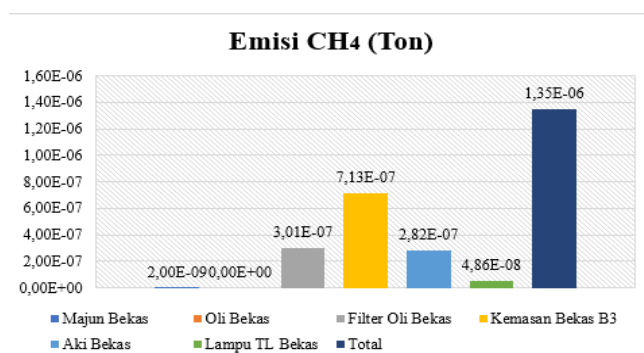
Sedangkan, rekap tabulasi dampak *Global Warming Potential* (GWP) Limbah B3 dengan pengolahan metode insinerasi (pembakaran) yang dihasilkan pada tahun 2022 disampaikan sebagai berikut.

Tabel 4. Rekapitulasi Dampak *Global Warming Potential* (GWP) Limbah B3 Dengan Sistem Pengolahan Insinerasi di Tambang *Limestone* Pabrik Semen Tahun 2022

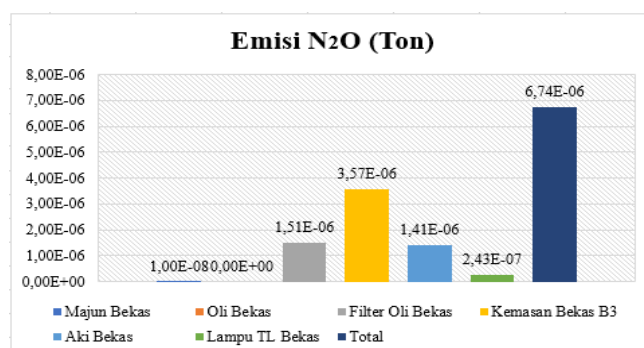
Komposisi	Emisi CO ₂ (Ton)	Emisi CH ₄ (Ton)	Emisi N ₂ O (Ton)	Total GWP (Ton CO ₂ eq)	Kontribusi (%)
Majun Bekas	6,977E+00	2,000E-09	1,000E-08	6,977E+00	9,56%
Oli Bekas	3,138E+01	0,000E+00	0,000E+00	3,138E+01	43,02%
Filter Oli Bekas	8,474E+00	3,014E-07	1,507E-06	8,474E+00	11,62%
Kemasan Bekas B3	1,053E+01	7,134E-07	3,567E-06	1,053E+01	14,44%
Aki Bekas	8,379E+00	2,824E-07	1,412E-06	8,379E+00	11,48%
Lampu TL Bekas	7,210E+00	4,860E-08	2,430E-07	7,210E+00	9,88%
Total	7,296E+01	1,348E-06	6,739E-06	7,296E+01	100,00%



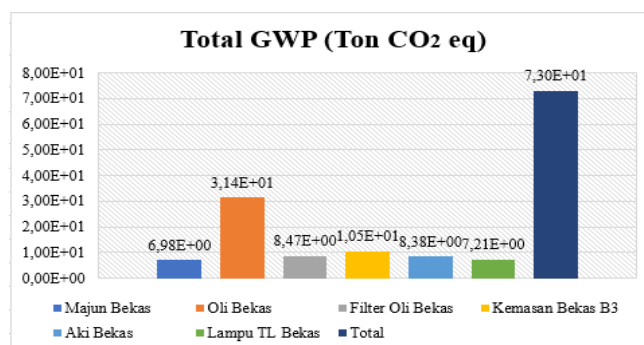
Gambar 1. Nilai Dampak Emisi CO₂ Limbah B3 Dengan Sistem Pengolahan Insinerasi di Tambang *Limestone* Pabrik Semen Tahun 2022



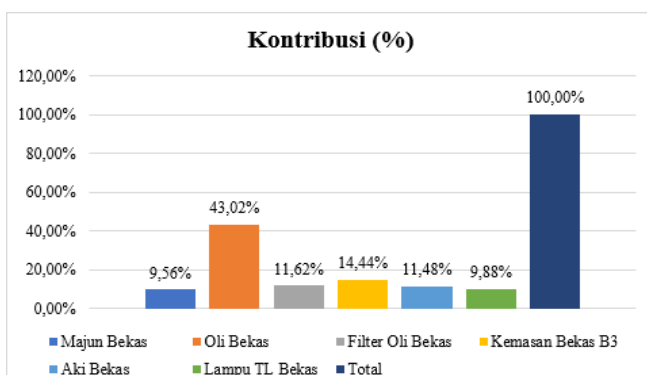
Gambar 2. Nilai Dampak Emisi CH₄ Limbah B3 Dengan Sistem Pengolahan Insinerasi di Tambang *Limestone* Pabrik Semen Tahun 2022



Gambar 3. Nilai Dampak Emisi N₂O Limbah B3 Dengan Sistem Pengolahan Insinerasi di Tambang *Limestone* Pabrik Semen Tahun 2022

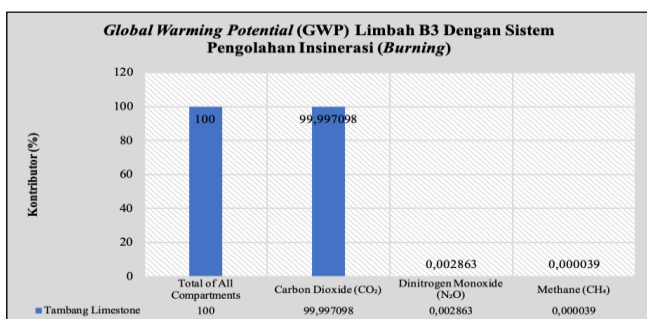


Gambar 4. Nilai Dampak Total *Global Warming Potential* (GWP) Limbah B3 Dengan Sistem Pengolahan Insinerasi di Tambang *Limestone* Pabrik Semen Tahun 2022



Gambar 5. Nilai Kontribusi Dampak *Global Warming Potential* (GWP) Limbah B3 Dengan Sistem Pengolahan Insinerasi di Tambang *Limestone* Pabrik Semen Tahun 2022

Analisis dampak *Global Warming Potential* (GWP) limbah B3 dengan sistem pengolahan menggunakan insinerasi (pembakaran/*burning*) dari operasional tambang *limestone* pabrik semen berkontribusi terhadap dampak dari limbah B3 yang berasal dari emisi CO₂ sebesar 99,997098%, emisi CH₄ sebesar 0,000039%, dan emisi N₂O sebesar 0,002863%. Kontributor terbesar berasal dari emisi CO₂ sebesar 99,997098% dan dominan pada limbah B3 cair dengan jenis oli bekas. Berikut kontributor dampak *Global Warming Potential* (GWP) limbah B3 dengan sistem pengolahan menggunakan insinerasi (pembakaran/*burning*) dari operasional tambang *limestone* pabrik semen disampaikan sebagai berikut.



Gambar 6. Kontributor Dampak *Global Warming Potential* (GWP) Limbah B3 Dengan Sistem Pengolahan Insinerasi di Tambang *Limestone* Pabrik Semen Tahun 2022

4. SIMPULAN

Hasil estimasi dampak *Global Warming Potential* (GWP) dari limbah B3 di Tambang *Limestone* Pabrik Semen dengan pendekatan sistem pengolahan insinerasi (pembakaran atau *burning*) menggunakan metode *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) pada tahun 2022 total sebesar 7,296E+01 Ton CO₂ eq, dengan rincian emisi CO₂ sebesar 7,296E+01 Ton CO₂ eq, emisi CH₄ sebesar 1,348E-06 Ton CH₄ atau setara dengan 2,830E-05 Ton CO₂ eq, serta emisi N₂O sebesar 6,739E-06 Ton N₂O atau setara dengan 2,089E-03 Ton CO₂ eq. Didapatkan kontributor dampak terbesar berasal dari emisi CO₂ sebesar 99,997098%, dilanjutkan dengan emisi N₂O sebesar 0,002863% dan emisi CH₄ sebesar 0,000039%, serta kontribusi dominan berasal dari limbah B3

cair dengan jenis oli bekas dengan timbulan sebesar 25,72 Ton.

UCAPAN TERIMA KASIH

Karya penelitian ini didukung oleh konsultan lingkungan CV. Hijau Asri yang membantu dan berkontribusi menjadi *Peer-Reviewers* dalam publikasi ini serta dalam menjembatani pengambilan data terkait neraca limbah B3 dalam jumlah lumpsum 1 (satu) tambang *limestone* dengan salah satu Industri Semen di Pulau Sumatera.

DAFTAR PUSTAKA

- Anifah, E. M., Rini, I. D. W. S., Hidayat, R., & Ridho, M. (2021). Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Kegiatan Pengelolaan Sampah Di Kelurahan Karang Joang, Balikpapan. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 13(1), 17–33. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol13.iss1.art2>
- Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. (2014). *Pedoman Teknis Perhitungan Baseline Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Pengelolaan Limbah*.
- Budiarso, A. (2019). Kebijakan Pembiayaan Perubahan Iklim: Suatu Pengantar. In F. (AUS) Dr Adi Budiarso (Ed.), 2019 (Cetakan 1, Vol. 1). PT. Penerbit IPB Press.
- Dinas Lingkungan Hidup Pemerintah Kota Surabaya. (2022). *Kajian Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Surabaya Tahun 2022*. <https://lh.surabaya.go.id/fileupload/ebook/Laporan GRK 2022.pdf>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. *IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme*, 20.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2012a). *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional, Buku I Pedoman Umum* (Vol. 1).
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2012b). *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku II Volume 4 Metodologi Perhitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca Pengelolaan Limbah* (Kementerian Lingkungan Hidup (ed.); 4th ed.). Kementerian Lingkungan Hidup. <http://perpustakaan.menlhk.go.id/pustaka/home/index.php?page=ebook&code=plh&view=yes&id=59>
- Martono. (2015). Fenomena Gas Rumah Kaca. *Forum Teknologi*, 5(2), 78–85. <http://ejournal.ppsdmmigas.esdm.go.id/sp/index.php/sw arapatra/article/view/151>
- Masruroh, N., Fardian, I., Febriyanti, N., Muflihah, M. D., Supriyanti, S. S., Islami, P. Y. N., Ilmiah, D., Anas, A. T., Panggiarti, E. K., Honggowati, S., Arifah, S., Aziz, A., Mualimin, J., Wusqo, U., Sujono, R. I., Layli, M., Amrina, D. H., Bayu, Firdaus, M. A., ... Dahlan, R. (2022). Ekonomi Sirkular dan Pembangunan Berkelanjutan. In M. Z. N. Hasbi (Ed.), *Jejak Pustaka* (1st ed., Issue November). Jejak Pustaka.
- Pratama, R. (2019). Efek Rumah Kaca Terhadap Bumi. *Buletin Utama Teknik*, 14(2), 120–126.
- Rahmadi, A., Sari, N. M., & Indriyani, E. (2022). Buku Ajar: Pemanfaatan Limbah Industri. In Thamrin (Ed.), *Disnak Jatim* (1st ed., Vol. 4, Issue 1). CV. Banyubening Cipta

- Sejahtera.
- Romawati, W. E. (2018). *Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca dari Sampah Rumah Tangga di Kecamatan Bulak, Kota Surabaya dengan Metode IPCC*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rusdiani, R. R. (2018). Kajian Faktor Emisi Kendaraan Bermotor Bahan Bakar Gasolin Roda Dua Di Kota Surabaya. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 159.
- Sitogasa, P. S. A., & Alim, M. S. (2023). Kajian Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) Industri Rokok Kabupaten Pasuruan. *Student Scientific Creativity Journal (SSCJ)*, 1(4), 245–260.
- <https://doi.org/https://doi.org/10.55606/sscj-amik.v1i4.1609>
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2016). *UNFCCC Standing Committee on Finance 2016 Biennial Assessment and Overview of Climate Finance Flows Report*. <http://unfccc.int/6877>
- Wahyudi, J. (2019). Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari Pembakaran Terbuka Sampah Rumah Tangga Menggunakan Model IPCC. *Jurnal Litbang: Media Informasi Penelitian, Pengembangan Dan IPTEK*, 15(1), 65–76. <https://doi.org/10.33658/jl.v15i1.132>