

Identifikasi Sumber Emisi dan Estimasi Beban Emisi Menggunakan Metode *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* dan *Atmospheric Brown Cloud (ABC) Emission Inventory*

Amilatun Nasikah¹, Ahmad Erlan Afiuddin^{1*}, Alma Vita Sophia¹

¹Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

*E-mail: erlan.ahmad@ppns.ac.id

Abstrak

Pencemaran udara merupakan masalah utama yang terjadi pada lingkungan yang berdampak terhadap penurunan kualitas udara. Salah satu sumber pencemar udara berasal dari industri kimia. Aktivitas produksi industri kimia menghasilkan hasil samping berupa limbah. Salah satu limbah yang dihasilkan yaitu limbah gas yang berpotensi menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK) dan emisi konvensional. Inventarisasi sumber dan emisinya merupakan salah satu cara untuk mendapatkan mengenai tingkat emisi maupun status emisi pada periode tertentu. Tujuan penelitian ini untuk melakukan identifikasi sumber emisi dan menentukan besarnya beban emisi GRK dan emisi konvensional di industri kimia pada sektor energi dan sektor industri. Penelitian ini mengacu pada PermenLHK Nomor 17 Tahun 2019 untuk identifikasi sumber emisi dan perhitungan beban emisi mengacu IPCC *Guideline* dan *Atmospheric Brown Clouds (ABC) Emission Inventory Manual*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sumber emisi di industri kimia dari sektor energi yaitu sumber bahan bakar dan transportasi, sektor industri yaitu *air drying SO₃ absorption, steam turbine generator, dan cerobong SA plant*. Beban emisi total didapatkan setiap parameter yaitu CO₂ sebesar 7.974.580 Ton/Tahun, CH₄ sebesar 6.963.702 Ton/Tahun, N₂O sebesar 20.891.107 Ton/Tahun, SO_x sebesar 6.147.870 Ton/Tahun, NO_x sebesar 3,0580 Ton/Tahun, CO sebesar 0,8062 Ton/Tahun, dan PM sebesar 0,000244 Ton/Tahun.

Keywords: *ABC Emission Inventory Manual*, Beban Emisi, IPCC, Sumber Emisi

1. PENDAHULUAN

Pencemaran udara merupakan masalah utama yang terjadi pada lingkungan, karena berdampak terhadap penurunan kualitas udara dan menyebabkan perubahan iklim global. Salah satu fenomena pencemaran udara yang menyebabkan perubahan iklim global secara langsung adalah menipisnya lapisan ozon dan meningkatnya gas rumah kaca (Marlena, Huboyo dan Danarani, 2018). Kegiatan pencemaran tersebut dapat berdampak bagi lingkungan sekitar dan kesehatan manusia. Industri yang beroperasi secara kontinyu berpotensi menghasilkan limbah cair, padat, maupun gas. Salah satunya yaitu industri kimia. Menurut (Sofia dkk., 2020) aktivitas industri dan mobilisasi massa merupakan penyebab meningkatnya polutan di udara. Bentuk pengelolaan pencemaran udara yang diakibatkan emisi di industri kimia sebagai penanganan penurunan kualitas udara yaitu dengan mengidentifikasi sumber pencemar dan memperkirakan emisi yang dihasilkan pada sumber pencemar dari suatu wilayah dalam periode waktu tertentu. Pengumpulan informasi terkait sumber pencemar dan jumlah pencemar udara disebut inventarisasi emisi (Christine dalam Rahmawati, 2017).

Bentuk pengelolaan emisi di industri yaitu mengidentifikasi sumber pencemar yang ada pada setiap proses industri. Hal itu bertujuan untuk menentukan sumber pencemar sebagai objek yang berpotensi menghasilkan pencemar. Inventarisasi emisi atau perhitungan beban pencemar dilakukan pada setiap sumber emisi. Inventarisasi emisi dilakukan dengan cara mengumpulkan data aktivitas sumber emisi dan faktor emisi (Tiemeyer dkk., 2020). Inventarisasi emisi yang akurat, digunakan untuk menentukan pengendalian pencemaran udara yang tepat (Li dkk., 2017).

Salah satu cara memperkirakan beban emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yaitu menggunakan metode *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* (Hutagalung, Sakinah dan Rinaldi, 2020). Sedangkan perhitungan beban emisi yang digunakan untuk inventarisasi emisi konvensional menggunakan metode *Atmospheric Brown Cloud (ABC) Emission Inventory*. Industri kimia belum melakukan identifikasi sumber emisi dan inventarisasi emisi pada sektor energi dan sektor industri, sehingga industri kimia merupakan objek yang tepat pada penelitian ini. Penelitian ini memberikan manfaat bagi industri untuk melakukan evaluasi pengelolaan emisi di industri kimia dengan mengetahui beban pencemar masing-masing sumber emisi. Penelitian ini bertujuan

untuk mengidentifikasi sumber emisi dan inventarisasi emisi sesuai sumber emisinya. Inventarisasi emisi pada sektor energi meliputi bahan bakar pada industri dan transportasi dan sektor industri, meliputi limbah cair industri. Hasil dari inventarisasi emisi pada penelitian ini akan dijadikan acuan pembuatan *mapping* emisi pada setiap sumber emisi di wilayah industri untuk menunjukkan besaran nilai setiap parameter di setiap sumber emisi.

2. METODOLOGI

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari studi literatur, pengumpulan data primer dan sekunder, pengolahan dan analisis data. Pengumpulan data primer dilakukan secara langsung di industri kimia untuk melakukan identifikasi sumber emisi dan perhitungan beban emisi. Data sekunder berupa penggunaan bahan bakar, jumlah produksi setiap unit proses di *Sulphuric Acid (SA) plant*, karakteristik air limbah (COD), dan faktor emisi. Perhitungan beban emisi sesuai dengan sektor masing-masing yaitu sektor energi dan sektor industri.

Perhitungan beban emisi sektor energi pada sumber emisi bahan bakar menggunakan tingkat ketelitian (Tier) 1 untuk GRK, berikut persamaan perhitungannya berdasarkan IPCC Guideline Volume 2.

$$\text{Emisi}_{\text{GRK, bahan bakar}} = \text{Konsumsi Bahan Bakar} \times \text{Faktor Emisi}_{\text{GRK, bahan bakar}} \quad (1)$$

Keterangan:

$\text{Emisi}_{\text{GRK, bahan bakar}}$ = Emisi GRK jenis tertentu menurut jenis bahan Bakar (kg GRK)

Konsumsi Bahan Bakar = Banyaknya bahan bakar yang dibakar berdasarkan jenis bahan bakar (dalam TJ)

Faktor $\text{Emisi}_{\text{GRK, bahan bakar}}$ = Faktor emisi GRK jenis tertentu berdasarkan jenis bahan bakar (kg gas /TJ)

Konsumsi energi pada umumnya dalam satuan ton, oleh karena itu data konsumsi energi harus dikonversikan dengan mengalikan nilai kalor bahan bakar Indonesia yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai kalor bahan bakar Indonesia

Bahan Bakar	Nilai Kalor	Penggunaan
Premium	33×10^{-6} TJ/Liter	Kendaraan bermotor
Solar (HSD, ADO)	36×10^{-6} TJ/Liter	Kendaraan bermotor, pembangkit listrik
Minyak Diesel (IDO)	38×10^{-6} TJ/Liter	Boiler industri, pembangkit listrik

Sumber : Kementerian Lingkungan Hidup, 2012

Faktor emisi menggunakan default IPCC yang digunakan untuk perhitungan GRK dari penggunaan bahan bakar sumber tidak bergerak dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Faktor emisi default IPCC

Bahan Bakar	Emisi	Keterangan	Nilai (Kg/TJ)
Gas/Diesel Oil	CO ₂	Faktor Emisi Default	74100
	CH ₄	Faktor Emisi Default	3
	N ₂ O	Faktor Emisi Default	0,6

Sumber : IPCC Guideline Volume 2

Pada penelitian ini juga dilakukan inventarisasi emisi konvensional SO_x, NO_x, dan CO pada bahan bakar, persamaan yang digunakan untuk perhitungan emisi konvensional sebagai berikut.

$$\text{Beban emisi konvensional} = \text{Data Aktivitas} \times \text{Faktor Emisi} \quad (2)$$

Perhitungan beban emisi konvensional pada sektor energi menggunakan faktor emisi sesuai metode ABC *Emission Inventory* yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Faktor emisi metode ABC Emission Inventory

Bahan Bakar	SO _x	NO _x	CO
-------------	-----------------	-----------------	----

	Kton/TJ	Kg/TJ	Kg/TJ
Gas/Diesel Oil (Solar)	461,574	222	15

Sumber : Shrestha dkk., 2013

Perhitungan beban emisi sektor energi pada sumber emisi transportasi menggunakan metode Tier 2 berdasarkan IPCC Guideline Volume 2, persamaan yang digunakan antara lain.

$$\text{Emisi} = \text{Data Aktivitas} \times \text{Faktor Emisi} \tag{3}$$

$$VKT_{j, \text{line}} = \sum_{i=1}^n Q_{ji} \times I_i \tag{4}$$

$$E_{c_{ji}} = VKT_{ji} \times EF_{c_{ji}} (100-C)/100 \tag{5}$$

Keterangan :

$VKT_{j, \text{line}}$ = VKT kategori kendaraan j pada ruas jalan i yang dihitung sebagai sumber garis (km/tahun)

Q_{ji} = volume kendaraan dalam kategori j pada ruas jalan i (kendaraan/tahun)

I_i = panjang ruas jalan i (km)

$E_{c_{ji}}$ = emisi pencemar c untuk kendaraan kategori j pada ruas jalan i (g/tahun)

C = efisiensi peralatan pengendali emisi (%)

C = 0, jika tidak terpasang peralatan pengendali

Tabel 4 Faktor Emisi Kendaraan Indonesia

Kategori	CO	CO₂	Kategori	CO	CO₂
	(g/km)	(g/kg BBM)		(g/km)	(g/kg BBM)
Sepeda motor	14	3180	Mobil pe-numpang	32,4	3178
Mobil pe-numpang (bensin)	40	3180	Bus	11	3172
Mobil pe-numpang (solar)	2,8	3172	Truk	8,4	3172

Sumber : Peraturan Menteri Lingkungan Hidup, 2010

Perhitungan beban emisi pada sektor industri menggunakan metode IPCC *Guideline* Volume 3 dengan tingkat ketelitian (Tier) 1. Persamaan yang digunakan dapat dilihat pada persamaan 6.

$$E_{CO_2} = PP \times EF \times GAF/100 \tag{6}$$

Keterangan:

E_{CO_2} = Emisi CO₂ (kg)

PP = Hasil Produksi (ton)

EF = Faktor Emisi

GAF = Faktor Penyesuaian Geografis (%)

Perhitungan emisi di cerobong dapat dilakukan menggunakan persamaan berikut.

$$E = C \times Q \times 0,0036 \times (\text{Jam Operasi}) \tag{7}$$

$$Q = V \times A \tag{8}$$

Keterangan:

E = Laju emisi pencemar (kg/hari)

C = Konsentrasi terkoreksi (mg/Nm³)

Q = Laju alir emisi volumetrik (m³/detik)

0,0036 = Faktor konversi dari mg/detik ke kg/jam

Jam Operasi = Jam operasi selama 6 bulan

V = Laju alir (m/detik)

A = Luas penampang cerobong (m²)

Perhitungan beban emisi pada sektor industri juga berasal dari emisi konvensional, persamaan yang digunakan seperti perhitungan beban emisi pada sektor energi yang dapat dilihat pada persamaan 2.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil identifikasi sumber emisi di industri kimia berdasarkan jenis sektor dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil Identifikasi Sumber Emisi

Identifikasi Sumber Emisi	Sumber Emisi				
	Sektor Energi		Sektor Industri		
Nama Sumber Emisi	Bahan Bakar	Sumber Bergerak (Transportasi)	<i>Air Drying SO3 Absorption</i>	<i>Steam Turbine Generator</i>	Cerobong SA Plant
Parameter Emisi	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, SO _x , NO _x , CO	CO ₂ , CO	SO _x , CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	PM, SO ₂ , NO _x , CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	SO _x , CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Dipasang CEMS (Ya/Tidak)	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Ya
Kode Cerobong	-	-	-	-	D 1303
Kapasitas Sumber Emisi	-	-	1759803,94 ton/tahun	74751,82 kWh/tahun	-
Alat Pengendali Emisi	-	-	-	-	-
Bahan Bakar	Diesel	-	Sulfur	Sulfur	Sulfur
Konsumsi Bahan Bakar (ton/tahun)	270495,743	-	579031,91	-	-
Waktu Operasi (Jam/Tahun)	8760	8760	8760	8760	8760
Lokasi	Industri Kimia	Industri Kimia	Industri Kimia	Industri Kimia	Industri Kimia
Koordinat (LS; LU)	-	-	LS : 07° 08' 05" LU : 112° 38' 08"	LS : 07° 08' 03" LU : 112° 38' 05"	LS : 07° 08' 23,0" LU : 112° 38' 25,5"
Cerobong (Kotak/Silinder)	-	-	-	-	Silinder
Tinggi/Panjang Cerobong	-	-	-	-	74,8 m
Diameter Cerobong	-	-	-	-	2,2 m
Posisi (Ketinggian/Kepanjangan) Lubang Sampling	-	-	-	-	71,8 m
Dipantau/Tidak Dipantau	Tidak Dipantau	Tidak Dipantau	Dipantau	Tidak Dipantau	Dipantau
Keterangan	-	-	-	-	CEMS Rusak

Berdasarkan hasil identifikasi sumber emisi pada Tabel 5, perhitungan beban emisi dilakukan sesuai sumber emisi dan parameter emisi setiap sumber emisi. Perhitungan beban emisi parameter CO₂ pada sumber emisi bahan bakar adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Konsumsi solar} &= \text{Penggunaan solar} \times \text{Nilai kalor} \\
 &= 136.450 \text{ Liter} \times 38 \times 10^{-6} \text{ TJ/Liter} \\
 &= 5,1851 \text{ TJ}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Emisi}_{\text{GRK, bahan bakar}} &= \text{Konsumsi Bahan Bakar} \times \text{Faktor Emisi}_{\text{GRK, bahan bakar}} \\
 &= 13,3167 \text{ TJ} \times 74100 \text{ Kg/TJ} \\
 &= 986766,1 \text{ Kg CO}_2 \\
 &= 986,7661 \text{ Ton CO}_2
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa emisi CO₂ yang dihasilkan dari penggunaan solar sebanyak 986,7661 Ton CO₂/Tahun. Perhitungan beban emisi setiap parameter dari seluruh sumber emisi dapat dilihat pada Tabel 6 dengan mengacu persamaan yang ada pada metodologi penelitian.

Tabel 6 Beban Emisi Industri Kimia

No	Sumber Emisi	Parameter	Nilai	Satuan	No	Sumber Emisi	Parameter	Nilai	Satuan
1	Bahan Bakar	CO ₂	986,7661	ton/tahun	4	Steam Turbine Generator	PM	0,00024	ton/tahun
		CH ₄	0,0399	ton/tahun			SO ₂	0,2908	ton/tahun
		N ₂ O	0,0079	ton/tahun			NO _x	0,1017	ton/tahun

No	Sumber Emisi	Parameter	Nilai	Satuan	No	Sumber Emisi	Parameter	Nilai	Satuan
		SO _x	6.146.634	ton/tahun			CO ₂	57,8870	ton/tahun
		NO _x	2,9563	ton/tahun			CH ₄	0,0012	ton/tahun
		CO	0,1997	ton/tahun			N ₂ O	0,00065	ton/tahun
2	Sumber Bergerak (Transportasi)	CO ₂	4,3369	ton/tahun	5	Cerobong SA Plant	SO _x	390,8161	ton/tahun
		CO	0,6064	ton/tahun			CO ₂	4.015.732	ton/tahun
3	Air Drying SO ₃ Absorption	SO _x	844,7058	ton/tahun			CH ₄	6.963.697	ton/tahun
		CO ₂	3.957.799	ton/tahun			N ₂ O	20.891.091	ton/tahun
		CH ₄	5,2794	ton/tahun					
		N ₂ O	15,8382	ton/tahun					

Hasil perhitungan beban emisi pada sumber bahan bakar nilai N₂O dan CH₄ lebih kecil dari pada CO₂ dikarenakan faktor emisi, dan CH₄ memiliki nilai beban emisi lebih kecil dibandingkan CO₂ dikarenakan gas metana dihasilkan dari proses pembakaran tidak sempurna dari senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam bahan bakar. Jumlah gas metana juga dapat dipengaruhi oleh temperatur (IPCC, 2019). Sumber emisi transportasi menghasilkan parameter emisi CO₂ dan CO, karena parameter tersebut memiliki urgensi yang tinggi terhadap kesehatan dan lingkungan. Hasil perhitungan beban emisi pada transportasi sangat dipengaruhi oleh aktivitas kendaraan. Mobilitas kendaraan yang semakin tinggi, maka semakin tinggi pula tingkat emisi yang dihasilkan (Asri, Sari dan Meidiana, 2022).

Air drying SO₃ absorption, steam turbine generator, dan cerobong SA plant merupakan sumber emisi yang berasal dari sektor industri. Ketiga sumber emisi tersebut menghasilkan besar beban emisi berdasarkan parameter masing-masing. Besar beban emisi dipengaruhi oleh faktor emisi, data aktivitas industri, konsentrasi hasil pemantauan, laju alir volumetrik, dan jam operasi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, dapat ditarik kesimpulan bahwa sumber emisi yang ada di industri kimia berasal dari sektor energi yaitu sumber emisi oleh bahan bakar dengan parameter emisi CO₂, CH₄, N₂O, SO_x, NO_x, dan CO serta sumber bergerak (transportasi) dengan parameter emisi CO₂ dan CO. Sektor industri memiliki sumber emisi *air drying SO₃ absorption* dengan parameter SO_x, CO₂, CH₄, dan N₂O, *steam turbine generator* dengan parameter emisi PM, SO₂, NO_x, CO₂, CH₄, dan N₂O, serta cerobong SA *plant* dengan parameter emisi SO_x, CO₂, CH₄, dan N₂O. Beban emisi total didapatkan dari setiap parameter seluruh sumber emisi yaitu CO₂ sebesar 7.974.580 Ton/Tahun, CH₄ sebesar 6.963.702 Ton/Tahun, N₂O sebesar 20.891.107 Ton/Tahun, SO_x sebesar 6.147.870 Ton/Tahun, NO_x sebesar 3,0580 Ton/Tahun, CO sebesar 0,8062 Ton/Tahun, dan PM sebesar 0,000244 Ton/Tahun.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Asri, L. N., Sari, K. E. dan Meidiana, C. (2022) "Emisi CO Kendaraan Bermotor Pada Ruas Jalan Dengan Tingkat Pelayanan Rendah Di Kota Malang," *Planning for Urban Region and Environment*, 11(1), hal. 31–38.
- Hutagalung, W. L. C., Sakinah, A. dan Rinaldi, R. (2020) "Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca pada Pengelolaan Sampah Domestik dengan Metode IPCC 2006 di TPA Talang Gulo Kota Jambi," *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 5(1), hal. 59–68. doi: 10.29244/jsil.5.1.59-68.
- IPCC (2006a) "IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 2 - Energy," in Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., N. T. and T. K. (eds) (ed.) *National Greenhouse Gas Inventories Programme*. Japan: IGES.
- IPCC (2006b) "IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 3 - Industrial Processes and Product Use," in Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., N. T. and T. K. (eds) (ed.) *National Greenhouse Gas Inventories Programme*. Japan: IGES, hal. 1–110.
- IPCC (2019) "2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories," in Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds) (ed.) *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Switzerland: IPCC.
- Kementerian Lingkungan Hidup (2010) "Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah," in *Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah*.

- Kementerian Lingkungan Hidup (2012) “Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional,” in *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional*.
- Kementerian Lingkungan Hidup (2019) “Baku Mutu Emisi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Pupuk dan Industri Amonium Nitrat,” in *Baku Mutu Emisi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Pupuk dan Industri Amonium Nitrat*.
- Li, M. *dkk.* (2017) “Anthropogenic emission inventories in China: A review,” *National Science Review*, 4(6), hal. 834–866. doi: 10.1093/nsr/nwx150.
- Marlena, I., Huboyo, H. S. dan Andarani, P. (2018) “Inventarisasi Emisi Gas Pencemar Udara Beserta Estimasi Sebarannya Menggunakan Program Aermod Dan Caline4 Dari Sektor Domestik dan Transportasi On Road di Kota Semarang,” hal. 1–9. Tersedia pada: <http://eprints.undip.ac.id/68496/>.
- Rahmawati, I. (2017) *Program Reduksi Emisi Gas Rumah Kaca Di PT Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore Gresik*. Institute Teknologi Sepuluh Nopember.
- Shrestha, R. M. *dkk.* (2013) *Atmospheric Brown Clouds (ABC) Emission Inventory Manual*, Suparyanto dan Rosad (2015). Kenya: United Nations Environment Programme, Nairobi.
- Sofia, D. *dkk.* (2020) “Mitigation strategies for reducing air pollution,” *Environmental Science and Pollution Research*, 27(16), hal. 19226–19235. doi: 10.1007/s11356-020-08647-x.
- Tiemeyer, B. *dkk.* (2020) “A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application,” *Ecological Indicators*, 109, hal. 105838. doi: 10.1016/j.ecolind.2019.105838.