

TUGAS AKHIR - RE 141581

STUDI LITERATUR INVENTARISASI EMISI GAS RUMAH KACA DI KOTA SURABAYA

LANANG RAMADHAN

NRP 03211540000094

Dosen Pembimbing

Dr. Eng. Arie Dipareza Syafe'i, ST., MEPM

NIP 19820119 200501 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



TUGAS AKHIR - RE 141581

**STUDI LITERATUR INVENTARISASI EMISI GAS RUMAH
KACA DI KOTA SURABAYA**

LANANG RAMADHAN

NRP 03211540000094

Dosen Pembimbing

Dr. Eng. Arie Dipareza Syafe'i, ST., MEPM

NIP 19820119 200501 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



FINAL PROJECT - RE 141581

**A REVIEW OF GREENHOUSE GAS INVENTORY IN
SURABAYA CITY**

LANANG RAMADHAN

NRP 03211540000094

Advisor

Dr. Eng. Arie Dipareza Syafe'i, ST., MEPM

NIP 19820119 200501 1 001

ENVIROMENTAL ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Civil, Planning, And Geoengineering

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2022

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI LITERATUR INVENTARISASI EMISI GAS RUMAH KACA DI KOTA SURABAYA

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : Lanang Ramadhan
NRP. 0321154000094

Disetujui oleh

- | | |
|--|------------|
| 1. Dr. Arie Dipareza Syafe'I ST., MEPM
NIP. 19820119 200501 1 001 | Pembimbing |
| 2. Harmin Sulistyaning Titah, ST., MT., PhD
NIP 19750523 200212 2 001 | Penguji |
| 3. Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD
NIP 19711114 200312 2 001 | Penguji |
| 4. Ir. Rr. Atiek Moesriati, M.Kes
NIP 19570602 198903 2 002 | Penguji |



PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang Bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa / NRP : Lanang Ramadhan / 03211540000094
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing / NIP : Dr. Arie Dipareza Syafe'I ST., MEPM / 19820119
200501 1 001

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir dengan Judul “Studi Literatur Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca Di Kota Surabaya” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Mengetahui
Dosen Pembimbing



Dr. Arie Dipareza Syafe'I ST., MEPM
NIP. 19820119 200501 1 001

Surabaya, 25 Juli 2022
Mahasiswa,.



Lanang Ramadhan
NRP 03211540000094

Studi Literatur Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca Di Kota Surabaya

Nama Mahasiswa : Lanang Ramadhan
NRP : 0321154000094
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Dr. Eng Arie Dipareza Syafei, S.T., MEPM

Abstrak

Gas Rumah Kaca merupakan gas-gas yang ada di atmosfer yang menyebabkan efek rumah kaca. Gas rumah kaca berfungsi dengan menyerap radiasi inframerah dan ikut menentukan suhu di atmosfer. Sehingga dalam membantu penurunan Gas Rumah Kaca (GRK) global, setiap kota di Indonesia wajib untuk membuat Rencana Aksi Nasional Penurunan Gas Rumah Kaca (RAN-GRK) dalam rencana pembangunan daerahnya. Inventarisasi GRK dilakukan dengan pemantauan dan pengumpulan data aktivitas sumber emisi serta perhitungan emisi dan serapan GRK. Sehingga diperoleh data mengenai tingkat, status, dan kecenderungan perubahan emisi GRK secara berkala dari berbagai sumber emisi dan penyerapannya termasuk simpanan karbon.

Kota Surabaya memiliki jumlah penduduk 2.874.314 Jiwa. Pertumbuhan penduduk yang di Kota Surabaya yang cepat, menyebabkan Emisi GRK yang dihasilkan semakin besar .studi ini bertujuan untuk menentukan beban emisi GRK dan pemetaannya pada sebuah peta dasar Kota Surabaya. Metode perhitungan yang digunakan akan menggunakan IPCC dan melalui 2 metode alternatif yang akan didapat melalui. Inventarisasi pada studi ini meliputi 4 sektor. sektor energi, sektor limbah, Sektor AFOLU (Agricultural, Forestry, and Other Land Uses), dan IPPU (Industrial Process and Product Uses).

Hasil studi diketahui terdapat metode alternatif untuk Inventarisasi Emisi GRK. Setiap metode memiliki keuntungan tersendiri daripada metode IPCC Emisi GRK di kota Surabaya dengan metode alternatif untuk sektor Limbah 160,732 Gg CO₂, sektor energi 899,031 Gg CO₂, sektor AFOLU 54,283 Gg CO₂, dan sektor IPPU 13,248 Gg CO₂. Total Emisi GRK seluruh sektor di Kota Surabaya dengan metode alternatif yaitu 1.127,294 Gg CO₂

Kata Kunci : Faktor Emisi, GRK, Inventarisasi Emisi

A Review of Greenhouse Gases Inventory Emission In Surabaya City

Student Name : Lanang Ramadhan
NRP : 03211540000094
Department : Teknik Lingkungan
Advisor : Dr. Eng Arie Dipareza Syafei, S.T., MEPM

Abstract

Greenhouse Gases are gases in atmosphere which causes Greenhouse Effect. Greenhouse gases absorb infrared radiation and change the temperature in atmosphere accordingly. In helping reducing the number of Greenhouse Gases in the atmosphere, every City in Indonesia must have Greenhouse Gas Reduction National Action Planning (RAN-GRK) in its territory construction. Greenhouse gases Inventory consist of monitoring and collection of emission source activity data and emission calculation. After calculation, a data of level, status and possibility of emission change are found from various emission source and its absorption including carbon saving.

Surabaya City has a total population of 2.874.314 person. Fast population growth in Surabaya causes a high number of Greenhouse Gases emission produced in Surabaya. This study are used to estimate Greenhouse Gases emission in a basic map of Surabaya. Method of estimation used are from IPCC and two other Alternative method. Alternative method will be obtained from studying journals. In this Greenhouse Gas Inventory will cover 4 sector. The sector are Energy Sector, Waste Sector, AFOLU (Agricultural, Forestry, and Other Land Uses) Sector, and IPPU (Industrial Process and Product Uses) Sector.

Result of the study founds there are alternate method for Greenhouse Gases Emission Inventory. Every method has its own advantage and disadvantage. Greenhouse Gases Emission Inventory Results in Surabaya city with alternate method is 160,732 Gg CO₂ for waste sector, 899,031 Gg CO₂ for energy sector, 54,283 Gg CO₂ for AFOLU sector, and 13,248 Gg CO₂ for IPPU sector. Total emission in Surabaya city is 1.127,294 Gg CO₂

Keyword : Faktor Emisi, GRK, Inventarisasi Emisi

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	I
ABSTRACT	II
DAFTAR ISI.....	III
DAFTAR TABEL	IV
DAFTAR GAMBAR	V
DAFTAR SINGKATAN	V
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	1
1.3 TUJUAN STUDI	2
1.4 RUANG LINGKUP.....	2
1.5 MANFAAT STUDI.....	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 PENGERTIAN GAS RUMAH KACA DAN INVENTARISASI EMISI GAS RUMAH KACA	3
2.2 JENIS GAS RUMAH KACA	3
2.3 DAMPAK GAS RUMAH KACA	4
2.4 SEKTOR EMISI GAS RUMAH KACA	4
2.4.1 Sektor Energi.....	4
2.4.2 Sektor Limbah	10
2.4.3. Sektor AFOLU (Agriculture, Forestry, and Other Land Use).....	16
2.4.4. Sektor IPPU (Industrial Process and Product Uses).....	20
BAB 3 METODE STUDI.....	27
3.1 KERANGKA STUDI.....	27
3.2 IDE STUDI.....	28
3.3 STUDI LITERATUR	28
3.4 PENGUMPULAN DATA	28
3.5 HASIL DAN PEMBAHASAN	28
3.6 KESIMPULAN DAN SARAN	28
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 PEMBAHASAN OBJEK STUDI KASUS	29
4.2 ANALISIS DAN PEMBAHASAN SEKTOR LIMBAH.....	29
4.2.1. Sektor Limbah Padat.....	29
4.2.2 Sektor Limbah Cair.....	34
4.2 ANALISIS DAN PEMBAHASAN SEKTOR ENERGI	39
4.2.1 Pembakaran Bahan Bakar pada Sumber Tidak Bergerak.....	39
4.2.2 Pembakaran Bahan Bakar pada Sumber Bergerak.....	41
4.4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN SEKTOR AFOLU	43

4.4.1 Subsektor Peternakan.....	43
4.4.3 Subsektor Pertanian.....	48
4.5 ANALISIS DAN PEMBAHASAN SEKTOR IPPU.....	50
4.5.1 Industri Produsen Keramik.....	50
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1 KESIMPULAN.....	55
5.2 SARAN	56
DAFTAR PUSTAKA	57

DAFTAR TABEL

TABEL 2.1 NILAI KALOR BAHAN BAKAR DI INDONESIA	6
TABEL 2.2 FAKTOR EMISI DARI PEMBAKARAN BAHAN BAKAR SUMBER STASIONER	7
TABEL 2.3 FAKTOR EMISI BATU BARA	8
TABEL 2.4 PERSAMAAN ANALISA BATU BARA	8
TABEL 2.5 FAKTOR EMISI BATU BARA 2	9
TABEL 2.3 FAKTOR EMISI BAHAN BAKAR SUMBER BERGERAK	10
TABEL 2.6 FAKTOR EMISI CO ₂ SUMBER BERGERAK DARI KENDARAAN BERMOTOR	10
TABEL 2.7 FAKTOR EMISI CH ₄ DAN N ₂ O SUMBER BERGERAK DARI KENDARAAN BERMOTOR	10
TABEL 2.8 KOMPOSISI SAMPAH BARCELONA	12
TABEL 2.9 KOMPOSISI UNSUR SAMPAH BARCELONA	12
TABEL 2.10 FAKTOR EMISI GRK	14
TABEL 2.11 FRAKSI SAMPAH TIAP SKENARIO	15
TABEL 2.12 GWP TIAP SKENARIO.....	15
TABEL 2.13 FAKTOR EMISI METANA DARI FERMENTASI ENTERIK.....	18
TABEL 2.14 FAKTOR EMISI METANA DARI PENGELOLAAN TERNAK.....	19
TABEL 2.15 FAKTOR EMISI DARI PENGELOLAAN KARET.....	24
TABEL 2.16 TABEL METODE JURNAL	24
TABEL 4.1 HASIL PERHITUNGAN GAS METANA	32
TABEL 4.2 JUMLAH PENDUDUK DENGAN AKSES SANITASI LAYAK DI KOTA SURABAYA TAHUN 2020	35
TABEL 4.3 HASIL PERHITUNGAN TOW.....	36
TABEL 4.4 HASIL PERHITUNGAN GRK DARI LIMBAH CAIR	37
TABEL 4.5 HASIL PERHITUNGAN FERMENTASI ENTERIK SEKTOR PETERNAKAN IPCC.....	43
TABEL 4.6 HASIL PERHITUNGAN PENGELOLAAN HEWAN SEKTOR PETERNAKAN IPCC	44
TABEL 4.7 HASIL PERHITUNGAN FERMENTASI ENTERIK SEKTOR PETERNAKAN JURNAL KESATU	45
TABEL 4.8 HASIL PERHITUNGAN PENGELOLAAN HEWAN SEKTOR PETERNAKAN JURNAL KESATU	45
TABEL 4.9 HASIL PERHITUNGAN FERMENTASI ENTERIK SEKTOR PETERNAKAN JURNAL KEDUA.....	46
TABEL 4.10 HASIL PERHITUNGAN PENGELOLAAN HEWAN SEKTOR PETERNAKAN JURNAL KEDUA.....	47

TABEL 4.11 KONSUMSI PUPUK.....	48
TABEL 4.12 MODEL INVENTARISASI EMISI GRK.....	52
TABEL 4.13 HASIL PERHITUNGAN METODE ALTERNATIF.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Skema Kerangka Kerja.....	27
--------------------------------------	----

DAFTAR SINGKATAN

GRK	: Gas Rumah Kaca
MSW	: Municipal Solid Waste
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
IPPU	: Industrial Process and Product Uses
AFOLU	: Agriculture, Forestry And Other Land Uses
TJ	: Tetra Joule
g	: gram
Kg	: Kilogram
Gg	: Gigagram
DOC	: Degradabel Organic Carbon
TOW	: Total Organically degradable material in Wastewater
KK	: Kepala Keluarga

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aktifitas manusia sejak dahulu menyebabkan peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer, hal ini menyebabkan terjadinya perubahan suhu dan iklim. Pada Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 Tentang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup telah memandatkan bahwa dalam melakukan pemeliharaan lingkungan hidup, diperlukan upaya diantaranya dengan cara pelestarian fungsi atmosfer melalui upaya mitigasi dan adaptasi perubahan iklim. Untuk itu Perpres No. 61 Tahun 2011 telah mengatur tentang rencana aksi ataupun langkah-langkah untuk menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK).

Inventarisasi emisi adalah pencatatan secara komprehensif tentang parameter pencemar udara dari sumber-sumbernya dalam suatu wilayah dan periode waktu tertentu (Sa'duddin & Hadi, 2015) Inventarisasi GRK dilakukan dengan pemantauan dan pengumpulan data aktivitas sumber emisi serta perhitungan emisi dan serapan GRK. Sehingga diperoleh data mengenai tingkat, status, dan kecenderungan perubahan emisi GRK secara percale dari berbagai sumber emisi dan penyerapannya termasuk simpanan karbon.

Kota Surabaya sebagai kota terbesar kedua di Indonesia merupakan kota dengan aktivitas penduduk yang tinggi, Berdasarkan sensus penduduk Kota Surabaya tahun 2020, Kota Surabaya memiliki jumlah penduduk 2.874.314 Jiwa. Pertumbuhan penduduk yang di Kota Surabaya yang cepat, menyebabkan Emisi GRK yang dihasilkan semakin besar. Karena hal tersebut perlu dilakukan Inventarisasi GRK untuk mengetahui emisi GRK yang dihasilkan di Surabaya dan menyiapkan tindakan mitigasi dan adaptasi terhadap potensi bahaya tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada Studi yang akan dilaksanakan maka rumusan masalah pada studi ini sebagai berikut :

1. Apakah terdapat metode alternatif selain IPCC yang dapat diaplikasikan untuk Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Di Indonesia
2. Berapa Emisi GRK di Kota Surabaya yang didapatkan melalui metode alternatif tersebut?

1.3 Tujuan Studi

Tujuan dari Studi ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan berbagai metode alternatif untuk inventarisasi Emisi GRK selain metode IPCC
2. Menentukan emisi GRK yang dihasilkan di Kota Surabaya melalui metode alternatif.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari Studi ini adalah

1. Wilayah studi ini meliputi wilayah Kota Surabaya yang berada di Provinsi Jawa Timur. Indonesia. Surabaya memiliki luas wilayah 326,81 km². yang terdiri atas 31 kecamatan dan 163 Kelurahan.
2. Kegiatan studi ini terdiri atas tahap persiapan, tahap studi, tahap pengumpulan data, tahap Analisa hasil, dan tahap pembuatan kesimpulan
3. Perhitungan emisi GRK menggunakan metode alternatif yang akan didapat dari studi

1.5 Manfaat Studi

Manfaat dari Studi ini adalah sebagai berikut

1. Memberikan informasi terkait emisi dan serapan GRK dan juga memberikan informasi terkait tindakan yang dapat dilakukan untuk mengurangi emisi GRK yang dihasilkan
2. Hasil Studi dapat digunakan sebagai dasar dalam pengelolaan lingkungan khususnya terhadap pengendalian emisi GRK yang ada dan menambah wawasan serta pengetahuan tentang inventarisasi GRK.
3. Sebagai sumber informasi dan referensi bagi studi dan penelitian-penelitian selanjutnya

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Gas Rumah Kaca dan Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca

Berdasarkan Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara di Perkotaan Kementerian Lingkungan Hidup (2013) menjelaskan Gas rumah kaca (GRK) merupakan gas di atmosfer yang mempunyai sifat menyerap radiasi infra merah dari permukaan bumi dan memantulkannya Kembali ke lapisan troposfer bawah sehingga konsentrasi GRK meningkat melebihi kondisi alamiah akibat kegiatan manusia dan menyebabkan terjadinya pemanasan global.

Menurut Perpres No. 72 Tahun 2011 Inventarisasi GRK adalah kegiatan untuk memperoleh data dan informasi mengenai tingkat, status, dan kecenderungan perubahan emisi GRK secara berkala dari berbagai sumber emisi (source) dan penyerapnya (sink) termasuk simpanan karbon (carbon stock). Berdasarkan sumber inventarisasi emisi berisi tentang jumlah polutan udara yang dihasilkan di atmosfer pada satu tahun atau periode waktu lainnya dan digunakan untuk menentukan sumber polutan udara yang signifikan, menyesuaikan dengan peraturan yang berlaku, dan menyediakan data untuk model atmosfer

2.2 Jenis Gas Rumah Kaca

Perbedaan antara inventarisasi emisi GRK dan inventarisasi pencemar udara terletak pada jenis zat-zat atau gas-gas yang diinventarisir dan sumber emisinya serta bahwa perhitungan emisi GRK tidak mempertimbangkan efisiensi pengendalian emisi. Berikut ini merupakan jenis-jenis GRK:

- Karbon dioksida (CO₂)
- Metana (CH₄)
- Nitrous oxide (N₂O)
- Hydrofluorocarbons (HFCs)
- Perfluorocarbons (PFCs)
- Sulphur hexafluoride (SF₆)
- Nitrogen trifluoride (NF₃)
- Trifluoromethyl sulphur pentafluoride (SF₅CF₃)
- Halogenated ethers
- Halocarbons lainnya (seperti: CF₃I, CH₂BR₂, CHCl₃, CH₃Cl, CH₂Cl₂)

Sumber pencemar udara terdiri atas sumber bergerak dan sumber tidak bergerak. Sumber bergerak adalah sumber yang dapat bergerak atau berpindah dari satu tempat ke tempat lain. Sumber tidak bergerak adalah sumber yang statis (diam) di suatu tempat. Dalam inventarisasi emisi, kategori sumber yang digunakan adalah: sumber titik, area, dan bergerak. Sumber tidak bergerak diwakili oleh sumber titik dan sumber area. Sumber bergerak diwakili oleh sumber bergerak di jalan raya (*on-road*) dan di bukan jalan raya (*non-road*).

2.3 Dampak Gas Rumah Kaca

Peningkatan efek gas rumah kaca berdampak pada perubahan iklim yang sangat ekstrem di bumi. Hal ini dapat mengakibatkan dampak nyata seperti terganggunya ekosistem, sehingga mengurangi kemampuannya untuk menyerap karbon dioksida di atmosfer dan mencairnya gunung-gunung es di daerah kutub utara yang dapat menimbulkan naiknya permukaan air laut (N.C.Ahmad El Zein, 2015). Pertambahan gas rumah kaca di atmosfer secara terus menerus akan menimbulkan pemanasan global. Pemanasan global adalah kejadian meningkatnya suhu rata-rata di atmosfer, laut dan daratan bumi. Pemanasan global yang terjadi dapat menyebabkan perubahan iklim yang sangat ekstrim sehingga membuat pola musim semakin sulit diperkirakan. Dampak yang dapat dirasakan seperti longsor, kekeringan panjang, panas ekstrim pada saat turunnya kelembapan pada suatu kawasan tertentu, dan banjir akibat dari peningkatan intensitas curah hujan (Samiaji, 2009).

2.4 Sektor Emisi Gas Rumah Kaca

Sektor Emisi gas rumah kaca dapat dibagi menjadi 4 sektor, yaitu sektor limbah, sektor IPPU, sektor energi, dan sektor AFOLU. Data akan dianalisis dengan 3 metode untuk masing2 sektor dimana salah satu metode yaitu metode tier 1 yang berasal dari IPCC 2019 dan 2 metode lainnya akan dicari melalui studi literatur jurnal. Dimana akan dibahas tiap metode pada penjelasan berikut

2.4.1 Sektor Energi

Dalam era industri dan teknologi saat ini, peranan energi sangatlah penting. Bertumbuhnya populasi urban, berkembangnya sektor industri, dan sektor rumah tangga akan meningkatkan konsumsi energi. Konsumsi energi yang terus meningkat menimbulkan dampak peningkatan emisi CO₂ yang tinggi dan tentu saja dapat mempengaruhi konsentrasi gas rumah kaca (Agung, *et al.*, 2017). Pemanfaatan bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas secara berlebihan dalam berbagai kegiatan sehari-hari merupakan penyebab utama

dilepaskannya emisi gas rumah kaca ke atmosfer. Pembangkit listrik, penggunaan alat-alat elektronik seperti AC, TV, komputer, penggunaan kendaraan bermotor dan kegiatan industri merupakan contoh kegiatan manusia yang meningkatkan emisi GRK di atmosfer (Wulandari, *et al.*, 2013). Gas rumah kaca yang dihitung pada sektor energi adalah CO₂

- **Pembakaran Bahan Bakar pada Sumber Tidak Bergerak**

Perhitungan bahan bakar pada sumber tidak bergerak dibagi menjadi dua bagian. Bagian pertama adalah perhitungan emisi berdasarkan jumlah bahan bakar yang digunakan, dan kemudian dikalikan dengan faktor emisinya berdasar nilai energi dalam bahan bakar tersebut. Konsep ini dijelaskan pada subbab

- **Perhitungan Emisi dari Bahan Bakar Berdasarkan Nilai Kalor**

Perhitungan pada sektor ini menggunakan *Tier 1*. Perhitungan emisi GRK ini berdasarkan data aktivitas dan faktor emisi. Perhitungan emisi GRK dari bahan bakar menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Emisi GRK} = \text{Data Aktivitas} \times \text{Faktor Emisi} \quad (\text{IPCC, 2019})$$

Data aktivitas adalah data mengenai banyaknya aktivitas manusia yang terkait dengan banyaknya emisi GRK. Aktivitas energi dapat berupa volume bahan bakar atau berat batubara yang dikonsumsi, banyaknya minyak yang diproduksi di lapangan migas (terkait dengan *fugitive emission*). Faktor emisi adalah suatu koefisien yang menunjukkan banyaknya emisi per unit aktivitas. Unit aktivitas dapat berupa volume yang diproduksi atau volume yang di konsumsi. Untuk pendekatan *Tier 1* ini digunakan faktor emisi *default* (IPCC 2019 GL). Persamaan umum yang digunakan dalam perhitungan emisi GRK dari pembakaran bahan bakar adalah sebagai berikut:

$$\text{Emisi GRK (Kg GRK/tahun)} = \text{Konsumsi energi (TJ/tahun)} \times \text{Faktor emisi (Kg GRK/TJ)} \quad (\text{IPCC, 2019})$$

Faktor emisi menurut default IPCC dinyatakan dalam satuan emisi per unit energi yang dikonsumsi (kg GRK/TJ), sedangkan konsumsi energi yang tersedia pada umumnya dalam satuan fisik seperti ton batubara, kiloliter minyak diesel, dll. Oleh karena itu sebelum menggunakan persamaan diatas data konsumsi energi dikonversi terlebih dahulu ke dalam satuan energi TJ (Terajoule) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Konsumsi Energi (TJ/tahun)} = \text{Konsumsi Energi (satuan fisik/tahun)} \times \text{Nilai Kalor (TJ/satuan fisik)} \quad (\text{IPCC, 2019})$$

Tabel 2.1 merupakan tabel nilai kalor bahan bakar yang digunakan di Indonesia.

Tabel 2.1 Nilai Kalor Bahan Bakar di Indonesia

Bahan Bakar	Nilai Kalor	Penggunaan
Premium*	33x10 ⁻⁶ TJ/liter	Kendaraan bermotor
Solar (HSD, ADO)	36x10 ⁻⁶ TJ/liter	Kendaraan bermotor, pembangkit listrik
Minyak diesel (IDO)	38x10 ⁻⁶ TJ/liter	<i>Boiler</i> industri, pembangkit listrik
MFO	40x10 ⁻⁶ TJ/liter 4,04x10 ⁻² TJ/ton	Pembangkit listrik
Gas bumi	1,055x10 ⁻⁶ TJ/SCF 38,5x10 ⁻⁶ TJ/Nm	Industri, rumah tangga, restoran
LPG	47,3x10 ⁻⁶ TJ/kg	Rumah tangga, restoran
Batubara	18,9x10 ⁻³ TJ/ton	Pembangkit listrik, industri

Sumber: Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional (Pengadaan dan Penggunaan Energi), 2012

Catatan:

*) termasuk pertamax, pertamax plus

HSD : *High Speed Diesel*

ADO : *Automotive Diesel Oil*

IDO : *Industrial Diesel Oil*

Apabila data pemakaian gas yang diperoleh dalam bentuk volume (m³), cara perhitungannya menjadi sedikit berbeda. Perhitungan dari data ini dilakukan dengan cara sebagai berikut :

Konsumsi Energi (TJ) = Pemakaian gas (m³) x Nilai kalor bahan bakar (TJ/m³). (IPCC, 2019)

Untuk mengetahui besarnya emisi (kg GRK/tahun) selanjutnya dihitung dengan:

Emisi GRK (Kg GRK/tahun) = Konsumsi energi (TJ) x FE (CO₂, CH₄, N₂O) (IPCC, 2019)

Beberapa perusahaan ada yang menggunakan satuan MBTU dan MMBTU dalam penggunaan bahan bakar gas sehingga perlu konversi tersendiri untuk menghitung konsumsi bahan bakarnya.

Konversi dari satuan MBTU dan MMBTU adalah sebagai berikut :

- 1 MBTU = 1.055.000 Joule
- 1 MMBTU = 1.055.000.000 Joule
- 1 Joule = 1 x 10⁻¹² Terajoule

Konsumsi gas yang memiliki satuan MBTU/MMBTU dikonversi ke satuan Joule kemudian dikonversi menjadi Terajoule (TJ). Setelah diketahui konsumsi gas dalam satuan TJ kemudian dikalikan dengan faktor emisi (Tabel 2.2) sehingga dapat diketahui emisi yang dihasilkan. Selain menggunakan gas sebagai bahan bakar, PT Hasil Abadi Perdana, PT Sari Mas Permai, PT Suparma, PT Kedawung Setia Corrugated Carton Box Industrial, PT Matahari Sakti, menggunakan batubara sebagai bahan bakar untuk proses produksi. Perhitungan nilai emisinya menggunakan persamaan 2 dan persamaan 4. Nilai faktor emisi bahan bakar tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Faktor Emisi dari Pembakaran Bahan Bakar Sumber Stasioner

Bahan Bakar	Sumber	Faktor Emisi (kg GRK/TJ)		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
NGL/CGN	Industri Manufaktur	64.200	3	0,6
	Rumah Tangga	64.200	10	0,6
	Bangunan Komersial	64.200	10	0,6
Batubara (antrasit)	Industri Energi	98.300	1	1,5
	Industri Manufaktur	98.300	10	1,5
Kayu Bakar		112	30	4

Sumber : Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional (KLH, 2012)

Studi literatur ini mengambil batu bara sebagai data untuk metode alternatif inventarisasi emisi GRK di kota Surabaya. Metode alternatif pertama yang akan digunakan berasal dari jurnal (Shan, Liu, & Guan, 2016). Pada jurnal ini faktor emisi didapatkand dari pabrik produksi kapur. Produksi kapur tersebut memiliki proses sebagai berikut :



Rumus yang digunakan pada jurnal yaitu

$$CE_{\text{coal}} = AD_{\text{coal}} \times EF_{\text{coal}} \quad (\text{IPCC, 2019})$$

Dimana :

CE_{coal} = Emisi CO₂ dari batu bara

AD_{coal} = Jumlah batu bara yang digunakan

EF_{coal} = Faktor Emisi Batu Bara

Dari percobaan tersebut didapatkan faktor emisi batu bara sesuai tabel 2.3

Tabel 2.3 Faktor Emisi Batu Bara

Unit pembuatan batu bara	Konsumsi Batu bara (Juta ton)	Faktor Emisi (ton CO ₂ /ton)	Emisi (Juta ton)
Rotary Kiln	5,08	1,85	9,40
Maerz Lime Kiln	0,76	1,85	1,40
Shaft Kiln	0,79	1,85	1,46
Finikas Lime Kiln	1,68	1,85	3,11
Air Shaft Kiln	0,68	1,85	1,25
Mechanical Shaft Kiln	2,49	1,85	4,60
Sinopec Shaft Kiln	5,01	1,85	9,27
Lain-Lain	14,08	1,85	26,05
Total	30,57	1,85	56,55

Metode alternatif kedua menggunakan jurnal (Roy, Sarkar, Biswas, & Choudhury, 2009) dimana pada metode ini faktor emisi didapatkan dari penggunaan batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan kapasitas 500 MW dan dilakukan selama 7 hari. Dari Analisa tersebut didapatkan persamaan sesuai tabel 2.4.

Tabel 2.4 Persamaan Analisa Batu Bara

SI no	Persamaan	Koefisien Regresi	Perbedaan Mean (%)	Std. Error	Hasil Validasi	
					Perbedaan mean (%)	Standard deviasi
1	$0,420 + 0,056 VM$	0,71	4,53	0,112	11,32	5,63
2	$0,086 + 0,046 FC$	0,91	2,79	0,068	3,39	2,51
3	$-0378 + 0.029 VM + 0,037 FC$	0,96	1,71	0,042	1,81	1,56
4	$0,229 + 0,80 GCV$	0,99	0,99	0,022	0,91	0,74
5	$0,248 + 0,083 NCV$	0,99	0,88	0,022	1,09	0,85

Dari persamaan diatas persamaan 4 memiliki standar deviasi terendah sehingga diambil hasil dari persamaan 4 yang tertera pada tabel 2.5

Tabel 2.5 Faktor Emisi Batu Bara 2

Jumlah Hari	Faktor Emisi (Kg CO ₂ /Kg Coal)	Faktor Emisi (Kg CO ₂ /kWh)
1	1,517	1,000
2	1,524	1,034
3	1,545	1,039
4	1,507	1,015
5	1,539	1,049
6	1,545	1,039
7	1,529	1,114
Mean	1,529	1,041

Jurnal ini menggunakan 1,529 kg CO₂/kg Coal yang merupakan rata-rata dari seluruh hari untuk menghitung inventarisasi emisi GRK di kota Surabaya.

▪ **Pembakaran Bahan Bakar pada Sumber Bergerak**

Emisi GRK dari pembakaran bahan bakar pada sumber bergerak adalah emisi GRK yang dihasilkan dari transportasi. Transportasi tersebut meliputi transportasi melalui darat (jalan raya, kereta api), transportasi melalui air (sungai dan laut) dan transportasi melalui udara (pesawat terbang). Selain itu juga meliputi emisi dari kendaraan atau alat berat yang digunakan oleh industri seperti *forklift*. Hasil emisi GRK dari pembakaran bahan bakar pada sektor transportasi berupa CO₂, CH₄ dan N₂O.

Perhitungan emisi GRK sektor ini menggunakan *Tier 1*. Nilai emisi GRK tergantung pada jumlah konsumsi bahan bakar minyak yang digunakan sebagai bahan bakar kendaraan dalam setiap jenis transportasi. Jenis dari bahan bakar minyak berpengaruh terhadap besarnya nilai emisi karena memiliki faktor emisi yang berbeda. Emisi GRK pada pembakaran bahan bakar pada sumber bergerak dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{Emisi GRK (satuan fisik/tahun)} = \text{Konsumsi energi (TJ/tahun)} \times \text{Faktor emisi (satuan fisik/TJ)}$$

(IPCC, 2019)

kalor bahan bakarnya menggunakan pada Tabel 2.3 sampai dengan Tabel 2.5. Faktor emisi bahan bakar yang digunakan terdapat pada tabel berikut:

Tabel 2.3 Faktor Emisi Bahan Bakar Sumber Bergerak

No	Bahan Bakar	Faktor Emisi (ton/TJ)		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
1	Solar	74.100	3,9	3,9

Sumber : Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional (Pengadaan dan Penggunaan Energi), 2012

Tabel 2.6 Faktor Emisi CO₂ Sumber Bergerak dari Kendaraan Bermotor

Tipe	Emisi kg GRK/TJ
	CO ₂
Motor gasoline	69.300
Gas/Diesel oil	74.100
LPG	63.100
Kerosene	71.900
CNG	56.100
LNG	56.100

Sumber : Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional (Pengadaan dan Penggunaan Energi), 2012

Tabel 2.7 Faktor Emisi CH₄ dan N₂O Sumber Bergerak dari Kendaraan Bermotor

Tipe	CH ₄ Kg/TJ	N ₂ O Kg/TJ
Premium Uncontrolled	33	
Premium dengan catalyst	25	
Solar/ADO	3,9	
Gas bumi/cgn	92	
LPG	62	
Ethanol, truk	260	
Ethanol, mobil	18	

Sumber : IPCC, 2019

2.4.2 Sektor Limbah

Perhitungan emisi GRK sektor limbah terbagi menjadi limbah padat dan limbah cair domestik data dapat didapat dari dinas kebersihan sekitar, perusahaan yang bersangkutan dan dari data populasi penduduk. Berikut penjelasan setiap sektor

▪ **Sektor Limbah Padat**

Pada sektor limbah padat didapat dari timbulan sampah yang dihasilkan dari data penduduk kota Surabaya dan dari jumlah sampah yang masuk ke TPA. Data yang diperoleh untuk sektor limbah padat dianalisis dengan Rumus IPCC 2019 Berikut

$$\text{Emisi CH}_4 = (\text{MSWT} \times \text{MSWF} \times \text{MCF} \times \text{DOC} \times \text{DOCF} \times F \times 16/12 - R) \times (1 - \text{Ox})$$

(IPCC, 2019)

Dimana :

- MSWT : Timbulan Sampah Kota
- MSWF : Persentase Sampah yang masuk ke TPA
- MCF : Faktor Koreksi Metana
- DOC : Degradasi organik karbon dalam sampah
- DOCF : Fraksi DOC sebesar 0,5 berdasarkan IPCC 2019
- F : Fraksi Volume CH₄ sebesar 0,5 berdasarkan IPCC 2019
- 16/12 : Rasio berat molekul CH₄/C
- R : Pemulihan CH₄
- Ox : Faktor Oksidasi sebesar 0,1 berdasarkan IPCC 2019

DOC adalah karakteristik limbah yang menentukan besarnya gas CH₄ yang dapat terbentuk selama proses degradasi komponen organik/karbon yang terdapat pada limbah. Pada sampah padat, besarnya DOC bergantung pada komposisi (% berat) masing-masing komponen sampah. Untuk menghitung nilai DOC dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{DOC} = \sum W_i \times \text{DOC}_i$$

Dimana :

- W_i : Komposisi sampah
- DOC_i : Persentase DOC sesuai IPCC 2019 (wet weight basis)

DOC dihitung dengan menggunakan *worksheet* dari IPCC 2019. Setelah mendapatkan nilai DOC (*Degradable Organic Carbon*), nilai emisi gas metana yang dihasilkan lalu akan dikonversi menjadi Emisi CO₂

Lalu ini

1. Faktor Emisi dihitung dengan menggunakan komposisi unsur sampah. Komposisi unsur ini didapat dari komposisi sampah di Barcelona (Spanyol) dengan yang dapat dilihat pada tabel 2.8 dan 2.9

Tabel 2.8 Komposisi Sampah Barcelona

Komposisi	%
Bahan dapat difermentasi	41,92
Kertas	21,58
Plastic	14,51
Tekstil	2,32
Logam	3,34
Gelas	7,08
Kayu	5,34
Kain dan Karet	1,21
Lain-Lain	2,7

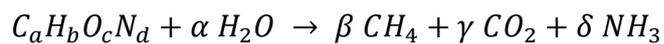
Tabel 2.9 Komposisi Unsur Sampah Barcelona

Persentase Distribusi	%
C	46,12
H	5,96
O	31,62
N	0,83
S	0,13
Abu	15,34

2. Diformulasikan proses yang digunakan di TPA tersebut dan menentukan koefisien stoikiometri proses tersebut dimana terdapat 3 proses yang dikaji yaitu :

- *Anaerobic Digestion* :

Stoichiometric coefficient : $C_{37}H_{60}O_{24}N$

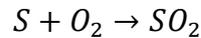
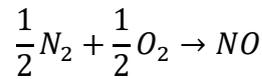
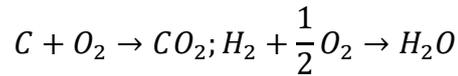


$$\beta = \frac{4a + b - 2c - 3d}{8}$$

$$\gamma = \frac{4a - b + 2c + 3d}{8}$$

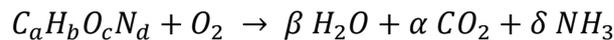
- *Combustion*

Stoichiometric coefficient : $C_{45}H_{70}O_{23}N$



- *Aerobic Digestion*

Stoichiometric coefficient : $C_{37}H_{60}O_{24}N$



$$\alpha = a$$

$$\beta = \frac{b - 3}{2}$$

3. Keseluruhan proses sistem manajemen limbah padat telah dipertimbangkan. Sistem yang dipertimbangkan yaitu

- *Landfill*
- Insinerasi
- Pemilahan + Komposting + *Landfill*
- Pemilahan + Komposting + Insinerasi
- Pemilahan + Biogasifikasi Kering + *Landfill*
- Pemilahan + Biogasifikasi Basah + Insinerasi + *Landfill*

4. Dicari Global Warming Potential (GWP) dari gas rumah kaca, GWP adalah indeks relativitas gas rumah kaca yang diuji dengan gas CO₂ dengan rumus :

$$GWP = \frac{\int_0^{100} a_i c_i(t) dt}{\int_0^{100} a_{CO_2} c_{CO_2}(t) dt} \quad (\text{IPCC, 2019})$$

Dimana : a_i = Intensitas radioaktif gas i

c_i = Konsentrasi gas i pada waktu t

a_{CO_2} = Intensitas radioaktif gas CO₂

c_{CO_2} = Konsentrasi gas CO₂ pada waktu t

Dari hasil perhitungan didapatkan Faktor Emisi untuk tiap sistem pada tabel

Tabel 2.10 Faktor Emisi GRK

MSW Treatment	Faktor Emisi (t. eq. CO ₂ /t MSW)
Landfill	1,97
Insinerasi	1,58
Pemilahan + Komposting + Landfill	1,61
Pemilahan + Komposting + Insinerasi	1,41
Pemilahan + Biogasifikasi Kering + Landfill	1,42
Pemilahan + Biogasifikasi Basah + Insinerasi + Landfill	1,19

lalu metode ketiga berasal dari jurnal (Liamsanguan & Gheewala, 2008) dimana ini terdapat 3 Skenario yaitu :

- Skenario 1
Skenario menggunakan Sistem Manajemen MSW di Provinsi Phuket
- Skenario 2
Skenario terdapat 30% dari bahan dapat didaur ulang dipisah dan diambil, 70% dari bahan mudah terbakar dibawa ke insinerator dan sisanya dibawa ke landfill
- Skenario 3
Skenario terdapat 30% dari sampah makanan dan kebun dipisah di sumber dan diolah dengan Digester Anaerobik 70% dari bahan mudah terbakar dibawa ke incinerator dengan sisanya dibawa ke landfill
- Skenario 4
Skenario terdapat 30% dari bahan dapat didaur ulang dipisah dan diambil, 30% dari sampah makanan dan kebun dipisah di sumber dan diolah dengan Digester Anaerobik, 70% dari bahan mudah terbakar dibawa ke incinerator dengan sisanya dibawa ke landfill.

Fraksi sampah untuk tiap skenario dapat dilihat pada tabel 2.11

Tabel 2.11 Fraksi Sampah Tiap Skenario

Sistem Manajemen	Fraksi Sampah yang diolah (t/FU)			
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
MSW				
Insinerasi	0,71	0,57	0,54	0,46
<i>Landfill</i> (tanpa Energy Recovery)	0,26	0,30	0,31	0,26
Daur Ulang	0,03	0,13	-	0,13
Digester Anaerobik	-	-	0,15	0,15

Dari 4 Skenario tersebut didapat GWP sesuai yang tertera pada tabel 2.12

Tabel 2.12 GWP Tiap Skenario

Sistem Manajemen	GWP (Kg CO ₂)/FU			
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
MSW				
Pemungutan dan Transportasi MSW	0,026	0,023	0,026	0,023
Insinerasi	417	180	248	176
<i>Landfill</i> (tanpa Energy Recovery)	628	484	460	388
Daur Ulang	-39	-99	-	-99
Digester Anaerobik	-	-	0,15	0,15
Faktor Emisi Total	1006	565	679	415

▪ Sektor Limbah Cair

Perhitungan Emisi GRK pada sektor limbah cair metode pertama akan menggunakan tier 1 yang dihitung menggunakan rumus berikut :

$$\text{Emisi CH}_4 = [(U_i \times T_{ij} \times \text{EFI}) \times (\text{TOW} - S)] - R \quad (\text{IPCC, 2019})$$

Dimana :

- U_i : Fraksi populasi
- T_{ij} : Derajat pemanfaatan dari saluran atau sistem pengolahan
- I : Grup pendapatan

- F_i : Faktor emisi
- TOW : Total organik dalam limbah cair
- S : Lumpur yang dipisahkan
- R : Jumlah CH_4 yang dikumpulkan

Grup pendapatan (I) dibedakan menjadi *rural*, *urban high income* dan *urban low income*. Grup pendapatan digunakan untuk menentukan nilai U_i serta T_{ij} . Nilai U_i , T_{ij} , E_{Fi} , S, dan R terdapat pada Guideline IPCC (IPCC, 2019) disesuaikan dengan sistem IPAL/jenis sanitasi yang diakses oleh masyarakat. Perhitungannya menggunakan cara berikut :

$$TOW = P \times BOD \times 0,001 \times I \times 365 \quad (\text{IPCC, 2019})$$

Dimana :

- TOW : Jumlah organik yang dapat diurai
- P : Jumlah penduduk
- BOD : Biological Oxygen Demand
- I : Faktor Koreksi
- 0,001 : Konversi g BOD ke BOD

Data untuk sektor limbah cair ini didapat dari Dinas Kebersihan dan Ruang Terbuka Hijau (DKRTH) Kota Surabaya Tahun 2021, sedangkan data untuk sektor air limbah, yaitu data jumlah penduduk yang terlayani akses sanitasi layak didapatkan dari Dinas Kesehatan Kota Surabaya Tahun 2021 Perhitungan TOW menggunakan data jumlah penduduk karena kegiatan yang dilakukan oleh penduduk akan menghasilkan limbah sehingga hal tersebut berpengaruh dalam perhitungan emisi yang dihasilkan pada sektor limbah cair.

2.4.3. Sektor AFOLU (Agriculture, Forestry, and Other Land Use)

Sesuai arahan IPCC, penggunaan dan perubahan lahan untuk inventarisasi emisi dan serapan GRK dibedakan menjadi 6 (enam) kategori, sebagai berikut:

1. *Forest Land* (Lahan Hutan), kategori ini mencakup semua lahan dengan vegetasi berkayu. Dalam kategori ini juga termasuk sistem dengan struktur vegetasi di luar definisi hutan, tetapi berpotensi bisa mencapai nilai ambang batas atau memenuhi definisi hutan yang digunakan suatu negara.
2. *Cropland* (Lahan Pertanian dan *Agroforestry*), kategori ini meliputi tanaman pangan, termasuk sawah dan sistem *agroforesti*.
3. *Grassland* (Padang Rumput dan Savana), kategori ini mencakup padang penggembalaan dan padang rumput yang tidak dianggap sebagai lahan pertanian.

4. *Wetlands* (Lahan Rawa, Gambut, Sungai, Danau, dan Waduk), kategori ini mencakup lahan dari pengembangan gambut dan lahan yang ditutupi atau jenuh oleh air untuk sepanjang atau sebagian tahun (misalnya, lahan gambut). Kategori ini termasuk reservoir/waduk, sungai alami dan danau.
5. *Settlements* (Permukiman/Infrastruktur), kategori ini mencakup semua lahan yang dikembangkan termasuk infrastruktur transportasi dan pemukiman dari berbagai ukuran, kecuali yang sudah termasuk dalam kategori lain.
6. *Other Land* (Lahan Lainnya), kategori ini meliputi tanah terbuka, lahan berbatu, lahan bersalju, dan semua lahan yang tidak masuk ke salah satu dari lima kategori di atas.

Dalam laporan ini, sektor AFOLU yang dihitung hanya terdiri atas peternakan dan pertanian. Gas-gas rumah kaca yang dihitung adalah CO₂ dan CH₄. Gas metana (CH₄) bisa berasal dari berbagai sumber termasuk emisi dari fermentasi enterik, ternak, budidaya tanaman padi, dan penggunaan pupuk.

- **Sub Sektor Peternakan**

- **Fermentasi Enterik**

Fermentasi enterik adalah gas metana yang dihasilkan oleh hewan memamah biak (herbivora) sebagai hasil samping dari suatu proses pemecahan karbohidrat hasil pencernaan oleh mikroorganisme untuk diserap ke dalam aliran darah. Persamaan untuk menghitung fermentasi adalah sebagai berikut:

$$\text{Emisi} = \text{EF}(\text{T}) \times \text{N}(\text{T}) \times 10^{-6} \quad (\text{IPCC, 2019})$$

Dimana :

- Emisi : Emisi metana dari fermentasi enteric (Gg CH₄/tahun)
- EF(T) : Faktor emisi populasi jenis ternak tertentu (kg/ekor/tahun)
- N(T) : Jumlah populasi jenis atau kategori ternak tertentu (ekor)
- T : Jenis atau kategori ternak

Faktor emisi metana dari fermentasi enterik ditunjukkan pada tabel 2.13

Tabel 2.13 Faktor Emisi Metana dari Fermentasi Enterik

No	Jenis Ternak	Faktor Emisi Metana (kg/ekor/tahun)
1	Sapi pedaging	47
2	Sapi perah	61
3	Kerbau	55
4	Domba	5
5	Kambing	5
6	Babi	1
7	Kuda	18

Sumber : Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional dari Kementerian Lingkungan Hidup (Pertanian, Kehutanan, dan Penggunaan Lahan Lainnya), 2012

○ **Pengelolaan Ternak**

Data populasi ternak yang didapatkan dari Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Kota Surabaya dianalisis menggunakan rumus pengelolaan ternak. Potensi gas metana dapat dihitung dari pengelolaan ternak yang dihasilkan. Potensi gas metana dihitung menggunakan persamaan yang mengacu pada IPCC 2019 sebagai berikut :

$$\text{CH}_4 \text{ manure} = \text{EF}(\text{T}) \times \text{N}(\text{T}) \times 10^{-6} \quad (\text{IPCC}, 2019)$$

Dimana :

- $\text{CH}_4 \text{ manure}$: Emisi metana dari fermentasi enterik (Gg CH_4 /tahun)
- $\text{EF}(\text{T})$: Faktor emisi populasi jenis ternak tertentu (kg/ekor/tahun)
- $\text{N}(\text{T})$: Jumlah populasi jenis atau kategori ternak tertentu (ekor)
- T : Jenis atau kategori ternak

Faktor emisi metana dari pengelolaan ternak ditunjukkan pada tabel 2.14

Tabel 2.14 Faktor Emisi Metana dari Pengelolaan Ternak

No	Jenis Ternak	Faktor Emisi Metana (kg/ekor/tahun)
1	Sapi pedaging	1
2	Sapi perah	31
3	Kerbau	2
4	Domba	0,20
5	Kambing	0,22
6	Babi	7
7	Kuda	2,19
8	Ayam buras	0,02
9	Ayam ras	0,02

Sumber : Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional dari Kementerian Lingkungan Hidup (Pertanian, Kehutanan, dan Penggunaan Lahan Lainnya), 2012

▪ **Subsektor Pertanian**

○ **Emisi Karbondioksida (CO₂) dari Lahan Pertanian**

Dalam perhitungan emisi CH₄ dari lahan pertanian, diperlukan data aktivitas berikut :

a. Data Aktivitas :

- Luas panen padi sawah dalam 1 tahun (A)
- Lama budidaya padi dalam 1 tahun (t)
- EF padi sawah dengan irigasi terus-menerus dan tanpa pengembalian bahan organik (EF_c)
- Faktor skala lahan sawah irigasi intermitten (SF_w)
- Faktor skala rejim air sebelum periode budidaya (SF_p) tidak digunakan karena tergenang sebelum penanaman <30hari
- Jumlah pupuk kandang yang digunakan (ROA)
- Faktor skala untuk jenis tanah oksisols
- Faktor skalav varietas padi Ciherang (SF_r)
- *Conversion factor for different types of organic amendment (CFOA)*

Setelah diketahui data aktivitas, maka tahapan perhitungannya dilakukan dengan mengacu pada Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah

Kaca Nasional dari Kementerian Lingkungan Hidup – Pertanian, Kehutanan, dan Penggunaan Lahan Lainnya Tahun 2012 seperti berikut ini :

b. Tahapan perhitungan :

➤ Menghitung faktor skala untuk pupuk kandang

$$SF_o = (1 + ROA \times CFOA)^{0,59} \quad (\text{IPCC, 2019})$$

➤ Menghitung faktor emisi harian

$$EF_i = (EF_c \times SF_w \times SF_o \times SF_s \times SF_r) \quad (\text{IPCC, 2019})$$

➤ Menghitung emisi metana dari lahan sawah

$$CH_4 \text{ rice} = EF_i \times t \times A \times 10^{-6} \quad (\text{IPCC, 2019})$$

○ **Emisi Karbondioksida (CO₂) dari Penggunaan Pupuk Urea**

Penggunaan pupuk urea pada budidaya pertanian menyebabkan lepasnya CO₂ yang diikat selama proses pembuatan pupuk. Urea (CO(NH₂)₂) diubah menjadi amonium (NH₄⁺), ion hidroksil (OH⁻), dan bikarbonat (HCO₃⁻) dengan adanya enzim urease. Mirip dengan reaksi tanah pada penambahan kapur, bikarbonat yang terbentuk selanjutnya berkembang menjadi CO₂ dan air. Emisi CO₂ dari penggunaan pupuk urea dihitung dengan persamaan berikut :

$$CO_2 \text{ Emission} = M \text{ ure} \times EF \text{ urea} \quad (\text{IPCC, 2019})$$

Dimana :

- CO₂ Emission = Emisi C tahunan dari aplikasi urea (ton CO₂/tahun)
- M urea = Jumlah pupuk urea yang diaplikasikan (ton/tahun)
- EF urea = Faktor emisi sebesar 0,20 berdasarkan Pedoman Penyelenggaraan

Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional dari Kementerian Lingkungan Hidup – Pertanian, Kehutanan, dan Penggunaan Lahan Lainnya Tahun 2012

2.4.4. Sektor IPPU (Industrial Process and Product Uses)

Dalam analisis sektor ini diperlukan data industri pada wilayah yang dicari dan produksi yang dihasilkan . selain itu diperlukan data bahan baku dan kapasitas industri. Dalam perhitungan di sektor ini perlu diperhatikan faktor emisi yang terdapat pada guideline IPCC 2019 agar sesuai dengan industri wilayah yang dianalisa.. Pada sektor ini sumber utama emisi GRK yaitu dari kegiatan proses industri dan penggunaan produk. Sumber-sumber emisi dari sektor IPPU dikelompokkan dalam delapan kategori utama yaitu :

- a. Industri mineral
- b. Industri kimia
- c. Industri logam

- d. Penggunaan produk bahan bakar non-energi dan pelarut
- e. Industri elektronik
- f. Penggunaan produk pengganti zat-zat yang menipiskan lapisan ozon (ODS)
- g. Pembuatan produk-produk lainnya dan penggunaannya
- h. Lain-lain

Perhitungan emisi GRK pada sektor IPPU disesuaikan dengan proses produksi masing-masing industri dan jenis bahan yang digunakan. studi literatur ini untuk sektor IPPU hanya akan mengambil industri mineral sebagai studi. Berikut langkah-langkah perhitungannya.

▪ **Industri Produsen Keramik**

a. Data yang digunakan

- Data total produksi keramik (ton/tahun). PT Platinum Ceramic Industry memiliki data produksi dalam satuan m²/tahun. Sehingga untuk mendapatkan total produksi dalam satuan ton/tahun, maka perlu dicari massa jenisnya.
- Bahan baku keramik yaitu *clay* (tanah liat)
- Massa jenis *clay* / tanah liat adalah 1.702 kg/m³
- Asumsi ketebalan keramik adalah 1 cm
- Faktor emisi batu kapur (CaCO₃) dari IPCC GL Tahun 2019 sebesar 0,43971 ton CO₂/ton karbonat
- Faktor emisi dolomit (CaMg(CO₃)₂) dari IPCC GL Tahun 2019 sebesar 0,47732 ton CO₂/ton karbonat

b. Persamaan perhitungan yang digunakan tercantum pada IPCC GL 2019 Volume 3 (sektor IPPU) Chapter 2 (Emisi Industri Mineral) Halaman 2.34

$$\text{Emisi CO}_2 = M_c \times (0,85 \text{ EF}_{1s} + 0,15 \text{ EF}_d) \quad (\text{IPCC, 2019})$$

Dimana :

- Emisi CO₂ : Emisi CO₂ dari kegiatan produksi
- M_c : Massa karbonat yang digunakan (ton)
- EF_{1s} atau EF_d : Faktor emisi dari batu kapur atau kalsinasi dolomit (ton CO₂/ton karbonat)

Menurut IPCC kandungan karbonat dalam *clay* dapat diasumsikan sebesar 10%, dalam industri ini keramik yang dihasilkan terbuat dari *clay*, maka berat keramik yang dimasukkan dalam rumus hanya 10% dari berat total keramik.

c. Langkah perhitungan emisi

Perhitungan emisi GRK untuk industri keramik menggunakan data hasil produksi keramik dalam satuan ton/tahun. Data *clay* atau tanah liat sebagai bahan bakunya tidak dihitung untuk menghindari *double counting*. Berikut langkah perhitungan emisinya :

- 1) Menghitung volume total keramik

$$\text{Volume Keramik} = \text{Luas keramik} \times \text{tinggi asumsi keramik}$$

- 2) Menghitung berat total keramik

$$\text{Berat total keramik} = \text{Volume keramik} \times \text{massa jenis keramik}$$

- 3) Emisi CO₂

$$\text{Emisi CO}_2 = 10\% \times \text{Berat total keramik} \times (0,85 \text{ EF}_{ls} + 0,15 \text{ EF}_d)$$

▪ **Industri Produsen *Calcined Petroleum Coke***

- a) Data yang digunakan

- Data hasil produksi *calcined petroleum coke* (ton/tahun)
- Faktor Emisi dari US EPA *Emission Factors* 2014

Persamaan yang digunakan:

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Total produk (ton/tahun)} \times \text{Faktor emisi CO}_2 \quad (\text{IPCC, 2019})$$

$$\text{Emisi CH}_4 = \text{Total produk (ton/tahun)} \times \text{Faktor emisi CH}_4 \quad (\text{IPCC, 2019})$$

$$\text{Emisi N}_2\text{O} = \text{Total produk (ton/tahun)} \times \text{Faktor emisi N}_2\text{O} \quad (\text{IPCC, 2019})$$

- b) Langkah perhitungan emisi

Perhitungan emisi GRK untuk industri *calcined petroleum coke* menggunakan data hasil produksi *calcined petroleum coke* dalam satuan ton/tahun. Data *green petroleum coke* sebagai bahan bakunya tidak dihitung untuk menghindari *double counting*. Berikut langkah perhitungan emisinya.:

- 1.

$$\text{Emisi GRK} = \text{Total produk (ton/tahun)} \times \text{faktor emisi GRK} \quad (\text{IPCC, 2019})$$

2. Mengkonversi emisi CH₄ dan N₂O ke satuan emisi CO₂
3. Menjumlahkan seluruh emisi CO₂ baik dari hasil konversi atau hasil perhitungan langsung.

▪ **Industri Produsen *Glassware***

- A. Data yang digunakan

- Data total penggunaan *limestone* (ton/tahun)
- Data total penggunaan *soda ash* (ton/tahun)

- Data total produksi utama (*glassware*) (ton/tahun)
- Data total produksi sampingan *cullet* (ton/tahun)
- Faktor emisi batu kapur (CaCO_3) dari IPCC GL Tahun 2019 sebesar 0,43971 ton CO_2 /ton karbonat
- Faktor emisi soda ash (Na_2CO_3) dari IPCC GL Tahun 2019 sebesar 0,41492 ton CO_2 /ton karbonat
- Faktor emisi untuk produksi kaca dari IPCC GL Tahun 2019 sebesar 0,2 ton CO_2 /ton *glass*

B. Persamaan perhitungan yang digunakan tercantum pada IPCC GL 2019 Volume 3 (sektor IPPU) *Chapter 2* (Emisi Industri Mineral) Halaman 2.28. Persamaan perhitungan yang digunakan ada 2 (dua), yang pertama perhitungan emisi dari penggunaan zat karbonat sebagai bahan baku, kemudian yang kedua adalah perhitungan emisi untuk hasil produksi *glassware*. Dalam industri ini yang tergolong dalam jenis karbonat adalah batu kapur dan soda *ash*. Perhitungan emisi pada industri *glassware* menggunakan data batu kapur, soda *ash*, hasil produksi *glassware* dan *cullet*. Pasir kwarsa dan $\text{Al}(\text{OH})_2$ tidak dilakukan perhitungan emisi karena tidak termasuk dalam jenis karbonat maupun jenis kaca selain itu juga tidak ditemukan faktor emisinya dalam IPCC GL Tahun 2019.

Berikut persamaan perhitungan emisi untuk penggunaan karbonat.

$$\text{Emisi CO}_2 = M_i \times E_{Fi} \times F_i \quad (\text{IPCC, 2019})$$

Dimana :

1. Emisi CO_2 : Emisi CO_2 dari kegiatan produksi
2. M_i : Massa karbonat yang digunakan (ton)
3. E_{Fi} : Faktor emisi dari karbonat tertentu (ton CO_2 /ton karbonat)
4. F_i : Fraksi kalsinasi yang dicapai untuk karbonat
Dapat diasumsikan fraksi kalsinasinya adalah 1,00

Persamaan perhitungan emisi produksi kaca :

$$\text{Emisi CO}_2 = M_g \times E_{Fi} \times (1 - \text{CR}) \quad (\text{IPCC, 2019})$$

Dimana :

5. Emisi CO_2 : Emisi CO_2 dari kegiatan produksi
6. M_g : Massa kaca yang digunakan (ton)

7. EF : Faktor emisi untuk pembuatan kaca (ton CO₂/ton glass)
8. Fi : Cutlet ratio yang untuk proses, fraksi. nilai Fraksinya adalah 0,5

▪ **Industri Produsen *Conveyor Belt* dan *Rubber Article***

a. Data yang digunakan

- Data total hasil produksi *conveyor belt* (ton/tahun)
- Data total hasil produksi *rubber article* (ton/tahun)
- Faktor emisi dari (Jawjit, Kroeze, & Jawjit, 2010) seperti tertera pada tabel 2.15

b. Asumsi yang digunakan

- Bahan *conveyor belt* adalah karet seluruhnya (100%), karena ketiadaan data berapa persen karet yang menyusun *conveyor belt*
- Karet yang dihasilkan dari *latex* yang ditanam pada proses penanaman. Proses penanaman ini ada dua : 1) *latex* dari penanaman muda, segar dan tanah deforestasi, 2) penanaman lama dari tanah terolah. Emisi yang dihasilkan akan lebih besar dari penanaman pada lahan deforestasi. Faktor emisi tersebut ditampilkan pada tabel di bawah. Laporan ini akan menggunakan asumsi bahwa *latex* diproduksi pada lahan deforestasi, sehingga kami memilih angka faktor emisi terbesar. Bahan karet *conveyor belt* berasal dari *block rubber* (Jawjit, Kroeze, & Jawjit, 2010)

Tabel 2.15 Faktor Emisi Dari Pengelolaan Karet

<i>Product</i>	<i>Latex from relatively young plantations on deforested land</i>	<i>Latex from relatively old plantations on cultivated land</i>
<i>Concentrated latex</i>	13	0,54
<i>Block rubber (STR 20)</i>	13	0,7
<i>Ribbed Smoked Sheet (RSS)</i>	21	0,66

Sumber : (Jawjit, Kroeze, & Jawjit, 2010)

c. Persamaan yang digunakan

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Total produk (ton/tahun)} \times \text{Faktor Emisi CO}_2 \quad (\text{IPCC, 2019})$$

Emisi CO₂ = Total produk (ton/tahun) x faktor emisi CO₂

▪ **Industri Produsen *Plate* Baja**

a. Data yang digunakan

- Data total hasil produksi *plate* baja
- Faktor emisi yang digunakan bersumber dari *Worldsteel Association* yaitu sebesar 1,85 ton CO₂/ton baja

b. Persamaan yang digunakan

Perhitungan emisi hanya dilakukan untuk hasil produksi *plate* baja, karena jika slab dilakukan perhitungan emisi dengan menggunakan faktor emisi di atas dapat terjadi *double counting* dan ketidaksesuaian dengan faktor emisinya.

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Total Produk (ton/tahun)} \times \text{Faktor Emisi CO}_2 \text{ (IPCC, 2019)}$$

Metode jurnal alternatif yang akan digunakan untuk setiap sektor dapat dilihat pada Tabel

2.16

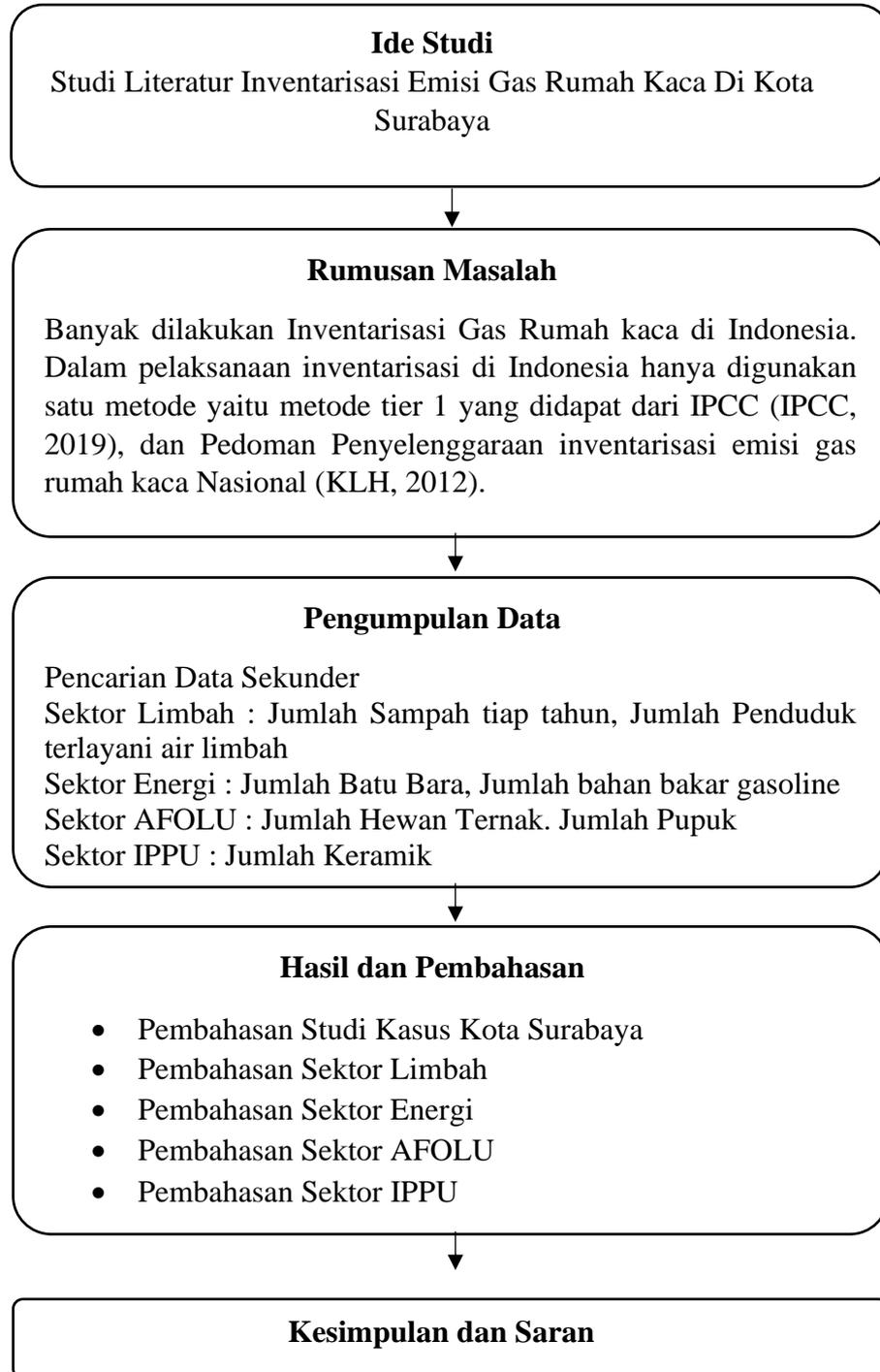
Tabel 2.16 Metode Inventarisasi Tiap Sektor

Sektor	Subsektor	Metode Alternatif
Limbah	Padat	(Balsadano & Soriano, 2000), (Liamsanguan & Gheewala, 2008)
	Cair	(Daelman, Voorthuizen, Dongen, Volcke, & Loosdrecht, 2012) (Campos, et al., 2016)
Energi	Bahan Bakar Sumber Tidak Bergerak	(Shan, Liu, & Guan, 2016) (Roy, Sarkar, Biswas, & Choudhury, 2009)
	Bahan Bakar Sumber Bergerak	(Fornaro, et al., 2014) (Qu, et al., 2021)
AFOLU	Peternakan	(Zhou, Jiang, & Chen, 2007) (Wolf, Asrar, & West, 2017)
	Pertanian	(Kim, et al., 2017) (Kim, Jeong, Kim, Kim, & Kim, 2016)
IPPU	Keramik	(Riyakad & Chiarakorn, 2015) (Sani & Nzihou, 2017)

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

BAB 3 METODE STUDI

3.1 Kerangka Studi



Gambar 2.1 Skema Kerangka Kerja

3.2 Ide Studi

Ide dari Studi ini adalah Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca di Kota Surabaya. Ide studi ini muncul didasarkan pada semakin meningkatnya gas rumah kaca yang menjadi sumber pemanasan global, dan Indonesia merupakan peringkat ke-5 dalam penyumbang emisi GRK terbesar. Di Indonesia IPCC 2019 dan Pedoman Inventarisasi gas rumah kaca digunakan sebagai pedoman. Studi ini berharap dapat menemukan metode lain dalam melakukan inventarisasi Gas Rumah kaca dengan mengaplikasikan pada data Gas Rumah kaca di kota Surabaya

3.3 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan guna mengumpulkan informasi dan data yang mendukung topik studi yang dilakukan. Studi literatur ini juga memuat informasi yang dapat mendukung analisis dan pembahasan terhadap studi dan perhitungan yang akan dilakukan. Studi literatur dilakukan dengan memanfaatkan jurnal ilmiah, buku teks, laporan tugas akhir, prosiding, peraturan pemerintah dan sumber lain yang valid dan legal, yang berhubungan dengan inventarisasi emisi gas rumah kaca.

3.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data berupa data sekunder yang berasal dari Jurnal dan Instansi Terkait. Data yang dicari berkaitan dengan empat sektor yang akan diteliti yaitu sektor limbah, sektor AFOLU, sektor energi dan sektor IPPU.

3.5 Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan dilakukan dengan melakukan kajian pustaka berdasarkan perbandingan dari studi kasus dengan data literatur yang telah dikumpulkan. Studi ini dilakukan pada empat sektor yaitu sektor energi, sektor limbah, sektor IPPU, dan sektor AFOLU. Dari setiap sektor akan dicari dua metode selain metode IPCC yang didapat melalui Jurnal yang telah dikaji. Dan akan diaplikasikan pada data sekunder untuk inventarisasi emisi Gas Rumah Kaca di Surabaya. Dari hasil studi kasus akan digunakan metode yang memiliki hasil paling mendekati metode IPCC sebagai metode alternatif.

3.6 Kesimpulan dan Saran

Dari pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil suatu kesimpulan yang menyatakan ringkasan dari hasil studi. Kesimpulan yang diperoleh akan menjawab perumusan masalah studi. Selain kesimpulan, saran juga dapat diberikan untuk perbaikan studi dan pelaksanaan studi selanjutnya mengenai inventarisasi emisi gas rumah kaca di Kota Surabaya

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembahasan Objek Studi Kasus

Kota Surabaya merupakan Kota yang terletak di Provinsi Jawa Timur, Indonesia.. Batas wilayah Kota Surabaya adalah sebagai berikut:

- Utara : Selat Madura
- Timur : Selat Madura
- Selatan : Kabupaten Sidoarjo
- Barat : Kabupaten Gresik

Kota Surabaya memiliki Luas wilayah 326,81 Km² yang terbagi dalam 31 kecamatan dan 154 Kelurahan. Kota Surabaya memiliki jumlah penduduk sebesar 2.880.284 Jiwa. Ini membuat Kota Surabaya menjadi kota terbesar kedua di Indonesia. (BPS Kota Surabaya, 2022). Kota Surabaya sebagai kota terbesar kedua di Indonesia menjadikan kota Surabaya salah satu penghasil emisi yang signifikan maka kota Surabaya menjadi objek studi kasus yang sesuai untuk studi literatur ini.

4.2 Analisis dan Pembahasan Sektor Limbah

4.2.1. Sektor Limbah Padat

Sektor limbah padat terdiri dari emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari limbah padat domestik (sampah kota) atau *municipal solid waste* (MSW). Pada kajian inventarisasi ini perhitungan sektor limbah akan dikaji dengan beberapa metode.

Metode pertama akan menggunakan metode yang berasal dari jurnal Balsadano & Soriano (2000) Pada jurnal tersebut dilakukan perhitungan faktor emisi. kita dapat menghitung jumlah emisi CO₂ dengan mengalikan Total MSW dengan Faktor Emisi tersebut. Disini kita gunakan Total MSW kota Surabaya pada tahun 2021. Jumlah sampah yang masuk ke TPA Benowo Surabaya sebesar 243,18 Gg/tahun (KLHK, 2020) dikarenakan TPA benowo memiliki sistem Pemilahan + Komposting + Landfill, perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Total MSW} &= 243,18 \text{ Gg} \\ \text{Faktor Emisi} &= 1,61 \text{ t CO}_2/\text{ t MSW} \\ \text{Emisi CO}_2 &= \text{Total MSW} \times \text{Faktor Emisi} \\ &= 243,18 \text{ Gg} \times 1,61 \\ &= 391, 520 \text{ Gg CO}_2 \end{aligned}$$

Perlu dicatat Emisi tersebut bukan merupakan Net Emissions dari limbah padat dikarenakan CO₂ yang dilepaskan dari proses ini didapatkan dari fraksi material organik yang

dapat difermentasi dan berasal dari sumber biomassa (Tanaman, hutan, dll.) yang tumbuh Kembali tiap tahun. Sehingga tidak bisa dianggap Net emissions

Metode kedua yang akan kita pakai adalah metode yang berasal dari Pedoman Inventarisasi gas rumah kaca (KLH, 2012) dan IPCC (IPCC, 2019) Langkah pertama dalam perhitungan emisi GRK dengan metode ini adalah menghitung DOC (*Degradable Organic Carbon*) dengan menggunakan *worksheet* dari IPCC 2019 dan data yang dibutuhkan berupa jumlah timbulan sampah dan DOC. Nilai DOC menentukan besarnya gas CH₄ yang dapat terbentuk pada proses degradasi komponen organik/karbon yang ada pada limbah. Pada penelitian ini digunakan DOC dari Kajian Inventarisasi Gas Rumah Kaca tahun 2021 Surabaya (DLH Surabaya, 2021). Didapatkan Nilai DOC sebesar 0,1840

Nilai DOC (*Degradable Organic Carbon*) sudah didapatkan, nilai emisi gas metana yang dihasilkan di Kota Surabaya dapat dihitung dengan bantuan *worksheet* (IPCC, 2019). Khusus untuk nilai *recovery* (pemulihan CH₄) di TPA sudah ada penangkapan gas metan sehingga nilai gas metan yang dipulihkan/tidak terlepas di udara sebesar 3,2562 Gg CH₄. (DLH Surabaya, 2021) Setelah menghitung nilai DOC dan nilai *recovery* CH₄, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan menggunakan *worksheet* (IPCC, 2019), sebagaimana terdapat pada Berikut merupakan contoh perhitungannya:

Total sampah masuk TPA	= 243,18 Gg/tahun
Nilai DOC	= 0,1840
Fraksi DOC	= 0,5 (IPCC, 2019)
Faktor koreksi metana	= 0,5 (IPCC, 2019)
DDOC _{md}	= Total sampah yang dibuang ke TPA x nilai DOC x fraksi DOC x faktor koreksi metana (KLH, 2012) = 243,18 Gg/tahun x 0,1840 x 0,5 x 0,5 = 11,1863 Gg
Fraksi CH ₄	= 0,5 (IPCC, 2019)
Rasio	= 16/12 (IPCC, 2019) = 1,33
CH ₄ yang dihasilkan	= DDOC _{md} x fraksi CH ₄ x rasio = 11,1863 Gg x 0,5 x 1,3368 = 7,4389 Gg CH ₄
<i>Recovery</i> CH ₄	= 3,2562 Gg (DLH Surabaya, 2021)
Faktor oksidasi	= 0,1 (IPCC, 2019)

$$\begin{aligned}\text{Emisi CH}_4 &= (\text{CH}_4 \text{ yang dihasilkan} - \text{recovery CH}_4) \times (1 - \text{faktor oksidasi}) \\ &= (7,4389 \text{ Gg} - 3,2562 \text{ Gg}) \times (1 - 0,1) \\ &= 3,7644 \text{ Gg CH}_4/\text{tahun}\end{aligned}$$

TABEL 4.1 Hasil Perhitungan Gas Metana

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Tipe	Wilayah	Total Sampah TPA (Gg)	DOC	DOCf	MCF	DDOCMD (Gg)	F	Konversi dan Rasio (16/12)	CH yang dihasilkan (Gg)	R (Gg)	Ox	Emisi CH4
Dikelola - Anaerob	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dikelola – Semi- Aerob	Kota Surabaya	243,18	0,184	0,5	0,5	11,1863	0,5	1,33	7,4389	3,2562	0,1	3,7644
Tidak Dikelola – Kedalaman limbah > 5m dan atau lebih tinggi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Sumber : (IPCC, 2019) Hasil Perhitungan, 2022

Hasil pada tabel 4.1 , *sheet* kolom yang digunakan untuk perhitungan emisi GRK yang dibuang ke TPA adalah dikelola – semi aerob. TPA Benowo dalam operasionalnya dikelola sesuai dengan desain awalnya yaitu *sanitary landfill* yang harus dilakukan penutupan *layer* setiap hari. Emisi metana yang dihasilkan dari limbah padat adalah sebesar 3,7644 Gg CH₄. Untuk mengubahnya ke CO₂, maka nilai emisi CH₄ harus dikalikan faktor konversinya yaitu 25, sehingga besarnya nilai emisi limbah padat di TPA adalah sebesar 94,1102 Gg CO₂e.

Metode ketiga yang akan digunakan adalah metode berdasarkan jurnal Liamsanguan & Gheewala (2008). Dalam jurnal tersebut didapatkan *Global Warming Potential* (GWP) dari 4 skenario yang telah ditentukan

Metode ini akan dilakukan perbandingan Sistem manajemen MSW tiap skenario dan dicari yang lebih sesuai dengan Sistem Manajemen MSW di Surabaya yaitu skenario 2, maka akan kita gunakan Skenario 2 dalam perhitungan Total MSW

$$\begin{aligned}
 \text{Functional Unit (FU)} &= 1 \text{ Ton Waste} \\
 \text{GWP} &= 565 \text{ Kg CO}_2/\text{FU} \times 10^{-6}/10^{-3} \\
 &= 0,565 \text{ Gg CO}_2/\text{Gg Waste} \\
 \text{MSW} &= 243,18 \text{ Gg} \\
 \text{Emisi CO}_2 &= \text{MSW} \times \text{GWP} \\
 &= 243,18 \text{ Gg} \times 0,565 \text{ Gg CO}_2/\text{Gg Waste} \\
 &= 137,397 \text{ Gg CO}_2
 \end{aligned}$$

Metode ini memiliki keuntungan tidak memerlukan data DOC seperti pada IPCC namun memiliki kelemahan keakuratan karena harus menentukan skenario yang paling dekat dengan sistem manajemen MSW lokasi.

Studi kasus dengan ketiga metode diatas didapatkan Emisi CO₂ dengan Metode IPCC (IPCC, 2019) dan Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca (KLH, 2012) yaitu 94,110 Gg CO₂. untuk metode dari jurnal Balsadano & Soriano (2000) didapatkan 391,520 Gg CO₂, dan untuk metode dari Jurnal Liamsanguan & Gheewala (2008) didapatkan 137,397 Gg CO₂.

hasil diatas menunjukkan metode dari jurnal Balsadano & Soriano (2000) memiliki hasil yang jauh dari hasil perhitungan IPCC sehingga kurang tepat untuk digunakan untuk Inventarisasi Emisi Gas Rumah kaca. Untuk metode jurnal Liamsanguan & Gheewala (2008) relatif tidak jauh sehingga bisa digunakan sebagai metode alternatif

4.2.2 Sektor Limbah Cair

Perhitungan emisi gas rumah kaca pada subsektor air limbah akan dihitung menggunakan 3 metode dimana metode pertama akan menggunakan rumus IPCC (IPCC, 2019) Sebelum menghitung emisi GRK, perlu dihitung terlebih dahulu nilai TOW (*Total Organically Degradable Material in Wastewater*). TOW adalah total material organik dalam limbah yang terurai didapatkan dari populasi penduduk Kota Surabaya yang terlayani oleh akses sanitasi yang layak. Untuk jumlah penduduk dengan akses sanitasi tidak layak atau masih melakukan praktik buang air besar sembarangan baik di sungai, laut, atau danau tidak dimasukkan karena berdasarkan pedoman inventarisasi gas rumah kaca masuk kategori *none* dengan faktor emisi 0 dan derajat utilisasi juga 0 untuk kota dengan pendapatan tinggi (*high income*) Selanjutnya, emisi dari IPLT Kota Surabaya yang memiliki *oxidation ditch* juga tidak dihitung karena *oxidation ditch* merupakan pengolahan air limbah biologis aerobik, dimana berdasarkan pedoman inventarisasi gas rumah kaca (KLH, 2012). disebutkan bahwa pada pengolahan aerobik tidak dihasilkan emisi gas rumah kaca namun menghasilkan lumpur/*sludge* yang perlu diolah melalui *anaerobic digestion*, *land disposal*, maupun insinerasi. Limbah cair yang tidak dikumpulkan namun diolah setempat, seperti *latrine* dan *septic tank* untuk limbah cair domestik merupakan sumber emisi gas rumah kaca yang tercakup dalam inventarisasi. Jumlah penduduk yang terlayani ditentukan dari jumlah KK yang dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Jumlah Penduduk dengan Akses Sanitasi Layak di Kota Surabaya Tahun 2020

No	Kecamatan	Jumlah KK	Penduduk Dengan Akses Sanitasi Layak	
			Jumlah	Persentase (%)
1	Sukomanunggal	33.503	32.805	97,21
2	Tandes	29.677	29.677	100
3	Asemrowo	14.104	12.868	85,51
4	Benowo	21.125	20.647	90,38
5	Pakal	17.767	17.749	99,88
6	Lakarsantri	19.173	19.173	100
7	Sambikerep	20.609	20.609	100
8	Genteng	20.106	19.562	97,96
9	Tegalsari	33.191	32.959	98,42
10	Bubutan	33.014	32.540	98,82
11	Simokerto	31.431	30.392	96,92
12	Pabean Cantikan	24.978	23.905	95,81
13	Semampir	55.860	52.556	92,55
14	Krembangan	37.260	36.075	97,64
15	Bulak	14.178	14.060	98,68
16	Kenjeran	51.810	51.447	99,1
17	Tambaksari	74.238	73.327	98,75
18	Gubeng	45.988	45.450	99
19	Rungkut	37.253	36.961	99,2
20	Tenggilis	18.976	18.889	99,61
21	Gunung Anyar	18.736	18.412	97,98
22	Sukolilo	35.538	35.124	98,94
23	Mulyorejo	28.201	28.076	99,6
24	Sawahan	65.466	64.779	98,63
25	Wonokromo	52.254	51.102	97,65
26	Karang Pilang	23.868	23.714	98,82
27	Dukuh Pakis	19.467	19.467	100
28	Wiyung	23.114	23.114	100
29	Gayungan	14.279	14.279	100
30	Wonocolo	25.392	25.048	98,82
31	Jambangan	16.677	16.677	100
Jumlah		957.278	941.443	

Sumber : Dinas Kesehatan, 2021

Rata-rata anggota keluarga = 3,24 (BPS Kota Surabaya, 2022)

Jumlah keluarga dengan akses sanitasi yang layak = 941.443 keluarga

Jumlah penduduk Kota Surabaya dengan akses sanitasi yang layak

$$= 941.443 \text{ keluarga} \times 3,24$$

$$= 3.050.275 \text{ orang}$$

Sebanyak 941.443 keluarga dari total 957.278 keluarga di Kota Surabaya telah memiliki akses sanitasi yang layak. Dalam bentuk persentase, yaitu sebanyak 98,34% keluarga di Kota Surabaya telah memiliki akses sanitasi yang layak.

Adapun nilai komponen organik yang dapat diurai dan faktor koreksi yang dibuang ke selokan untuk menghitung TOW didapatkan dari IPCC 2019. Hasil perhitungan dari TOW dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan TOW

A	B	C	D	E	F
Kota	P ² (orang)	BOD ¹ (g/orang/hari)	BOD ² (kg BOD/tahun)	I ¹	TOW ² (kg BOD/tahun)
					BxDxE
Surabaya	3.050.275	40	14,6	1	42.052.146,4

Sumber : (IPCC, 2019), Hasil Perhitungan

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai TOW sebesar 42.052.146,4 kg BOD/tahun. Kota Surabaya merupakan kota dengan grup *high income*, sehingga menggunakan fraksi populasi sebesar 0,12 sesuai dengan IPCC 2019. Proses pengolahan limbah cairnya dilakukan dengan beberapa cara yaitu adanya *septic tank*, jamban (*latrine*), saluran (*sewer*), dan lainnya. Fraksi untuk tiap-tiap pengolahan limbah cair di Kota Surabaya dan faktor emisinya disesuaikan dengan Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional dari Kementerian Lingkungan Hidup – Pengelolaan Limbah tahun 2012 sebagaimana disampaikan pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan GRK dari Limbah Cair

A	B	C	D	E	F	G	H
Kelompok Pendapatan	Jenis Perlakuan	U_i^1	T_{ij}^2	E_{fj}^2	TOW ³	Emisi Metana ³ (kg CH ₄ /Tahun)	Emisi Metana ³ (Gg CH ₄ /Tahun)
						$C_x D_x E_x F$	$G_x 10^{-6}$
Perkotaan dengan penghasilan yang tinggi	Septic Tank	0,12	0,88	0,3	42.052.146,4	1.332.211,99	1,3322
	Jamban (Latrine)	0,12	0,03	0,06	42.052.146,4	9.083,26	0,0091
	Lainnya (Other)	0,12	0,05	0,06	42.052.146,4	15.138,77	0,0151
	Saluran	0,12	0,04	0,06	42.052.146,4	12.111,02	0,0121
	Tidak ada (None)	0,12	0	0	42.052.146,4	0	0
						1.368.545,05	1,3685

Sumber : (IPCC, 2019); (KLH, 2012); Hasil Perhitungan

Dari hasil perhitungan diperoleh emisi CH₄ untuk limbah cair Kota Surabaya sebesar 1,3685 Gg CH₄/tahun. Untuk mengubahnya menjadi Gg CO₂, maka nilai emisi CH₄ harus dikalikan dengan faktor konversinya yaitu 25, sehingga besarnya nilai emisi limbah cair adalah sebesar $1,3685 \times 25 = 34,214$ Gg CO_{2e}/tahun.

Metode kedua berasal dari jurnal Daelman, Voorthuizen, Dongen, Volcke, & Loosdrecht (2012) Di jurnal ini dihitung dengan menggunakan jumlah orang sebagai faktor emisi. Perhitungannya sebagai berikut :

Faktor emisi = 306 g CH₄/orang.tahun
 Jumlah orang = 3.050.275 orang
 Emisi CH₄ = faktor emisi x jumlah orang
 = 306 x 3.050.275
 = 933.384.150 g CH₄/tahun
 = 0,9334 Gg CH₄/tahun

Dikarenakan emisi masih dalam bentuk CH₄ maka perlu dikalikan faktor konversi agar menjadi emisi CO₂

$$\begin{aligned}\text{Faktor konversi} &= 25 \text{ (IPCC, 2019)} \\ \text{Emisi CO}_2 &= \text{Emisi CH}_4 \times \text{faktor konversi} \\ &= 0,9334 \text{ Gg CH}_4/\text{tahun} \times 25 \\ &= 23,335 \text{ Gg CO}_2/\text{tahun}\end{aligned}$$

Untuk keuntungan metode ini hanya dibutuhkan data jumlah orang pada daerah yang akan dilakukan inventarisasi. Untuk kekurangan metode ini dikarenakan langsung menggunakan satu data saja maka hasil yang didapatkan kurang akurat.

Metode ketiga akan berasal dari jurnal Campos, et al (2016). Pada jurnal tersebut akan dihitung emisi melalui faktor emisi yang didapatkan melalui faktor emisi yang berkaitan dengan jumlah COD. Maka di awal akan dilakukan konversi BOD ke COD terlebih dahulu.

$$\begin{aligned}\text{Faktor Konversi} &= 2,4 \text{ (IPCC, 2019)} \\ \text{Total COD} &= \text{TOW} \times \text{Faktor Konversi} \\ &= 42.052.146,4 \text{ kg BOD/tahun} \times 2,4 \\ &= 100.925.151,36 \text{ kg COD/tahun}\end{aligned}$$

Setelah diketahui maka dapat dihitung menggunakan faktor emisi yang terdapat pada jurnal. Berikut perhitungannya :

$$\begin{aligned}\text{Faktor Emisi} &= 0,08 \text{ kg CO}_2/\text{kg COD} \\ \text{Emisi CO}_2 &= \text{Total COD} \times \text{Faktor Emisi} \\ &= 100.925.151,36 \text{ kg COD/tahun} \times 0,08 \text{ kg CO}_2/\text{kg COD} \\ &= 8.074.012.1088 \text{ kg CO}_2/\text{tahun} \\ &= 8,074 \text{ Gg CO}_2/\text{tahun}\end{aligned}$$

Keuntungan metode ini dapat digunakan apabila data yang dimiliki merupakan data COD dan bukan BOD. Untuk kekurangan yaitu sebaliknya apabila data yang dimiliki data BOD maka metode ini lebih susah dikarenakan harus dikonversikan terlebih dahulu.

Studi kasus dengan ketiga metode diatas didapatkan Emisi CO₂ untuk Limbah Cair dengan Metode IPCC (IPCC, 2019) dan Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca (KLH, 2012) yaitu 34,214 Gg CO₂. untuk metode dari jurnal Daelman,

Voorthuizen, Dongen, Volcke, & Loosdrecht (2012) didapatkan 23,335 Gg CO₂, dan untuk metode dari jurnal Campos, et al (2016) didapatkan 8,074 Gg CO₂.

hasil diatas menunjukkan metode dari jurnal Campos, et al (2016) memiliki hasil yang jauh dari hasil perhitungan IPCC sehingga kurang tepat untuk digunakan untuk Inventarisasi Emisi Gas Rumah kaca. Untuk metode dari jurnal Daelman, Voorthuizen, Dongen, Volcke, & Loosdrecht (2012) relatif tidak jauh sehingga bisa digunakan sebagai metode alternatif.

4.2 Analisis dan Pembahasan Sektor Energi

4.2.1 Pembakaran Bahan Bakar pada Sumber Tidak Bergerak

Besarnya nilai emisi GRK dari hasil pembakaran bahan bakar tergantung dari jenis dan jumlah bahan bakar yang digunakan. Persamaan umum yang digunakan dalam perhitungan estimasi emisi GRK dari pembakaran bahan bakar pada sumber tidak bergerak adalah sebagai berikut.

$$\text{Konsumsi Energi (TJ/tahun)} = \text{Konsumsi bahan bakar (satuan fisik/tahun)} \times \text{nilai kalor (TJ/satuan fisik)}$$

$$\text{Emisi GRK (kg GRK/tahun)} = \text{Konsumsi energi (TJ/tahun)} \times \text{Faktor emisi (kg GRK/TJ)}$$

Data yang digunakan dalam perhitungan emisi kali ini adalah data jumlah penggunaan bahan bakar. Faktor emisi yang digunakan untuk metode pertama adalah IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, tepatnya pada volume 2 sektor energi. Sedangkan nilai kalor bahan bakar Indonesia diperoleh dari Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Tahun 2012. Berikut contoh perhitungan estimasi emisi dari penggunaan batu bara pada salah satu perusahaan yaitu PT Sari Mas Permai.

Jenis bahan bakar : batu bara

$$\text{Konsumsi Energi} = \text{Konsumsi bahan bakar (satuan fisik)} \times \text{Nilai kalor bahan bakar (TJ/satuan fisik)}$$

$$= 5.806 \text{ ton/tahun} \times 0,0189 \text{ TJ/ton}$$

$$= 110 \text{ TJ/tahun}$$

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Konsumsi energi (TJ/tahun)} \times \text{Faktor emisi (kg CO}_2\text{/TJ)}$$

$$= 110 \text{ TJ/tahun} \times 98.300 \text{ kg CO}_2\text{/TJ} \times 10^{-6}$$

$$= 10,787 \text{ Gg CO}_2\text{/tahun}$$

Metode kedua akan berasal dari jurnal Shan, Liu, & Guan (2016). Untuk metode ini akan dihitung emisi CO₂ melalui faktor emisi yang didapat dari jurnal tersebut. Perhitungan untuk metode ini sebagai berikut

$$\begin{aligned}\text{Faktor Emisi} &= 1,85 \text{ ton CO}_2/\text{ton batu bara} \\ \text{Emisi CO}_2 &= 5.806 \text{ ton/tahun} \times 1,85 \text{ ton CO}_2/\text{ton batu bara} \\ &= 10.741,1 \text{ ton CO}_2/\text{tahun} \\ &= 10,741 \text{ Gg CO}_2/\text{tahun}\end{aligned}$$

Metode ini memiliki keuntungan dimana hanya diperlukan data jumlah batu bara. Kerugian dari metode ini yaitu kurang akurat dikarenakan jurnal tersebut berasal dari industri yang berbeda dari data yang dimiliki

Metode ketiga akan berasal dari jurnal Roy, Sarkar, Biswas, & Choudhury (2009) Untuk metode ini akan dihitung emisi CO₂ melalui faktor emisi yang didapat dari jurnal tersebut. Perhitungan untuk metode ini sebagai berikut

$$\begin{aligned}\text{Faktor Emisi} &= 1,529 \text{ kg CO}_2/\text{kg batu bara} \\ \text{Emisi CO}_2 &= 5.806.000 \text{ kg/tahun} \times 1,529 \text{ kg CO}_2/\text{kg batu bara} \\ &= 8.877.734 \text{ Kg CO}_2/\text{tahun} \\ &= 8,878 \text{ Gg CO}_2/\text{tahun}\end{aligned}$$

Metode ini memiliki keuntungan dimana hanya diperlukan data jumlah batu bara. Kerugian dari metode ini yaitu kurang akurat dikarenakan jurnal tersebut berasal dari pembangkit listrik sedangkan data berasal dari batu bara yang digunakan untuk generator industri.

Studi kasus dengan ketiga metode diatas didapatkan Emisi CO₂ untuk Bahan Bakar Sumber tidak bergerak dengan Metode IPCC (IPCC, 2019) dan Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca (KLH, 2012) yaitu 10,787 Gg CO₂/tahun. untuk metode dari jurnal Shan, Liu, & Guan (2016) didapatkan 10,741 Gg CO₂/tahun, dan untuk metode dari jurnal Roy, Sarkar, Biswas, & Choudhury (2009) didapatkan 8,878 Gg CO₂/tahun.

hasil diatas menunjukkan metode dari jurnal Shan, Liu, & Guan (2016) mendekati hasil metode IPCC. Metode dari jurnal Roy, Sarkar, Biswas, & Choudhury (2009) memiliki hasil yang tidak jauh dari metode IPCC namun Jurnal Shan, Liu, & Guan (2016) memiliki hasil yang lebih mendekati sehingga digunakan sebagai metode alternatif.

4.2.2 Pembakaran Bahan Bakar pada Sumber Bergerak

Emisi GRK yang diperoleh dari pembakaran bahan bakar pada sumber bergerak adalah emisi yang dihasilkan dari kegiatan transportasi. Kegiatan transportasi tersebut meliputi darat (jalan raya, kereta api), transportasi air (sungai dan laut), dan transportasi udara (pesawat terbang). Selain itu, emisi GRK pada sumber bergerak juga dihasilkan dari pengoperasian alat berat yang digunakan dalam industri. Emisi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar pada sumber bergerak ini berupa CO₂, CH₄, dan N₂O. Langkah perhitungan pada sumber bergerak adalah sebagai berikut.

$$\text{Konsumsi Energi (TJ/tahun)} = \text{Konsumsi bahan bakar (satuan fisik/tahun)} \times \text{nilai kalor (TJ/satuan fisik)}$$

$$\text{Emisi GRK (kg GRK/tahun)} = \text{Konsumsi energi (TJ/tahun)} \times \text{Faktor emisi (kg GRK/TJ)}$$

Faktor emisi yang digunakan untuk metode pertama yaitu dari IPCC (IPCC, 2019), tepatnya pada volume 2 sektor energi. Sedangkan nilai kalor bahan bakar Indonesia diperoleh dari Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional (KLH, 2012). Sektor ini menggunakan data yang berasal dari laporan Inventarisasi Gas Rumah kaca 2021 (DLH Surabaya, 2021) bagian Pertamina distribusi. Pertamina distribusi memiliki beberapa jenis bbm sehingga Untuk studi literatur ini akan digunakan satu jenis saja yaitu pertamina kelompok perta series yang terdiri dari pertalite, pertamax, dan pertamax turbo. Kelompok perta series ini merupakan bahan bakar berjenis *gasoline*. berikut perhitungan studi kasus.

Perusahaan : Pertamina

Jenis bahan bakar : Perta series

Dexlite dan Pertamina Dex memiliki nilai kalor dan faktor emisi yang sama

$$\text{Konsumsi energi} = \text{Konsumsi bahan bakar (satuan fisik/tahun)} \times \text{nilai kalor bahan bakar (TJ/satuan fisik)}$$

$$= 404.613.000 \text{ liter/tahun} \times 0,000033 \text{ TJ/liter}$$

$$= 13.352,2 \text{ TJ/tahun}$$

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Konsumsi energi (TJ/tahun)} \times \text{Faktor emisi (kg CO}_2\text{/TJ)}$$

$$= 13.352,2 \text{ TJ/tahun} \times 74.100 \text{ kg CO}_2\text{/TJ} \times 10^{-6}$$

$$= 925,31 \text{ Gg CO}_2\text{/tahun}$$

Metode kedua akan berasal dari jurnal Fornaro, et al (2014). Untuk metode ini akan dihitung emisi CO₂ melalui faktor emisi yang didapat dari jurnal tersebut. Perhitungan untuk metode ini sebagai berikut

Faktor Emisi	= 3070,5 g CO ₂ /kg Gasoline
	= 3,0705 kg CO ₂ /kg Gasoline
Berat Gasoline	= Jumlah bahan bakar x massa jenis bahan bakar
	= 404.613.000 liter/tahun x 0,715 kg/liter
	= 289.298.295 kg/tahun
Emisi CO ₂	= 289.298.295 kg/tahun x 3,0705 kg CO ₂ /kg Gasoline
	= 888.290.414,8 kg CO ₂ /tahun
	= 888,29 Gg CO ₂ /tahun

Metode ini memiliki keuntungan lebih mudah apabila data yang dimiliki berupa berat bahan bakar. Kerugian dari metode ini yaitu dikarenakan berasal dari studi kasus apabila bahan bakar atau kendaraan yang digunakan memiliki perbedaan yang signifikan maka hasil akan menjadi tidak akurat

Metode ketiga akan berasal dari jurnal Qu, et al (2021) Untuk metode ini akan dihitung emisi CO₂ melalui faktor emisi yang didapat dari jurnal tersebut. Perhitungan untuk metode ini sebagai berikut

Faktor Emisi	= 2004 g CO ₂ /liter
	= 2,004 kg CO ₂ /liter
Emisi CO ₂	= 404.613.000 liter/tahun x 2,004 kg CO ₂ /liter Gasoline
	= 810.844.452kg CO ₂ /tahun
	= 810,84 Gg CO ₂ /tahun

Metode ini memiliki keuntungan hanya membutuhkan data jumlah liter bahan bakar. Kerugian dari metode ini yaitu dikarenakan berasal dari studi kasus apabila bahan bakar atau kendaraan yang digunakan memiliki perbedaan yang signifikan maka hasil akan menjadi tidak akurat.

Studi kasus dengan ketiga metode diatas didapatkan Emisi CO₂ untuk Bahan Bakar Sumber bergerak dengan Metode IPCC (IPCC, 2019) dan Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca (KLH, 2012) yaitu 925,31 Gg CO₂/tahun. untuk metode Jurnal Fornaro, et al (2014) didapatkan 888,29 Gg CO₂/tahun, dan untuk metode Jurnal Qu, et al (2021) didapatkan 810,84 Gg CO₂/tahun

hasil diatas menunjukkan metode dari jurnal Fornaro, et al (2014) mendekati hasil metode IPCC. Metode dari jurnal Qu, et al (2021) memiliki hasil yang tidak jauh dari metode IPCC namun Jurnal Fornaro, et al (2014) memiliki hasil yang lebih mendekati sehingga digunakan sebagai metode alternatif.

4.4 Analisis dan Pembahasan Sektor AFOLU

4.4.1 Subsektor Peternakan

Fermentasi enterik adalah gas metana yang dihasilkan oleh hewan memamah biak (herbivora) sebagai hasil samping dari suatu proses dimana karbohidrat dari hasil pencernaan dipecah menjadi molekul sederhana oleh mikroorganisme untuk diserap ke dalam aliran darah. Berikut merupakan hasil dari perhitungan potensi gas metana yang dihasilkan oleh Rumah Potong Hewan (RPH) Kota Surabaya. Potensi gas metana yang dihasilkan sebesar 2,1805 Gg CH₄/tahun. Untuk menghitung emisi dalam bentuk Gg CO₂/tahun maka jumlah tersebut perlu dikalikan 25 sebagai faktor konversi. Hasilnya adalah sebesar 54,5119 Gg CO₂e/tahun.

Contoh perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \text{Potensi emisi gas metana dari sapi} \\ & = EF(T) \times N(T) \times 10^{-6} \\ & = 47 \text{ kg/ekor/tahun} \times 44.446 \text{ ekor} \times 10^{-6} \\ & = 2,0890 \text{ Gg CH}_4\text{/tahun} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Fermentasi Enterik Sektor Peternakan IPCC

A	B	C	D	E	F
No	Jenis Hewan	Jumlah Hewan yang dipotong ¹ (ekor/tahun)	Faktor Emisi ² (kg/ekor/tahun)	Potensi Gas Metana ³ (kg CH ₄ /tahun)	Potensi Gas Metana ³ (Gg CH ₄ /tahun)
				CxD	Ex10 ⁻⁶
1	Sapi	44.446	47	2.088.962	2,0890
2	Kambing	9.294	5	46.470	0,0465
3	Babi	45.043	1	45.043	0,0450
					2,1805

Hasil perhitungan didapatkan hasil potensi gas metana sebesar 2,1805 Gg CH₄/tahun. Untuk menghitung emisi dalam bentuk Gg CO₂/tahun maka jumlah tersebut perlu dikalikan 25 sebagai faktor konversi, sehingga emisi dari pengelolaan ternak yaitu sebesar 54,5125 Gg CO₂e/tahun.

Data populasi ternak dari Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Kota Surabaya diolah menggunakan rumus pengelolaan ternak. Hal ini disebabkan karena di wilayah-wilayah tertentu

di Kota Surabaya masih ditemukan beberapa pemeliharaan hewan ternak, sehingga potensi gas metana ini dapat dihitung dari pengelolaan ternak. Pada perhitungan ini, digunakan data jumlah hewan ternak pada tahun 2020 yang didapatkan dari Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Kota Surabaya. Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Pengelolaan Hewan Sektor Peternakan IPCC

A	B	C	D	E	F
No	Jenis Hewan	Jumlah Hewan ¹ (ekor)	Faktor Emisi ² (kg/ekor/tahun)	Potensi Gas Metana ³ (kg CH ₄ /tahun)	Potensi Gas Metana ³ (Gg CH ₄ /tahun)
				CxD	Ex10 ⁻⁶
1	Sapi Potong	47	1	47	0,000047
2	Sapi Perah	219	31	6.789	0,00679
3	Kerbau	13	2	26	0,000026
4	Kuda	79	2,19	173,01	0,000173
5	Kambing	810	0,22	178,20	0,000178
6	Domba	86	0,20	17,20	0,0000172
7	Kelinci	58	(0,08) ³	4,64	0,00000464
8	Ayam Buras	12.757	0,02	255,14	0,000255
9	Ayam Petelur	450	0,02	9	0,000009
10	Itik	1.303	(0,02) ³	26,06	0,0000261
11	Burung Dara	4.999	(0,02) ³	99,98	0,000100
					0,00763

Hasil perhitungan didapatkan hasil potensi gas metana sebesar 0,00763 Gg CH₄/tahun. Untuk menghitung emisi dalam bentuk Gg CO₂/tahun maka jumlah tersebut perlu dikalikan 25 sebagai faktor konversi, sehingga emisi dari pengelolaan ternak yaitu sebesar 0,1906 Gg CO₂e/tahun.

Metode kedua kita akan menggunakan metode yang berasal dari jurnal Zhou, Jiang, & Chen (2007). Dalam metode ini memiliki rumus yang sama namun dengan menggunakan faktor emisi yang berbeda sehingga untuk perhitungannya dapat dilihat pada tabel 4.7 dan 4.8

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Fermentasi Enterik Sektor Peternakan Jurnal Kesatu

A	B	C	D	E	F
No	Jenis Hewan	Jumlah Hewan yang dipotong ¹ (ekor/tahun)	Faktor Emisi ² (kg/ekor/tahun)	Potensi Gas Metana ³ (kg CH ₄ /tahun)	Potensi Gas Metana ³ (Gg CH ₄ /tahun)
				CxD	Ex10 ⁻⁶
1	Sapi	44.446	54,21	2.409.418	2,4094
2	Kambing	9.294	4,62	42.938,28	0,0429
3	Babi	45.043	1	45.403	0,0450
					2,4974

Hasil perhitungan didapatkan hasil potensi gas metana sebesar 2,4974 Gg CH₄/tahun. Untuk menghitung emisi dalam bentuk Gg CO₂/tahun maka jumlah tersebut perlu dikalikan 25 sebagai faktor konversi, sehingga emisi dari fermentasi enterik yaitu sebesar 62,4349 Gg CO₂e/tahun.

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Pengelolaan Hewan Sektor Peternakan Jurnal Kesatu

A	B	C	D	E	F
No	Jenis Hewan	Jumlah Hewan ¹ (ekor)	Faktor Emisi ² (kg/ekor/tahun)	Potensi Gas Metana ³ (kg CH ₄ /tahun)	Potensi Gas Metana ³ (Gg CH ₄ /tahun)
				CxD	Ex10 ⁻⁶
1	Sapi Potong	47	0,92	43,24	0,00004324
2	Sapi Perah	219	8,95	1960,05	0,00196005
3	Kerbau	13	1,8	23,4	0,0000234
4	Kuda	79	1,23	97,17	0,0009717
5	Kambing	810	0,13	105,3	0,0001053
6	Domba	86	0,1	8,6	0,0000086
7	Kelinci	58	0,01	0,58	0,00000058
8	Ayam	13.207	0,015	198,105	0,00019811
10	Itik	1.303	0,01	13,03	0,00001303
					0,00244948

Hasil perhitungan didapatkan hasil potensi gas metana sebesar 0,00245 Gg CH₄/tahun. Untuk menghitung emisi dalam bentuk Gg CO₂/tahun maka jumlah tersebut perlu dikalikan 25 sebagai faktor konversi, sehingga emisi dari pengelolaan ternak yaitu sebesar 0,06123 Gg CO₂e/tahun.

Metode ketiga akan menggunakan jurnal Wolf, Asrar, & West (2017) dalam jurnal tersebut terdapat faktor emisi yang berbeda untuk Sapi maka pada metode ini kita akan menggunakan IPCC namun untuk sapi akan menggunakan jurnal tersebut. Hasil perhitungan terdapat pada tabel 4.9 dan 4.10

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Fermentasi Enterik Sektor Peternakan Jurnal Kedua

A	B	C	D	E	F
No	Jenis Hewan	Jumlah Hewan yang dipotong ¹ (ekor/tahun)	Faktor Emisi ² (kg/ekor/tahun)	Potensi Gas Metana ³ (kg CH ₄ /tahun)	Potensi Gas Metana ³ (Gg CH ₄ /tahun)
				CxD	Ex10 ⁻⁶
1	Sapi	44.446	58,8	2.613.425	2,6134
2	Kambing	9.294	5	46.470	0,0465
3	Babi	45.043	1	45.043	0,0450
					2,7049

Hasil perhitungan mendapatkan hasil potensi gas metana sebesar 2,7049 Gg CH₄/tahun. Untuk menghitung emisi dalam bentuk Gg CO₂/tahun maka jumlah tersebut perlu dikalikan 25 sebagai faktor konversi, sehingga emisi dari pengelolaan ternak yaitu sebesar 67,6231 Gg CO₂e/tahun.

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Pengelolaan Hewan Sektor Peternakan Jurnal Kedua

A	B	C	D	E	F
No	Jenis Hewan	Jumlah Hewan ¹ (ekor)	Faktor Emisi ² (kg/ekor/tahun)	Potensi Gas Metana ³ (kg CH ₄ /tahun)	Potensi Gas Metana ³ (Gg CH ₄ /tahun)
				CxD	Ex10 ⁻⁶
1	Sapi Potong	47	2,4	112,8	0,000113
2	Sapi Perah	219	137	30003	0,03003
3	Kerbau	13	2	26	0,000026
4	Kuda	79	2,19	173,01	0,000173
5	Kambing	810	0,22	178,20	0,000178
6	Domba	86	0,20	17,20	0,0000172
7	Kelinci	58	(0,08) ³	4,64	0,00000464
8	Ayam Buras	12.757	0,02	255,14	0,000255
9	Ayam Petelur	450	0,02	9	0,000009
10	Itik	1.303	(0,02) ³	26,06	0,0000261
11	Burung Dara	4.999	(0,02) ³	99,98	0,000100
					0,030909

Hasil perhitungan mendapatkan hasil potensi gas metana sebesar 0,030909 Gg CH₄/tahun. untuk menghitung emisi dalam bentuk Gg CO₂/tahun maka jumlah tersebut perlu dikalikan 25 sebagai faktor konversi, sehingga emisi dari pengelolaan ternak yaitu sebesar 0,7727 Gg CO₂e/tahun.

Berdasarkan studi kasus dengan ketiga metode diatas didapatkan Emisi CO₂ dengan Metode IPCC (IPCC, 2019) dan Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca (KLH, 2012) yaitu fermentasi enterik 54,153 Gg CO₂/tahun, dan pengelolaan hewan ternak 0,191 Gg CO₂/tahun, untuk metode Jurnal Zhou, Jiang, & Chen (2007) didapatkan fermentasi enterik 62,435 Gg CO₂/tahun, dan pengelolaan hewan ternak 0,061 Gg CO₂/tahun. untuk metode Jurnal Wolf, Asrar, & West (2017) didapatkan fermentasi enterik 54,153 Gg CO₂/tahun, dan pengelolaan hewan ternak 0,773 Gg CO₂/tahun.

Hasil diatas menunjukkan metode dari jurnal Wolf, Asrar, & West (2017) memiliki fermentasi enterik yang mendekati hasil metode IPCC, Namun memiliki hasil pengelolaan hewan yang jauh dari metode IPCC. Metode dari jurnal Zhou, Jiang, & Chen (2007) memiliki

hasil fermentasi enterik jauh dari metode IPCC namun memiliki hasil pengelolaan hewan yang mendekati metode IPCC sehingga untuk fermentasi enterik metode dari jurnal Wolf, Asrar, & West (2017) dapat digunakan sebagai metode alternatif dan untuk Pengelolaan hewan Metode dari jurnal Zhou, Jiang, & Chen (2007) dapat digunakan sebagai metode alternatif

4.4.3 Subsektor Pertanian

- **Emisi Karbondioksida (CO₂) dari Penggunaan Pupuk Urea**

Penggunaan pupuk urea pada budidaya pertanian menyebabkan lepasnya CO₂ yang diikat selama proses pembuatan pupuk. Urea (CO(NH₂)₂) diubah menjadi amonium (NH₄⁺), ion hidroksil (OH⁻), dan bikarbonat (HCO₃⁻) dengan adanya air dan enzim urease. Mirip dengan reaksi tanah pada penambahan kapur, bikarbonat yang terbentuk selanjutnya berkembang menjadi CO₂ dan air. Jumlah konsumsi dan jenis pupuk dijelaskan pada tabel 4.11

Tabel 4.11 Konsumsi Pupuk

No	Nama Pupuk	Konsumsi Pupuk Subsidi (ton)	Konsumsi Pupuk Bantuan Dinas (ton)	Total (ton)
1	Urea	606,4	3,004	609,404
2	Sp36	72	4	76
3	ZA	60	3,5	63,5
4	NPK	152	10,25	162,25
5	Organik	12	83,9	95,9

Sumber : Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Kota Surabaya, 2021

Dari hasil perhitungan didapatkan emisi CO₂ dari pupuk urea adalah sebesar 121,8808 ton CO₂/tahun atau 0,1219 Gg CO₂/tahun. Cara perhitungannya sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{CO}_2 \text{ emission} &= M \text{ urea} \times \text{EF urea} \\
 &= 609,404 \text{ ton} \times 0,20 \\
 &= 121,8808 \text{ ton CO}_2/\text{tahun} \\
 &= 0,1219 \text{ Gg CO}_2/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Metode kedua untuk menghitung penggunaan pupuk urea dengan mengacu pada jurnal Kim, et al (2017). metode jurnal ini dilakukan untuk pertanian bawang putih dan paprika. Penggunaan pupuk urea pada Bawang putih dan paprika memiliki faktor emisi yang berbeda dari perhitungan berdasarkan IPCC. Berikut perhitungannya :

$$\begin{aligned}
\text{EF Urea (Bawang Putih)} &= 0,0615 \\
\text{EF Urea (Paprika)} &= 0,051 \\
\text{Emisi CO}_2 \text{ (Paprika)} &= M \text{ urea} \times \text{EF urea} \\
&= 609,404 \text{ ton} \times 0,0615 \\
&= 37,4784 \text{ ton CO}_2\text{/tahun} \\
&= 0,0375 \text{ Gg CO}_2\text{/tahun} \\
\text{Emisi CO}_2 \text{ (Bawang Putih)} &= M \text{ urea} \times \text{EF urea} \\
&= 609,404 \text{ ton} \times 0,051 \\
&= 31,0796 \text{ ton CO}_2\text{/tahun} \\
&= 0,0311 \text{ Gg CO}_2\text{/tahun} \\
\text{Emisi CO}_2 &= \text{Emisi CO}_2 \text{ (Paprika)} + \text{Emisi CO}_2 \text{ (Bawang Putih)} \\
&= 0,0375 \text{ Gg CO}_2\text{/tahun} + 0,0311 \text{ Gg CO}_2\text{/tahun} \\
&= 0,0686 \text{ Gg CO}_2\text{/tahun}
\end{aligned}$$

Metode ini memiliki keuntungan apabila inventarisasi emisi yang dicari berasal dari pertanian spesifik bawang putih dan paprika. kekurangan dari metode ini apabila emisi yang dicari adalah keseluruhan dari bidang pertanian

Metode ketiga untuk menghitung penggunaan pupuk urea dengan mengacu pada jurnal Kim, Jeong, Kim, Kim, & Kim (2016). metode jurnal ini dilakukan untuk pertanian padi. Penggunaan pupuk urea pada jurnal ini memiliki faktor emisi yang berbeda dari perhitungan berdasarkan IPCC. Berikut perhitungannya :

$$\begin{aligned}
\text{EF Urea} &= 0,01495 \\
\text{Emisi CO}_2 &= M \text{ urea} \times \text{EF urea} \\
&= 609,404 \text{ ton} \times 0,1495 \\
&= 9,1106 \text{ ton CO}_2\text{/tahun} \\
&= 0,0091 \text{ Gg CO}_2\text{/tahun}
\end{aligned}$$

Metode ini memiliki keuntungan apabila inventarisasi emisi yang dicari berasal dari pertanian spesifik padi. kekurangan dari metode ini apabila emisi yang dicari adalah keseluruhan dari bidang pertanian.

Berdasarkan studi kasus dengan ketiga metode sektor AFOLU pertanian didapatkan Emisi CO₂ dengan Metode IPCC (IPCC, 2019) dan Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca (KLH, 2012) yaitu 0,122 Gg CO₂/tahun. untuk metode dari jurnal Kim, et al (2017) didapatkan 0,069 Gg CO₂/tahun, dan untuk metode dari jurnal Kim, Jeong, Kim, Kim, & Kim (2016) didapatkan 0,009 Gg CO₂/tahun.

Hasil diatas menunjukkan metode dari jurnal Kim, et al (2017) memiliki hasil yang lebih mendekati hasil metode IPCC daripada metode yang berasal dari jurnal Kim, Jeong, Kim, Kim, & Kim (2016) sehingga metode dari jurnal Kim, et al (2017) dapat digunakan sebagai metode alternatif

4.5 Analisis dan Pembahasan Sektor IPPU

4.5.1 Industri Produsen Keramik

PT Platinum Ceramic Industry digolongkan pada kategori sumber emisi dari sektor industri mineral. Emisi terkait proses dari keramik dihasilkan dari kalsinasi karbonat di tanah liat, serta penambahan aditif. Karbonat dipanaskan sampai suhu tinggi dalam kiln, menghasilkan oksida dan CO₂. data ini didapatkan dari Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca tahun 2021 (DLH Surabaya, 2021). Metode pertama akan menggunakan metode yang berasal dari IPCC (IPCC, 2019) Berikut langkah perhitungan emisinya.

1. Menghitung volume total keramik

$$\begin{aligned}\text{Volume keramik} &= \text{Luas keramik} \times \text{tinggi asumsi keramik} \\ &= 13.728.192 \text{ m}^2/\text{tahun} \times 0,01 \text{ m} \\ &= 137.281,192 \text{ m}^3/\text{tahun}\end{aligned}$$

2. Menghitung berat total keramik

$$\begin{aligned}\text{Berat total keramik} &= \text{volume keramik} \times \text{massa jenis keramik} \\ &= 137.281,192 \text{ m}^3/\text{tahun} \times 1.702 \text{ kg/m}^3 \\ &= 233.653.828 \text{ kg/tahun} \\ &= 233.653,828 \text{ ton/tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{3. Emisi CO}_2 &= 10\% \times \text{Berat total keramik} \times (0,85 \text{ EF}_l + 0,15 \text{ EF}_d) \\ &= 10\% \times 233.653,828 \text{ ton/tahun} \times (0,85 \times (0,43971 \text{ ton CO}_2/\text{ton} \\ &\text{karbonat}) + 0,15 \times (0,47732 \text{ ton CO}_2/\text{ton karbonat})) \\ &= 10.405,81 \text{ ton CO}_2/\text{tahun} \\ &= 10,406 \text{ Gg CO}_2/\text{tahun}\end{aligned}$$

Jadi emisi CO₂ dari industri penghasil keramik adalah sebesar 10,41 Gg CO₂/tahun.

Metode kedua akan menggunakan metode yang berasal dari jurnal Riyakad & Chiarakorn (2015). Dalam metode ini didapatkan faktor emisi dari kegiatan pembuatan keramik. Berikut perhitungannya :

$$\begin{aligned}\text{Faktor Emisi} &= 0,237 \text{ kg CO}_2\text{e/kg produk} \\ \text{Emisi CO}_2 &= 233.653.828 \text{ kg/tahun} \times 0,237 \text{ kg CO}_2\text{e/kg produk}\end{aligned}$$

$$= 55.375.957 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$$

$$= 55,376 \text{ Gg CO}_2/\text{tahun}$$

Metode ini memiliki keuntungan lebih mudah dikarenakan hanya mengalikan berat total dengan faktor emisi. Kekurangan dari metode ini dikarenakan berasal dari studi kasus di Lampung. Apabila industri keramik yang akan di Analisa menggunakan metode yang berbeda dari lokasi tersebut bisa menyebabkan hasil yang tidak akurat

Metode ketiga untuk perhitungan sektor IPPU keramik berasal dari jurnal Sani & Nzihou (2017). dari jurnal tersebut terdapat faktor emisi dari keramik campuran biasa dan dengan campuran biomassa. Dikarenakan disini keramik yang digunakan adalah yang biasa maka akan dihitung menggunakan faktor emisi keramik biasa. Perhitungannya adalah sebagai berikut

$$\text{Faktor Emisi} = 56,7 \text{ g CO}_2\text{e/kg produk}$$

$$\text{Emisi CO}_2 = 233.653.828 \text{ kg/tahun} \times 56,7 \text{ g CO}_2\text{e/kg produk}$$

$$= 13.248.172.048 \text{ g CO}_2/\text{tahun}$$

$$= 13,248 \text{ Gg CO}_2/\text{tahun}$$

Metode ini memiliki keuntungan lebih mudah dikarenakan hanya mengalikan berat total dengan faktor emisi dan memiliki faktor emisi untuk metode pencampuran keramik dengan biomassa limbah pertanian. Kekurangan dari metode ini karena merupakan studi kasus apabila metode atau campuran yang digunakan pada industri berbeda maka hasil akan tidak akurat.

Studi kasus dengan ketiga metode untuk sektor IPPU Keramik diatas didapatkan Emisi CO₂ dengan Metode IPCC (IPCC, 2019) dan Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca (KLH, 2012) yaitu 10,406 Gg CO₂/tahun. untuk metode dari jurnal Riyakad & Chiarakorn (2015) didapatkan 55,376 Gg CO₂/tahun, dan untuk metode dari jurnal Sani & Nzihou (2017) didapatkan 13,248 Gg CO₂/tahun.

Hasil diatas menunjukkan metode dari jurnal Sani & Nzihou (2017) memiliki hasil yang lebih mendekati hasil metode IPCC daripada metode yang berasal dari jurnal Kim, Jeong, Kim, Kim, & Kim (2016) sehingga metode dari jurnal Sani & Nzihou (2017) dipilih sebagai metode alternatif

Metode jurnal yang dipilih untuk setiap sektor dan keuntungannya dari metode IPCC dapat dilihat pada tabel 4.11

Tabel 4.12 Metode Alternatif Inventarisasi Emisi GRK

Sektor	Sub Sektor	Jurnal Metode	Keuntungan dari IPCC
Limbah	Limbah padat	Liamsangaun & Gheewala (2008)	Metode menggunakan data total MSW.
	Limbah cair	Daelman, Voorthuizen, Dongen, Volcke, & Loosdrecht (2012)	Metode menggunakan data jumlah penduduk terlayani.
Energi	Bahan bakar tidak Bergerak	Shan, Liu, & Guan (2016)	Metode menggunakan data jumlah batu bara.
	Bahan bakar bergerak	Fornaro, et al (2014)	Metode menggunakan data berat bensin.
AFOLU	Peternakan	Fermentasi Enterik : Wolf, Asrar, & West (2017) Pengelolaan Hewan : Zhou, Jiang, & Chen (2007)	Hewan yang dikaji di kedua metode terdapat hewan yang tidak ada di metode IPCC
	Pertanian	Kim, et al (2017)	Metode lebih akurat apabila objek inventarisasi emisi GRK spesifik bawang putih dan paprika
IPPU	Keramik	Sani & Nzihou (2017)	Perhitungan lebih mudah dan lebih akurat apabila jenis keramik yang akan dilakukan inventarisasi sesuai dengan jurnal.

Hasil Perhitungan untuk setiap sektor dengan metode alternatif dari jurnal yang dipilih tertera pada tabel 4.12

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Metode Alternatif

Sektor	Sub Sektor	Emisi Metode alternatif (Gg CO ₂)	Total Emisi Sektor (Gg CO ₂)	
Limbah	Padat	137,397	160,732	
	Cair	23,335		
Energi	Bahan bakar tidak bergerak	10,741	899,031	
	Bahan bakar bergerak	888,29		
AFOLU	Peternakan	Fermentasi enterik	54,153	54,283
		Pengelolaan Hewan	0,061	
	Pertanian	0,069		
IPPU	Keramik	13,248	13,248	
Total			1.127,294	

Hasil studi kasus total emisi GRK di Kota Surabaya dengan metode alternatif adalah 1.127,294 Gg CO₂

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Inventarisasi Emisi GRK dapat digunakan metode alternatif dimana setiap metode memiliki keuntungan tersendiri dari metode IPCC. Metode yang digunakan adalah sebagai berikut :
 - Metode alternatif untuk sektor limbah padat menggunakan metode dari jurnal Liamsangan & Gheewala.
 - Metode alternatif untuk sektor limbah cair menggunakan metode dari jurnal Daelman, Voorthuizen, Dongen, Volcke, & Loosdrecht.
 - Metode alternatif untuk sektor energi bahan bakar tidak bergerak menggunakan metode dari jurnal Shan, Liu, & Guan.
 - Metode alternatif untuk sektor energi bahan bakar bergerak menggunakan metode dari jurnal Fornaro, et al.
 - Metode alternatif untuk sektor AFOLU peternakan menggunakan metode dari jurnal Wolf, Asrar, & West untuk fermentasi enterik, dan metode dari jurnal Zhou, Jiang, & Chen untuk pengelolaan hewan ternak
 - Metode alternatif untuk sektor AFOLU pertanian menggunakan metode dari jurnal Kim, et al.
 - Metode alternatif untuk sektor IPPU Keramik menggunakan metode dari jurnal Sani & Nzihou.
2. Hasil dari Inventarisasi Emis Gas Rumah Kaca di Kota Surabaya adalah sebagai berikut :
 - Studi kasus Kota Surabaya Sektor Limbah Padat dengan metode alternatif. Mendapatkan emisi 137,397 Gg CO₂, Studi kasus Kota Surabaya Sektor Limbah Cair dengan metode alternatif Mendapatkan emisi 23,335 Gg CO₂. Total Emisi Sektor Limbah
 - Studi kasus Kota Surabaya sektor energi bahan bakar tidak bergerak dengan metode alternatif Mendapatkan emisi 10,741 Gg CO₂. Studi kasus Kota Surabaya Sektor energi bahan bakar bergerak dengan metode alternatif Mendapatkan emisi 888,29 Gg CO₂. Total emisi untuk sektor energi dengan metode alternatif yaitu 899,031

- Studi kasus Kota Surabaya Sektor AFOLU Peternakan untuk fermentasi enterik dengan metode alternatif Mendapatkan emisi 54,153 Gg CO₂, Dan pengelolaan hewan ternak dengan metode alternatif & Chen mendapatkan emisi 0,061 Gg CO₂. Studi kasus Kota Surabaya Sektor Pertanian dengan metode alternatif Mendapatkan emisi 0,069 Gg CO₂. Total emisi sektor AFOLU yaitu 54,283 Gg CO₂
- Studi kasus Kota Surabaya Sektor IPPU dengan metode alternatif Mendapatkan emisi 13,248 Gg CO₂
- Total Emisi GRK di Kota Surabaya dengan metode alternatif yaitu 1.127,294 Gg CO₂

5.2 Saran

1. Diperlukan studi lebih lanjut untuk menentukan keakuratan tiap metode alternatif
2. Diperlukan studi lebih lanjut untuk menentukan metode alternatif untuk sektor lain yang tidak dibahas pada studi ini

Daftar Pustaka

- Balsadano, J. M., & Soriano, C. (2000). Emission of greenhouse gases from anaerobic digestion processes. Comparison with other MSW treatments. *Water Science and Technology*, 275-283.
- BPS Kota Surabaya. (2022). *Surabaya Dalam Angka*. Surabaya: BPS Kota Surabaya.
- Campos, J., Heredia, D., Pedrouso, A., Rio, A. V., Belmonte, M., & Corral, A. M. (2016). *Greenhouse Gas Emissions from Wastewater Treatment Plants: Minimization, Treatment, and Prevention*. Chile: Hindawi Publishing Corporation.
- Daelman, M. R., Voorthuizen, E. M., Dongen, U. G., Volcke, E. I., & Loosdrecht, M. C. (2012). Methane Emission During Municipal Wastewater Treatment. *Water Research*, 3657-3670.
- DLH Surabaya. (2021). *Kajian Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Surabaya Tahun 2021*. Surabaya: Pemerintah Kota Surabaya.
- Fornaro, A., Perez-Martinez, P. J., Miranda, R. M., Nogueira, T., Guardani, M. L., Ynoue, R., & Andrade, M. F. (2014). Emission Factors of Air Pollutants from Vehicle Measured Inside Road Tunnels in Sao Paulo: Case Study Comparison. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 2155-2168.
- IPCC. (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Switzerland: IPCC.
- Jawjit, W., Kroeze, C., & Jawjit, S. (2010). Quantification of Greenhouse Gas Emissions from primary rubber industries in thailand. *Greening of Industry Network (GIN)*. Seoul: Korea Environmental Management Association.
- Kim, G. W., Alam, M. A., Lee, J. J., Kim, G. Y., Kim, P. J., & Khan, M. I. (2017). Assessment of Direct Carbon Dioxide Emission Factor from Urea Fertilizer in Temperate Upland Soil During Warm and Cold Cropping Season. *European Journal of Soil Biology*, 76-83.
- Kim, G. W., Jeong, S. T., Kim, G. Y., Kim, P. J., & Kim, S. Y. (2016). Evaluation of Carbon Dioxide Emission Factor from Urea during Rice Cropping Season: A Case Study in Korean Paddy Soil. *Atmospheric Environment*, 139-146.
- KLH. (2012). *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional*. Indonesia: Kementerian Lingkungan Hidup.
- KLHK. (2020). *TPA/TPST*. Retrieved from Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/home/fasilitas/tpa-tpst>
- Liamsanguan, C., & Gheewala, S. H. (2008). The Holistic Impact of Integrated Solid Waste Management on Greenhouse Gas Emissions in Phuket. *Journal of Cleaner Production*, 1865-1871.

- Qu, L., Wang, W., Li, M., Xu, X., Shi, Z., Mao, H., & Jin, T. (2021). Dependence of Pollutant Emission Factors and Fuel Consumption on Driving Conditions and Gasoline Vehicle Types. *Atmospheric Pollution Research*, 137-146.
- Riyakad, P., & Chiarakorn, S. (2015). Energy Consumption and Greenhouse Gas Emission from Ceramic Tableware Production : A Case Study in Lampang, Thailand. *Energy Procedia*, 98-102.
- Roy, J., Sarkar, P., Biswas, S., & Choudhury, A. (2009). Predictive Equations for CO₂ Emission Factors for Coal Combustion, Their Applicability in a Thermal Power Plant and Subsequent Assessment of Uncertainty in CO₂ Estimation. *Fuel*, 792-798.
- Sa'duddin, & Hadi, M. P. (2015). Beban Emisi Sektor Transportasi Yogyakarta. *The 18th FSTPT International Symposium* (p. 2). Lampung: Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi.
- Sani, R., & Nzihou, A. (2017). Production of Clay Ceramics Using Agricultural Wastes: Study of Properties, Energy Savings and Enviromental Indicators. *Applied Clay Science*, 106-114.
- Shan, Y., Liu, Z., & Guan, D. (2016). CO₂ Emissions from China's Lime Industry. *Applied Energy*, 245-252.
- Wolf, J., Asrar, G. R., & West, T. O. (2017). Revised Methan Emission Factors and Spatially Distributed Annual Carbon Fluxes for Global Livestock. *Carbon Balance and Management*, 12-16.
- Zhou, J. B., Jiang, M. M., & Chen, G. Q. (2007). Estimation of Methane and Nitrous Oxide Emission from Livestock and Poultry in China during 1949-2003. *Energy Policy*, 3759-3767.

BIOGRAFI PENULIS



Penulis Bernama lengkap Lanang Ramadhan. Anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis menempuh Pendidikan dasar pada tahun 2003-2009 di SDNU 1 Trate Gresik. Pada Tahun 2009-2012 penulis melanjutkan ke SMPN 1 Gresik. Sedangkan Pendidikan atas ditempuh di SMAN 1 Gresik pada tahun 2012-2015. Penulis kemudian melanjutkan Pendidikan tinggi di Departemen Teknik Lingkungan FTSPK pada tahun 2015. Selama perkuliahan, penulis pernah aktif sebagai pengurus aktif Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) ITS Foreign Language Society (IFLS) sebagai Staf ahli divisi Kewirausahaan. Selain itu penulis juga aktif sebagai pengurus aktif UKM Musik sebagai Staf Divis Perlengkapan. Penulis pernah mengikuti beberapa pelatihan serta seminar di bidang Teknik Lingkungan dalam rangka pengembangan diri. Penulis dapat dihubungi via email lanangr@gmail.com.