

SKRIPSI

**ANALISIS EMISI GAS RUMAH KACA PENGGUNAAN BAHAN BAKAR PADA
TRANSPORTASI UMUM TEMAN BUS MAMMINASATA**

Disusun dan diajukan oleh :

YUSRIL

D131 18 1317



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS EMISI GAS RUMAH KACA PENGGUNAAN BAHAN BAKAR PADA TRANSPORTASI UMUM TEMAN BUS MAMMINASATA

Disusun dan diajukan oleh

Yusril
D131181317

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 18 Juli 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Prof. Dr. Ir. Hj. Sumarni Hamid Aly, M.T., IPU.
NIP 195812281986012001

Pembimbing Pendamping,



Ir. Rasdiana Zakaria, S.T., M.T
NIP 198510222019032011

Ketua Departemen Teknik Lingkungan,



Dr. Eng. Ir. Muralia Hustim, S.T., M.T., IPM., AER.
NIP 197204242000122001

KATA PENGATAR

Assalamualaikum warahmatullahi wabaraktuh.

Puji syukur kita panjatkan kehadiran Allah STW kerana atas karunia, taufik, dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat mengerjakan dan menyelesaikan tugas akhir Ini. Sholawat dan salam kepada junjungan Nabi Muhammad SAW semoga kita mendapat syafaat di hari akhir kelak. Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Emisi Gas Rumah Kaca Penggunaan Bahan Bakar pada Transportasi Umum Teman Bus Mamminasata**” telah selesai sebagai syarat menyelesaikan studi S1 Teknik Lingkungan, Tugas Akhir ini dikerjakan di bawah bimbingan dosen pembimbing yang penulis hormati yakni Ibu **Prof. Dr. Ir. Hj. Sumarni Hamid Aly, ST., MT.** dan Ibu **Rasdiana Zakaria, ST., MT.**

Penelitian ini jauh dari kata sempurna maka dari itu penulis meyakini bahwa perlunya kritik yang membangun dan saran sehingga dapat menjadi perbaikan untuk kedepannya. Penulis sangat mengharapkan bahwa penelitian ini dapat menjadi salah satu referensi yang bermanfaat dan dapat menjadi sumber pengetahuan bagi pembaca. Akhir kata penulis berterima kasih kepada pihak pihak yang berkontribusi dan membantu penulis baik secara langsung atau tidak langsung dalam menyusun Tugas Akhir ini.

Walaikumsalam warahmatullahi wabarakatuh.

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yusril
NIM : D131181317
Program Studi : Teknik Lingkungan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Analisis Emisi Gas Rumah Kaca Penggunaan Bahan Bakar pada Transportasi Umum Teman Bus Mamminasata

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 12 Juni 2023

Yang Menyatakan,



Yusril

UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberi penulis kesempatan dan kekuatan hati untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Sholawat dan salam penulis kirimkan pula kepada Rasulullah SAW. Pada kesempatan ini, penulis hendak menyampaikan terima kasih kepada para pihak yang telah menemani dan membantu penulis dalam pengerjaan hingga menyelesaikan Tugas Akhir ini. Ucapan terima kasih sebesar- besarnya penulis ucapkan kepada:

1. Kepada orang tua yang saya sayangi, Ibu Juhani dan Bapak Alm. Budiman yang telah berjuang dengan sangat keras sehingga penulis dapat mengenyam bangku kuliah, menyayangi penulis dan terus mendukung apapun cita - cita dari penulis. Tanpa orang tua, penulis mungkin tidak akan pernah menjadi seperti sekarang ini. Tak lupa pula penulis memberikan terimakasih kepada saudara penulis Miswar, Rahmat, Hariati, dan Nasrum yang selalu memberikan dukungan kepada penulis untuk berjuang dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kepada Sahabat terbaik saya Andi Annisa Tenri Ramadhani yang memberikan banyak kontribusi positif terhadap penulis selama kuliah dan senantiasa menjadi teman kerja sama baik akademik maupun organisasi, serta menjadi penyemangat bagi penulis sampai Tugas Akhir ini selesai. *Thank you so much Besties!*
3. Bapak Rektor Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc. Selaku Rektor Universitas Hasanuddin
4. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Isran Ramli, S.T., M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
5. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin.
6. Ibu Prof. Dr. Ir. Hj. Sumarni Hamid Aly, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I.
7. Ibu Rasdiana Zakaria, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II.
8. Bapak/Ibu Dosen serta Staff Departemen Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin.

9. Saudara Andi Abdi Rezeki Dela dan Saeful Musawwir yang telah menemani penulis sekaligus tempat curhat dan tetangga kost yang baik.
10. Saudara Arya Bintang Pramudya dan Saudara Syahrul Subur yang menemani penulis ketika lagi luang dan teman mabar
11. Saudara Al Farabi Hertanto, Rezha Sinar, Rankga Tandipayuk, Muhammad Sukman Jaya, Muhammad Samhi Muawan, Rastedy Nanjaya yang telah menemani penulis mengikuti event dan melepaskan waktu luang bermain Board Game di Ogre.

ABSTRAK

YUSRIL. Analisis Emisi Gas Rumah Kaca Penggunaan Bahan Bakar pada Transportasi Umum Teman Bus Mamminasata (Dibimbing oleh Sumarni Hamid dan Rasdiana Zakaria)

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui jumlah emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh moda transportasi bus khususnya pada Bus Teman Bus Trans Mamminasata Kota Makassar, Sulawesi Selatan. Pengambilan data dilakukan dengan wawancara dengan supir dan pengawas bus untuk mendapatkan data berupa jenis bahan bakar, panjang jalur tiap koridor dan waktu tempuh kendaraan bus. Analisis dilakukan dengan menggunakan perhitungan berdasarkan ketentuan IPCC 2006. Hasil yang didapatkan yakni konsentrasi gas rumah kaca tertinggi didapatkan pada koridor 1 dikarenakan memiliki panjang jalur paling jauh dan jumlah unit paling banyak, sedangkan konsentrasi gas rumah kaca paling rendah terdapat pada koridor 3 dikarenakan memiliki panjang jalur paling pendek dan memiliki unit paling sedikit. Dengan membandingkan emisi bus dari kendaraan lain dapat disimpulkan bahwa potensi emisi teman bus trans mamminasata jauh lebih sedikit dibanding dengan kendaraan lain.

Kata Kunci : Gas Rumah Kaca, Bus, IPCC 2006

ABSTRACT

YUSRIL. *Greenhouse Gas Emission Analysis of Fuel Use on Teman Bus Trans Mamminasata Public Transportation* (Supervised by Sumarni Hamid and Rasdiana Zakaria)

This research is intended to determine the amount of greenhouse gas emissions produced by bus transportation modes, especially on the Teman Bus Trans Mamminasata in Makassar City, South Sulawesi. Data are taken from interviews with bus drivers and supervisors to obtain data in the form of fuel type, length of each corridor and travel time of bus vehicles. The analysis was carried out using calculations based on the provisions of IPCC 2006. The results obtained are the highest concentration of greenhouse gases in corridor 1 which has the longest route length and the largest number of units, while the lowest concentration of greenhouse gases is found in corridor 3 because it has the least route length and has the fewest units. By comparing bus emissions from other vehicles, it can be concluded that the potential emissions of Teman Bus Trans mamminasata are much less than other vehicles.

Keywords : Greenhouse Gases, Bus, IPCC2006

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGATAR.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Ruang Lingkup.....	5
BAB 2 PEMBAHASAN.....	6
2.1 Transportasi.....	6
2.2 Gas Rumah kaca.....	7
2.3 Efek Rumah Kaca.....	11
2.4 Inventarisasi Emisi	13
2.5 Perhitungan Emisi	14
2.6 Perhitungan Emisi Sektor Transportasi.....	17
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	22
3.1 Bagan Alir Penelitian	22
3.2 Rancangan Penelitian	22
3.3 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	23
3.4 Sketsa Lokasi Penelitian.....	24
3.5 Teknik pengumpulan data	27
3.6 Teknik Analisis data.....	27

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Data Aktivitas.....	30
4.2 Emisi Teman Bus Trans Mamminasata	33
5 Perbandingan Hasil Emisi Bus Trans Mamminasata dan Kendaraan Lainnya.....	36
BAB V PENUTUP.....	54
5.1 Kesimpulan.....	54
5.2 Saran.....	54
LAMPIRAN.....	1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian	22
Gambar 3.2 Rute Koridor 1	24
Gambar 3.3 Rute Koridor 2.....	25
Gambar 3.4 Rute Koridor 3.....	26
Gambar 3.5 Rute Koridor 4.....	26
Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Emisi Karbon Dioksida Bus Trans Mamminasata tiap Koridor	34
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Emisi Dinitrogen Monoksida Bus Trans Mamminasata tiap Koridor	35
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Emisi Metana Bus Trans Mamminasata tiap Koridor.....	36
Gambar 4.4 Grafik Jumlah Emisi Karbon Dioksida Per Unit Bus.....	37
Gambar 4.5 Grafik Jumlah Emisi Dinitrogen Monoksida dan Metana Per Unit Bus	38
Gambar 4. 6 Jumlah CO ₂ per unit Motor	39
Gambar 4. 7 Jumlah N ₂ O per unit Motor	40
Gambar 4. 8 Jumlah CH ₄ per unit Motor	42
Gambar 4.9 Jumlah Emisi CO ₂ Per Unit Mobil	43
Gambar 4.10 Jumlah Emisi N ₂ O dan CH ₄ Per Unit Mobil	45
Gambar 4. 11 Perbandingan Jumlah CO ₂ Teman Bus dengan Motor.....	47
Gambar 4. 12 Perbandingan Jumlah N ₂ O Teman Bus dengan Motor.....	48
Gambar 4. 13 Perbandingan Jumlah CH ₄ Teman Bus dengan Motor	49
Gambar 4. 14 Perbandingan Jumlah CO ₂ Teman Bus dengan Mobil.....	50
Gambar 4. 15 Perbandingan Jumlah N ₂ O Teman Bus dengan Mobil.....	51
Gambar 4. 16 Perbandingan Jumlah CH ₄ Teman Bus dengan Mobil	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Faktor Emisi Bahan Bakar	15
Tabel 2. 2 Nilai Kalor Bahan Bakar	16
Tabel 2. 3 Kategori Emisi Transportasi IPCC 2006.....	17
Tabel 2. 4 Perbedaan Perhitungan Tiap Tier pada Emisi CO ₂	18
Tabel 2. 5 Perbedaan Perhitungan Tiap Tier pada N ₂ O dan CH ₄	18
Tabel 3. 1 Perbandingan Jumlah Penumpang kendaraan.....	23
Tabel 4. 1 Jumlah Unit Bus Tiap koridor.....	30
Tabel 4. 2 Jarak Koridor.....	31
Tabel 4. 3 Lebar jalan tiap koridor.....	31
Tabel 4. 4 Jarak koridor pada Teman Bus di Solo	32
Tabel 4. 5 Jadwal Bus	32
Tabel 4. 6 Kapasitas Bus dan Jenis Bahan Bakar Bus	33

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Udara merupakan komponen penting yang ada di bumi dan terdiri atas beberapa gas penyusun seperti Nitrogen (78,1%), Oksigen (21%), Argon (0,9 %), dan Karbon dioksida (0,03 %). Sebagian kurang dari 0,002% seperti Neon (Ne), Helium (He), Metana (CH₄), Krypton (Kr), Hidrogen (H₂), Nitrous oksida (NO_x), Xenon (Xe), Sulfur oksida (SO_x), Ozon (O₃) Amonia (N₂O), Karbon monoksida (CO), dan lain - lain (Manahan, 2000). Udara dibutuhkan oleh makhluk hidup untuk respirasi untuk mendukung kehidupannya. Selain itu, udara merupakan komponen utama dalam atmosfer yang ada di sekeliling dan memiliki fungsi penting bagi kehidupan di permukaan bumi.

Keberadaan udara bersih menjadi salah satu hal yang terpenting bagi kehidupan di bumi. Seiring berjalannya waktu, peningkatan pembangunan dan melesatnya mobilisasi membuat Udara semakin memburuk tiap tahunnya. Sumber utama pencemaran udara terdapat pada sektor transportasi, industri, perumahan dan perkantoran (Prabowo, 2018). Dampak pencemaran tersebut dapat menurunkan kualitas udara dan akhirnya akan berdampak buruk bagi kesehatan makhluk hidup khususnya pada manusia.

Masalah perubahan iklim dan kualitas udara telah menjadi isu yang semakin mengkhawatirkan di seluruh dunia dalam beberapa tahun terakhir. Banyak peneliti telah menemukan bahwa lalu lintas adalah salah satu sumber utama penurunan kualitas udara. Penelitian menunjukkan bahwa transportasi adalah salah satu sumber utama polusi udara. Diantaranya, emisi gas buang dari kendaraan bermotor semakin menjadi faktor penting yang menyebabkan kerusakan lingkungan. (Pan et al., 2021)

Studi terdahulu menyatakan bahwa wilayah perkotaan bertanggung jawab atas 70% emisi karbon dioksida global, dimana wilayah metropolitan merupakan kontributor utama. Menurut laporan Badan Energi Internasional, hampir 23% emisi karbon dioksida dihasilkan dalam sistem transportasi. Di banyak daerah perkotaan di Cina, emisi karbon dioksida dari kendaraan dianggap sebagai salah satu faktor terpenting yang berkontribusi terhadap pemanasan global (Pan et al., 2020) Partikulat, karbon monoksida, hidrokarbon, nitrogen

oksida, dan karbon dioksida, yang merupakan ancaman besar bagi lingkungan udara dan kesehatan manusia, dapat dihasilkan selama pergerakan kendaraan. (Sun et al., 2021)

Sektor transportasi telah diakui sebagai salah satu industri yang berperan sangat penting dalam perkembangan ekonomi saat ini. Tingginya penggunaan bahan bakar minyak di sektor ini menjadi penyebab utama dampak terhadap lingkungan udara, terutama di perkotaan. Pembakaran bahan bakar minyak, seperti diketahui, melepaskan komponen dan senyawa yang mencemari udara, seperti total padatan tersuspensi (debu), karbon monoksida, hidrokarbon total, nitrogen oksida, oksida belerang, partikel timbal dan foto oksidasi (Soedomo, 2001).

Emisi kendaraan bermotor dapat menghasilkan polutan termasuk oksida nitrat, karbon monoksida, hidrokarbon, karbon dioksida, dan sebagainya, yang diakui sebagai salah satu sumber polutan udara perkotaan yang paling penting. (C. Wang et al., 2021) Sebagai contoh, studi terkait menunjukkan bahwa sekitar 45% dari emisi polutan di Amerika Serikat merupakan dampak langsung dari operasional kendaraan. Di area jalan perkotaan, dibandingkan dengan kendaraan bermotor pribadi, transportasi umum memainkan peran penting dalam perjalanan penduduk dan transportasi yang berkelanjutan. (C. Wang et al., 2020) Meskipun penyebab terbesar kemacetan di jalan perkotaan diketahui adalah volume lalu lintas, dampak arus terhadap kecepatan dan emisi terkait tidak terbatas pada persimpangan. Dampak dari penyebab lain terhadap arus bebas seperti kendaraan yang berbelok ke kanan secara acak (selain di persimpangan), parkir di ruang milik jalan, dan akses yang tidak terkendali terhadap rute-rute utama sebagian besar belum dievaluasi. Terdapat kelangkaan literatur mengenai kontribusi alokasi ruang jalan terhadap kemacetan, yang menyebabkan peningkatan produksi emisi. (Abubakar & Tenekeci, 2022)

Oleh karena itu, sejumlah besar penelitian telah mengembangkan model prediksi emisi yang berbeda untuk menyelidiki hubungan antara emisi kendaraan dan berbagai faktor yang berkontribusi, termasuk lalu lintas, kendaraan, meteorologi, jalan, karakteristik mesin, dan lain-lain. (Xu et al., 2019)

Peningkatan dan perluasan transportasi umum merupakan solusi yang semakin penting untuk mengatasi biaya kemacetan yang tinggi dan dampak lingkungan yang semakin buruk dari sistem transportasi yang didominasi oleh mobil yang terlihat di banyak kota modern saat ini. (C. Wang et al., 2019) Sebagai komponen penting dari transportasi

perkotaan, bus angkutan umum menjadi salah satu kontributor utama pencemaran lingkungan perkotaan. Meskipun transportasi umum memiliki keunggulan seperti kapasitas angkut penumpang yang besar, serta efisiensi transportasi yang tinggi, sebagian besar bus perkotaan dilengkapi dengan mesin berkapasitas besar dan sering bergerak sepanjang hari. Akibatnya, polusi udara yang disebabkan oleh transportasi umum perkotaan tidak dapat diabaikan.(Pan, Chen, Li, et al., 2019) Sebagian besar bus perkotaan saat ini ditenagai oleh mesin diesel berkapasitas besar, yang menghasilkan banyak polutan, terutama CO, HC, dan NOx, serta emisi gas rumah kaca seperti CO₂. Sehubungan dengan hal ini, dalam beberapa tahun terakhir, bus energi baru seperti bus gas alam cair (LNG) dipopulerkan secara bertahap di banyak kota, yang lebih ramah lingkungan daripada bus diesel konvensional. Sayangnya, penelitian sebelumnya terutama berfokus pada penelusuran karakteristik emisi mobil penumpang, bus diesel tradisional, dan truk tugas berat, tetapi jarang sekali menganalisis secara cermat emisi yang dihasilkan oleh bus energi baru.(Pan, Chen, Qiao, et al., 2019) Dengan meningkatnya populasi dan aktivitas bus, masalah emisi dan konsumsi bahan bakar (FC) bus menjadi semakin serius. Karena bus sebagian besar dikemudikan di daerah perkotaan, emisinya sangat mempengaruhi kesehatan masyarakat. Meskipun ada peningkatan yang signifikan dalam teknologi bahan bakar dan mesin, bus yang beroperasi di jalan raya di Beijing terus menjadi salah satu sumber utama polusi perkotaan, dan masalah FC mereka masih sangat serius. Emisi kendaraan dan FC bergantung pada banyak faktor, seperti desain kendaraan, perawatan, mode operasi, kondisi sekitar, emisi standar, sifat bahan bakar, perilaku pengemudi, jumlah pemberhentian, beban kendaraan, tingkat jalan, tindakan pengendalian lalu lintas Di antara faktor-faktor ini, kondisi mengemudi kendaraan, seperti kecepatan, akselerasi, dan tingkat jalan, sangat terkait dengan FC dan emisi(A. Wang et al., 2011)

Pertumbuhan kendaraan di Indonesia mencapai 12% per tahun, dengan komposisi terbesar adalah sepeda motor. Kondisi ini tidak hanya menimbulkan masalah kemacetan, tetapi juga masalah lain seperti kecelakaan lalu lintas, polusi udara, dan kebisingan. Selain itu, 70% polusi udara di perkotaan dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Dengan demikian, penggunaan bahan bakar fosil di sektor transportasi perkotaan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pemanasan global. Tingginya intensitas kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar fosil di berbagai negara menyebabkan penurunan kualitas

lingkungan, gankguan kesehatan, dan dampaknya terhadap kondisi sosial dan ekonomi masyarakat.(Surya et al., 2020)

Kota Makassar merupakan salah satu pusat pengembangan kawasan strategis di Indonesia Timur. Dalam satu dekade terakhir, hampir semua kota besar di Indonesia mengalami peningkatan jumlah kendaraan bermotor yang luar biasa, termasuk Makassar. Hal ini telah dan masih berdampak pada kinerja jaringan jalan dan lalu lintas, seperti meningkatnya derajat kejenuhan dan menurunnya kecepatan lalu lintas dan juga dampak lingkungan, meningkatnya polusi gas buang dan meningkatnya kebisingan lalu lintas.(Mughtar & Ramli, 2019)

Dinamika pembangunan Kota Makassar menunjukkan hal yang sama. Indikasi tersebut dinilai berdasarkan persentase tingkat pencemaran udara yang dikategorikan tidak sehat dan mengancam kesehatan masyarakat, dengan indeks pencemaran udara mencapai 87,83-90%. Penyumbang polusi terbesar adalah asap yang mengandung karbon monoksida (CO₂) dari kendaraan bermotor dan kegiatan industri. Dengan demikian, peningkatan pertumbuhan kendaraan bermotor, aktivitas rumah tankga, perdagangan, dan industri yang sangat pesat memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan pencemaran udara di Kota Makassar. Terdapat empat faktor perkembangan kota terhadap emisi NOX per kapita: Intensitas emisi NOX dari bahan bakar bensin.(Surya et al., 2020)

Untuk mengurai kemacetan di kota-kota besar diterapkan sistem transportasi Bus Rapid Transit. Salah satunya di Kota Makassar yang mulai beroperasi pada tankgal 14 November 2021. Teman Bus Mamminasata hadir sebagai salah satu mode transportasi umum di Kota Makassar dan sekitarnya yang berperan pula untuk membantu mengurangi emisi gas rumah kaca. Untuk mengetahui keterkaitan antara emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh Teman BusMamminasata maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut. Berdasarkan hal tersebut, maka penulis mengusung “Analisis Emisi Gas Rumah Kaca Penkgunaan Bahan Bakar pada Transportasi Umum Teman Bus Mamminasata”.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, Rumusan masalah yang ada pada penelitian ini yakni :

- a. Berapa potensi Gas rumah kaca yang dihasilkan oleh Teman Bus Mamminasata
- b. Bagaimana perbandingan Gas rumah kaca yang dihasilkan Teman Bus Mamminasata dengan kendaraan lain

1.3 Tujuan

- a. Menganalisis jumlah emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh Teman Bus Mamminasata
- b. Menganalisis Jumlah emisi yang dihasilkan oleh Teman Bus Mamminasata dengan kendaraan lain

1.4 Manfaat Penelitian

- a. Bagi Penulis
Sebagai salah satu syarat kelulusan bagi penulis sebagai mahasiswa Teknik lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. dan sebagai salah satu karya Ilmiah bagi penulis
- b. Bagi Universitas
Sebagai Referensi untuk penelitian selanjutnya dan menambah jumlah koleksi penelitian bagi Universitas
- c. Bagi Masyarakat
Menedukasi masyarakat perihal gas rumah kaca yang dihasilkan dari kendaraan khususnya oleh Bus Trans Mamminasata

1.5 Ruang Lingkup

- a. Parameter gas rumah kaca yakni CO₂, NH₄, dan N₂O
- b. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus – September 2022
- c. Titik Penelitian dilakukan pada setiap Armada Bus Trans Mamminasata

BAB 2 PEMBAHASAN

2.1 Transportasi

Transportasi memindahkan orang dan barang dari satu tempat ke tempat lain menggunakan berbagai kendaraan melintasi sistem infrastruktur yang berbeda. Hal ini tidak hanya menggunakan teknologi (yaitu kendaraan, energi, dan infrastruktur), tetapi juga waktu dan tenaga manusia; menghasilkan tidak hanya output yang diinginkan dari perjalanan penumpang dan pengiriman barang, tetapi juga hasil yang merugikan seperti polusi udara, kebisingan, kemacetan, kecelakaan, cedera, dan kematian. (David Levinson, Henry Liu et al., 2009)

Sistem transportasi melayani orang, dan dibuat oleh orang, baik pemilik sistem maupun operator, yang menjalankan, mengelola, dan memelihara sistem dan pelancong yang menggunakannya. Waktu perjalanan tergantung baik pada waktu aliran bebas, yang merupakan produk dari desain infrastruktur maupun penundaan karena kemacetan, yang merupakan interaksi antara kapasitas sistem dan penggunaannya. Hasil yang merugikan dari transportasi, khususnya eksternalitas negatifnya:

dengan mencemari, sistem mengurangi tingkat kesehatan dan meningkatkan morbiditas dan mortalitas; dengan menjadi berbahaya, mereka mengurangi tingkat keselamatan dan menghasilkan cedera dan kematian; dengan bersuara keras mereka mengurangi ketenangan dan menghasilkan kebisingan (menurunkan kualitas hidup dan nilai properti); dan dengan memancarkan karbon dan polutan lainnya, sehingga merusak lingkungan.

Semua faktor ini semakin diakui sebagai biaya transportasi, tetapi yang paling menonjol adalah dampak lingkungan, khususnya yang berkaitan dengan perubahan iklim global. Transportasi sangat penting bagi aktivitas ekonomi dan kehidupan manusia, memungkinkan mereka untuk bekerja, bersekolah, berbelanja makanan dan barang lainnya, dan berpartisipasi dalam semua aktivitas yang membentuk keberadaan manusia. Lebih banyak transportasi, dengan meningkatkan aksesibilitas ke lebih banyak tujuan, memungkinkan orang untuk mencapai tujuan pribadi mereka dengan lebih baik, tetapi memerlukan biaya yang lebih tinggi baik secara individu maupun sosial. Sementara “masalah transportasi” sering kali muncul dalam bentuk kemacetan, penundaan itu hanyalah salah satu biaya dari sebuah sistem

yang memiliki banyak biaya dan bahkan lebih banyak keuntungan. Selanjutnya, dengan mengubah aksesibilitas, transportasi memberi bentuk pada pengembangan lahan.(David Levinson, Henry Liu et al., 2009)

2.2 Gas Rumah kaca

Banyak senyawa kimia di atmosfer bertindak sebagai gas rumah kaca. Gas-gas ini memungkinkan sinar matahari (radiasi gelombang pendek) untuk bebas melewati atmosfer bumi dan memanaskan daratan dan lautan. Bumi yang hangat melepaskan panas ini dalam bentuk cahaya inframerah (radiasi gelombang panjang), tidak terlihat oleh mata manusia. Beberapa cahaya inframerah yang dilepaskan oleh Bumi melewati atmosfer kembali ke luar angkasa. Namun, gas rumah kaca tidak akan membiarkan semua cahaya inframerah melewati atmosfer. Mereka menyerap sebagian dan memancarkannya kembali ke Bumi. Fenomena yang disebut efek rumah kaca ini terjadi secara alami dan membuat permukaan bumi tetap hangat. Sangat penting untuk kelangsungan hidup kita di Bumi. Tanpa efek rumah kaca, suhu rata-rata permukaan bumi akan menjadi sekitar 60° Fahrenheit ($\pm 15^\circ$ Celcius) lebih dingin, dan cara hidup kita saat ini tidak mungkin(Doll, Julie E. and Barański, 2011).

Gas rumah kaca terdiri dari tiga atom atau lebih. Struktur molekul ini memungkinkan gas-gas ini menjebak panas di atmosfer dan kemudian memindahkannya ke permukaan yang selanjutnya menghangatkan Bumi. Siklus perangkap panas yang tidak terputus ini menunjukkan peningkatan suhu global secara keseluruhan. Prosedurnya, yang sangat mirip dengan cara kerja rumah kaca, adalah alasan utama mengapa gas yang dapat menghasilkan hasil ini secara kolektif disebut gas rumah kaca . Gas-gas utama yang menyebabkan efek rumah kaca adalah: karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), nitrogen oksida (N_2O), dan gas-gas berfluorinasi.(Kweku et al., 2018).

Karbon dioksida sampai batas tertentu adalah salah satu gas rumah kaca. Ini melibatkan satu atom karbon dengan atom oksigen terikat di setiap sisi. Begitu atom-atomnya terikat erat, molekul karbon dioksida dapat menyerap radiasi inframerah dan molekul mulai bergetar. Akhirnya, molekul yang bergetar akan memancarkan radiasi lagi, dan kemungkinan akan diserap oleh molekul gas rumah kaca lainnya. Siklus penyerapan-emisi-penyerapan ini berfungsi untuk menjaga panas di dekat permukaan, secara efektif mengisolasi permukaan dari dinginnya ruang angkasa.

Karbon dioksida, uap air (H_2O), metana (CH_4), nitrogen oksida (N_2O), dan beberapa gas terbatas lainnya adalah gas rumah kaca. Mereka semua adalah molekul yang terdiri dari lebih dari dua atom penyusun, terikat cukup longgar untuk dapat bergetar dengan penyerapan panas. Mekanisme utama atmosfer (N_2 dan O_2) adalah molekul dua atom yang terikat terlalu erat untuk bergetar dan akibatnya, mereka tidak menyerap panas dan mensubsidi efek rumah kaca. Karbon dioksida, metana, dinitrogen oksida, dan gas-gas berfluorinasi adalah semua gas yang tercampur dengan baik di atmosfer yang tidak bereaksi terhadap perubahan suhu dan tekanan udara, sehingga kadar gas-gas tersebut tidak terpengaruh oleh efek kondensasi. Uap air juga merupakan komponen yang sangat aktif dari sistem iklim yang dengan cepat bereaksi terhadap fluktuasi kondisi baik dengan menyusut menjadi hujan atau salju atau menguap untuk kembali ke atmosfer. Akibatnya, jejak efek rumah kaca pada prinsipnya disirkulasikan melalui uap air, dan itu berubah menjadi efek reaksi cepat (Doll, Julie E. and Barański, 2011).

Karbon dioksida dan gas rumah kaca non-kondensasi lainnya adalah gas vital dalam atmosfer bumi yang mentolerir efek rumah kaca dan meningkatkan kekuatannya. Uap air adalah umpan balik yang bekerja cepat tetapi konsentrasinya dikendalikan oleh gaya radiasi yang disuplai oleh gas rumah kaca yang tidak berkondensasi. Bahkan, efek rumah kaca akan runtuh jika bukan karena adanya karbon dioksida dan gas rumah kaca non-kondensasi lainnya (Doll, Julie E. and Barański, 2011).

Dampak masing-masing gas rumah kaca terhadap produksi efek rumah kaca tergantung pada jumlah konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer, lama waktu di atmosfer, dan kemampuan menyerap energi. Meningkatnya kadar gas rumah kaca meningkatkan efek rumah kaca yang berkontribusi terhadap pemanasan global. Gas-gas yang terkandung dalam rumah kaca adalah:

a. CO_2 (karbon dioksida)

CO_2 adalah gas rumah kaca terpenting penyebab pemanasan global yang disimpan di atmosfer oleh aktivitas manusia. Kontribusi utama manusia terhadap jumlah karbon dioksida di atmosfer berasal dari pembakaran bahan bakar fosil, yaitu minyak bumi, batu bara, dan gas alam. Pembukaan lahan yang berkelanjutan untuk pertanian dan pengundulan hutan juga meningkatkan jumlah karbon dioksida di atmosfer. Namun selain efek rumah kaca, CO_2 juga berperan sangat penting dalam kehidupan tanaman. Karbon dioksida diserap oleh tanaman

dengan bantuan sinar matahari dan digunakan untuk pertumbuhan tanaman dalam proses yang dikenal sebagai fotosintesis. Proses yang sama terjadi di lautan, di mana gankgang laut menyerap karbon dioksida. Efek peningkatan CO₂ di atmosfer meliputi:

peningkatan suhu permukaan bumi, kenaikan permukaan laut, iklim yang tidak normal, terjadinya berbagai penyakit pada manusia dan hewan . Banyak upaya telah dilakukan untuk mengurangi laju peningkatan emisi CO₂ ke atmosfer.

Akumulasi CO₂ di atmosfer adalah keseimbangan antara bahan bakar fosil dan emisi perubahan penggunaan lahan, dan penyerapan karena tenggelamnya lautan dan daratan. Isu utamanya adalah memahami proses pengendalian anggaran karbon global untuk menghubungkan emisi antropogenik CO₂ secara kuantitatif dengan konsentrasi atmosfer. Dua kekhawatiran telah mendominasi perdebatan ilmiah sejak Penilaian Sains IPCC pertama: (a) laju global perubahan penggunaan lahan, terutama deforestasi, dan (b) fluks karbon dan proses yang mengendalikan pelepasan dan penyerapannya di biosfer terestrial dan lautan. (Cloy & Smith, 2017)

b. H₂O (Uap air)

Uap air merupakan penyebab terbesar dari efek rumah kaca. Uap air tidak terlihat dan harus dibedakan dari awan dan kabut yang terbentuk ketika uap air membentuk tetesan air. Jumlah uap air di atmosfer berada di luar kendali manusia dan terutama dipengaruhi oleh suhu global. Jika bumi menjadi lebih hangat, jumlah uap air di atmosfer akan meningkat seiring dengan meningkatnya laju penguapan. Hal ini akan meningkatkan efek rumah kaca dan menyebabkan pemanasan global.

c. CH₄ (Metana)

Metana dihasilkan ketika mikroorganisme tertentu menguraikan bahan organik tanpa adanya udara (anaerob). Gas ini juga diproduksi secara alami selama dekomposisi biomassa di rawa-rawa, sehingga disebut juga sebagai gas rawa. Metana mudah terbakar dan menghasilkan karbon dioksida sebagai produk sampingan. Aktivitas manusia telah meningkatkan jumlah metana yang dilepaskan ke atmosfer. Sawah sangat ideal untuk pembentukannya, di mana batang padi tampaknya berperan dalam menyalurkan metana ke atmosfer. Meningkatnya jumlah sapi, kerbau, dan sejenisnya adalah sumber besar lainnya,

karena metana dibuat di perut mereka dan dikeluarkan saat mereka bersendawa dan kentut. Metana juga diproduksi dalam jumlah yang signifikan di tempat pembuangan sampah, sehingga bermanfaat untuk menangkap metana sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan listrik. Metana merupakan komponen utama gas alam. Gas ini ditemukan dalam jumlah besar di sumur minyak atau gas alam.

Metana (CH_4) merupakan salah satu gas rumah kaca yang penting. Reaksi kimia yang melibatkan CH_4 di troposfer dapat menyebabkan produksi ozon, dan reaksi dengan radikal hidroksil (OH) di stratosfer menghasilkan produksi uap air. Baik ozon troposfer, terutama di troposfer atas, dan uap air stratosfer adalah gas rumah kaca yang signifikan. Produk oksidasi akhir CH_4 adalah CO_2 yang juga merupakan gas rumah kaca. Salah satu mekanisme penghilangan OH yang utama adalah reaksi dengan CH_4 , oleh karena itu, ketika kadar CH_4 meningkat, kadar OH dapat menurun. Hal ini dapat menyebabkan peningkatan masa pakai CH_4 dan gas rumah kaca penting lainnya, misalnya, hidroklorofluorokarbon (HCFC). (Cloy & Smith, 2017)

d. N_2O (Nitrogen Oksida)

Nitrogen Oksida adalah gas rumah kaca berumur panjang yang penting. Selain itu, ini adalah sumber utama dari oksida nitrogen di stratosfer, yang memainkan peran penting dalam mengendalikan kelimpahan dan distribusi ozon stratosfer.

e. CFC (Chloro Fluoro Carbon)

Chlorofluorocarbon adalah sekelompok gas buatan manusia. CFC tidak mudah terbakar dan tidak beracun. CFC sangat stabil sehingga dapat digunakan di berbagai perangkat. Ini menjadi populer setelah Perang Dunia II. Klorofluorokarbon yang paling banyak digunakan membawa nama dagang Freon. Dua klorofluorokarbon yang umum digunakan adalah CFC R-11 dan CFC R-12. Zat-zat ini digunakan dalam proses pembusaan, dalam peralatan AC dan lemari es, dan sebagai pelarut untuk membersihkan microchip. CFC menghasilkan efek pemanasan ribuan kali lebih besar dari CO_2 . Namun untungnya, penggunaan CFC telah dilarang di banyak negara karena CFC telah lama dituding merusak lapisan ozon.

f. O_3 (ozon)

Ozon terjadi secara alami di atmosfer (troposfer, stratosfer). Di troposfer, ozon adalah produk sampingan pencemar yang terbentuk ketika sinar matahari bereaksi dengan gas buang

kendaraan bermotor. Ozon di troposfer dapat berbahaya bagi kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan.

2.3 Efek Rumah Kaca

Efek rumah kaca adalah kenaikan suhu yang dialami Bumi karena gas-gas tertentu di atmosfer (uap air, karbon dioksida, nitrous oxide, ozon, metana, misalnya) memerangkap energi yang berasal dari matahari. Gas-gas ini biasanya disebut gas rumah kaca karena mereka berperilaku seperti panel kaca di rumah kaca. Panel kaca rumah kaca membiarkan cahaya masuk tetapi menahan panas agar tidak keluar dan ini mirip dengan efek gas-gas ini di bumi. (Pratama, 2019)

Sebenarnya penggunaan istilah efek rumah kaca diadopsi dari para petani di negara-negara Eropa dan Amerika, karena mekanisme pemanasan bumi ini sama dengan yang terjadi pada rumah kaca yang digunakan untuk perkebunan di negara-negara tersebut. Biasanya petani menggunakan rumah kaca di musim dingin. Tanaman yang ditanam di rumah kaca akan tetap hidup dan tidak mati beku, di bawah pengaruh musim dingin. Karena kaca akan menghalangi suhu yang masuk dan memantulkannya kembali. Hal ini menyebabkan sering terjadi kesalahpahaman, bahwa efek rumah kaca disebabkan oleh banyaknya rumah berdinding kaca.

Sinar matahari memasuki atmosfer bumi, melewati gas rumah kaca. Saat mencapai permukaan bumi, tanah, air, dan biosfer menyerap energi sinar matahari. Setelah diserap, energi ini dikirim kembali ke atmosfer. Sebagian energi kembali ke luar angkasa, tetapi sebagian besar tetap terperangkap di atmosfer oleh gas rumah kaca. Ini adalah proses yang benar-benar alami dan tanpa gas-gas ini semua panas akan kembali ke angkasa dan suhu rata-rata bumi akan menjadi sekitar 30 derajat Celcius lebih dingin. Efek rumah kaca merupakan proses yang sangat penting, karena tanpa efek rumah kaca, bumi tidak akan cukup hangat untuk ditinkgali manusia. Namun jika efek rumah kaca semakin kuat, bisa membuat Bumi lebih hangat dari biasanya. Bahkan sedikit pemanasan ekstra dapat menyebabkan masalah bagi manusia, tumbuhan, dan hewan.

Penyebab efek rumah kaca adalah sebagai berikut: penggunaan mineral yang mudah terbakar dalam industri - batu bara, minyak, gas alam, yang mengeluarkan sejumlah besar karbon dioksida dan senyawa berbahaya lainnya ke atmosfer saat dibakar; alat transportasi yang berbeda - mobil dan truk mengeluarkan asap knalpot yang juga mencemari udara dan meningkatkan efek

rumah kaca; deforestasi, yang menyerap karbon dioksida dan melepaskan oksigen, dan dengan penghancuran setiap pohon di planet ini, jumlah CO₂ di udara meningkat; kebakaran hutan adalah sumber lain dari perusakan tanaman di planet ini. Pertambahan penduduk berdampak pada meningkatnya permintaan akan pangan, sandang, perumahan. Sejalan dengan itu, untuk memenuhi permintaan ini produksi industri tumbuh, yang semakin mencemari udara dengan gas rumah kaca; kimia pertanian dan pupuk mengandung sejumlah senyawa yang berbeda, penguapan yang melepaskan nitrogen - salah satu gas rumah kaca; dekomposisi dan pembakaran sampah di tempat pembuangan sampah berkontribusi pada peningkatan gas rumah kaca.

Gas rumah kaca menyerap dan memancarkan kembali energi panas radiasi dari matahari. Mereka memegang energi panas itu untuk jangka waktu yang jauh lebih lama daripada gas atmosfer lainnya. Uap air adalah gas rumah kaca alami yang paling penting di Bumi. Uap air dan awan menyebabkan sebagian besar efek rumah kaca alami bumi dan menyumbang sekitar 90% dari total kapasitas penahan panas atmosfer. Gas rumah kaca juga dapat menyerap kembali radiasi matahari yang dipantulkan atau dipancarkan kembali dari permukaan bumi, menjebak panas di atmosfer kita alih-alih melepaskannya ke luar angkasa. Efek Rumah Kaca merupakan proses alami yang penting bagi kehidupan di Bumi, karena berperan penting dalam mengatur suhu Bumi. Namun, selama beberapa ratus tahun terakhir, manusia telah meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca (terutama karbon dioksida dan metana) di atmosfer di atas jumlah alami, yang telah menyebabkan peningkatan pemanasan. (Salatin, 2022)

Sementara gas rumah kaca (GRK) terbentuk secara alami, banyak aktivitas manusia menambahkan GRK tambahan ke atmosfer. Pemanasan dan pendinginan gedung, penggunaan energi di rumah dan kantor, mengemudikan kendaraan untuk memindahkan orang dan barang, menjalankan proses industri - sebagian besar hal yang kita lakukan yang mengonsumsi energi berkontribusi pada masalah. Radiasi dari matahari memasuki atmosfer bumi, dan GRK bertindak seperti kaca rumah kaca untuk memblokir panas ini agar tidak kembali ke luar angkasa. Ada hubungan langsung antara peningkatan konsentrasi GRK di atmosfer, khususnya karbon dioksida (CO₂), pemanasan global, dan kejadian cuaca ekstrem yang lebih sering terjadi. (Caccia, 1984)

Perubahan iklim global menjadi masalah penting saat ini. Ini mengarah pada peningkatan bertahap dalam suhu tahunan rata-rata planet ini, yang dimulai dengan revolusi industri pada awal abad ke-20. Cuaca ekstrem dalam beberapa tahun terakhir membuat pembicaraan tentang pertumbuhan suhu bumi semakin gencar. Perubahan suhu dijelaskan oleh

tingginya tingkat manufaktur dan aktivitas ekonomi yang mencakup emisi gas rumah kaca utama: karbon dioksida, metana, dll.(Mikhaylov et al., 2020)

Sistem iklim Bumi meliputi atmosfer, lautan, daratan, kriosfer (es dan salju) dan biosfer. Angka tersebut menunjukkan representasi visual dari komponen dan operasi prosesnya. Iklim digambarkan oleh karakteristik seperti suhu, jumlah curah hujan, kelembaban udara dan tanah, keadaan penutup salju dan es, dan banyak lainnya. Iklim terus berubah karena banyak faktor alam yang berbeda. Faktor baru yang signifikan, yang semakin mempengaruhi iklim bumi dalam 200 tahun terakhir, telah menjadi aktivitas manusia. Dampaknya ditentukan oleh apa yang disebut efek rumah kaca.

2.4 Inventarisasi Emisi

Dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pedoman Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Emisi adalah Pencemar Udara yang dihasilkan dari kegiatan manusia yang masuk dan/atau dimasukkannya ke dalam udara, mempunyai dan/atau tidak mempunyai potensi Pencemaran Udara.(Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021, 2021)

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).(Indonesia, 2011)

Berdasarkan Pasal 4 Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 71 Tahun 2011 Tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional , penghitungan emisi dan serapan GRK termasuk stok karbon menggunakan data aktivitas masing-masing sumber dan serapan emisi, termasuk stok karbon, dan menggunakan data aktivitas tahun yang sama untuk menghitung faktor emisi dan penghapusan Ini mengatur untuk menggunakan koefisien secara lokal. Selanjutnya, ketika faktor emisi dan serapan lokal tidak tersedia, faktor emisi dan serapan yang disepakati secara internasional dapat digunakan untuk menghitung faktor emisi dan serapan GRK, termasuk stok karbon.

Data aktivitas yang dimaksud adalah data jumlah aktivitas manusia yang terkait dengan emisi gas rumah kaca. Faktor emisi adalah faktor yang menyatakan jumlah emisi per unit kegiatan. Faktor emisi dibagi menjadi tiga tingkatan (tier): Tier 1, Tier 2, dan Tier 3. Faktor emisi Tier 1 adalah faktor emisi yang ditetapkan secara internasional yang berlaku di semua negara. Faktor

emisi Tier 2 adalah faktor emisi spesifik negara. Faktor emisi Tier 3 adalah faktor emisi spesifik negara.

Tujuan pelaksanaan inventarisasi GRK nasional, sebagaimana ditentukan oleh Perintah Eksekutif, adalah untuk memberikan informasi berkala tentang tingkat, status, dan tren perubahan emisi dan serapan GRK. / Informasi tentang pencapaian pengurangan emisi GRK melalui langkah-langkah perlindungan iklim tingkat kota dan nasional. (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2020)

Tujuan penyusunan Pedoman Pelaksanaan Inventarisasi Emisi GRK adalah untuk memberikan informasi yang ringkas tentang pelaksanaan Inventarisasi Emisi GRK di tingkat nasional dan negara bagian dan/atau kabupaten/kota.

Berdasarkan keputusan para pihak pada COP 8 (Decision 17/CP.8), disepakati bahwa untuk negara berkembang (non-Annex 1) seperti Indonesia, pedoman harus digunakan untuk menyusun salinan inventarisasi GRK dari Panel Antarpemerintah sebagaimana direvisi pada tahun 1996. tentang Pedoman Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Perubahan Iklim (IPCC) (paragraf 8). Selain itu, juga didukung oleh dua pedoman lainnya yaitu Pedoman Praktik Baik IPCC dan Pengelolaan Ketidakpastian dalam Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional yang diadopsi oleh IPCC pada tahun 2000, dan Praktik Baik dalam Penggunaan Lahan, Perubahan Tata Guna Lahan dan Kehutanan (GPG). untuk LULUCF diadopsi oleh IPCC pada tahun 2000. (KLH, 2012)

2.5 Perhitungan Emisi

Secara umum, persamaan untuk menghitung emisi GRK adalah

$$\text{Emisi GRK} = \text{AD} \times \text{EF}$$

Sumber : (KLHK et al., 2012)

Dimana AD adalah data aktifitas yaitu data kegiatan pembangunan atau aktivitas manusia yang menghasilkan emisi atau serapan GRK dan EF ialah faktor emisi atau serapan GRK yang menunjukkan besarnya emisi/serapan per satuan unit kegiatan yang dilakukan.

Tabel 2. 1 Faktor Emisi Bahan Bakar

Jenis bahan bakar	Kg GRK/Tj		
	CO2	CH4	N2O
Gas oil (Minyak Solar,HSD/ADO)	74100	3	0,6
Diesel oil (Minyak Diesel/IDO)	74100	3	0,6
Residual fuel oil (Minyak bakar, MFO,HFO)	77400	3	0,6
Natural Gas (Gas Bumi)	56100	1	0,1
Coking Coal	94600	1	1,5
Other Bituminous	94600	1	1,5
Sub Bituminous	96100	1	1,5
Lignite	101000	1	1,5
Peat	106000	1	1,5
Biodiesel	70800	3	0,6
Landfill Gas	54600	1	0,1
Other Biogas	54600	1	0,1
Wood /Woodwast (kayu)	112000	30	4
Other primary solid biomass (Biomassa padat lainnya)	100000	30	4

Sumber : (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2020)

Tabel 2. 2 Nilai Kalor Bahan Bakar

Penkgunaan Energi	Satuan Fisik	Nilai Kalor (TJ/Satuan Fisik)
Arang Kayu	Kg	3,03E-05
Biomassa (kayu bakar)	Kg	1,20E-05
Briket Batubara	Kg	2,17E-05
Birket Gambut	Kg	1,55E-05
Biogas	M3	2,00E-05
LPG	Kg	5,20E-05
Minyak Tanah	Liter	3,62E-05
Minyak Diesel (HSD)/IDO	Liter	4,07E-05
Minyak Bakar (Fuel Oil)	Liter	4,25E-05
Minyak Solar (ADO)	Liter	3,96E-05

Sumber : (KLHK et al., 2012)

Kedalaman metode yang digunakan dalam inventarisasi GRK disebut 'tier'. Semakin dalam metode yang digunakan, maka inventarisasi GRK akan semakin detail dan akurat. Tingkat yang lebih tinggi dan kebutuhan untuk melakukan perbaikan ini. Secara umum tingkat akurasi (TIER) dalam melakukan inventarisasi GRK dapat dibagi menjadi tiga :

➤ Tier 1:

Estimasi berdasarkan data aktivitas standar IPCC dan faktor emisi.

➤ Tier 2:

Perkiraan berdasarkan data aktivitas yang lebih tepat dan faktor emisi standar IPCC atau faktor emisi spesifik negara/lokasi.

➤ Tier 3:

Estimasi berdasarkan metode spesifik negara menggunakan data aktivitas yang lebih tepat (pengukuran langsung) dan faktor emisi spesifik negara atau pabrik (spesifik negara/khusus pabrik).

Emisi GRK yang dihitung untuk sektor energi hanya berasal dari dua kategori: emisi dari pembakaran bahan bakar dan emisi fugitive dari produksi dan pasokan bahan bakar. Sumber emisi dari pembakaran bahan bakar diklasifikasikan ke dalam lima kategori:

pembangkit listrik, manufaktur dan konstruksi, transportasi, industri lainnya, dan lain-lain. Setiap kategori dibagi lagi menjadi beberapa subkategori.

Tabel 2. 3 Kategori Emisi Transportasi IPCC 2006

Kode IPCC GL 2006	Kategori
1 A	Kegiatan Pembakaran bahan bakar
1 A 1	Industri Produsen Energi
1 A 2	Industri Manufaktur dan Konstruksi
1 A 3	Transportasi
1 A 4	Konsumen Energi lainnya (Komersial, Rumah Tankga, Dll)
1 A 5	Lain-lain yang tidak termasuk pada 1A1 s.d 1A4
1 B	Emisi Fugitive
1 B 1	Bahan bakar padat
1 B 2	Minyak bumi dan gas alam

Sumber : IPCC 2006

2.6 Perhitungan Emisi Sektor Transportasi

Emisi GRK dari pembakaran bahan bakar pada sumber bergerak adalah emisi GRK dari kegiatan transportasi, meliputi transportasi darat (jalan raya, off-road, kereta api), transportasi air (sungai atau laut), dan transportasi udara (pesawat). Gas rumah kaca yang dikeluarkan oleh pembakaran bahan bakar di sektor transportasi adalah CO₂, CH₄ dan N₂O. Emisi GRK berdasarkan pembakaran bahan bakar dalam asal berkiprah merupakan emisi GRK berdasarkan aktivitas transportasi, mencakup transportasi darat (jalan raya, off-road, kereta api), transportasi air (sungai atau laut), & transportasi udara (pesawat). Gas tempat tinggal kaca yg dimuntahkan sang pembakaran bahan bakar pada sektor transportasi merupakan CO₂, CH₄ & N₂O.

❖ Emisi CO₂

Tabel 2. 4 Perbedaan Perhitungan Tiap Tier pada Emisi CO₂

Tier	Data Aktivitas	Faktor emisi
Tier 1	Konsumsi bahan bakar berdasarkan jenis bahan bakar	Kandungan karbon berdasarkan jenis bahan bakar
Tier 2	Konsumsi bahan bakar berdasarkan jenis bahan bakar	Kandungan karbon berdasarkan jenis bahan bakar yang digunakan di Indonesia

Emisi CO₂ dapat dihitung dengan persamaan

$$Emisi = \sum_a Konsumsi BB_a \times Faktor Emisi_a$$

Dimana :

Emisi : Emisi CO₂

Konsumsi BB_a : Bahan Bakar dikonsumsi

Faktor Emisi_a : Faktor emisi CO₂ menurut jenis bahan bakar (kg gas/TJ), default IPCC 2006

a : jenis bahan bakar (premium,solar)

Sumber : (IPCC, 2006) dalam (KLHK et al., 2012)

❖ Emisi N₂O dan CH₄

Tabel 2. 5 Perbedaan Perhitungan Tiap Tier pada N₂O dan CH₄

Tier	Data Aktivitas	Faktor emisi
Tier 1	Konsumsi Bahan bakar berdasarkan jenis bahan bakar	Faktor emisi berdasarkan jenis bahan bakar
Tier 2	Konsumsi bahan bakar berdasarkan jenis bahan bakar, sub kategori kendaraan	Faktor emisi berdasarkan jenis bahan bakar, sub kategori kendaraan
Tier 3	Jarak yang ditempuh	Faktor emisi berdasarkan sub kategori kendaraan

Tier 1 :

Data aktivitas yang diperlukan yakni : Konsumsi bahan bakar berdasarkan jenis bahan bakar dan Faktor emisi berdasarkan Jenis bahan bakar

Emisi CH₄ dan N₂O dapat dihitung dengan persamaan

$$Emisi = \sum_a Konsumsi BB_a \times Faktor Emisi_a$$

Dimana :

- Emisi : Emisi CH₄ atau N₂O
 Konsumsi BB_a : Bahan Bakar dikonsumsi
 Faktor Emisi_a : Faktor emisi CH₄ atau N₂O menurut jenis bahan bakar (kg gas/TJ), default IPCC 2006
 a : jenis bahan bakar (premium,solar)

Tier 2 :

Emisi CH₄ Dan N₂O suatu kendaraan bergantung pada jenis bahan bakar dan jenis teknologi pengendalian pembakaran. oleh karena itu estimasi emisinya memperhitungkan jenis kendaraan dan teknologi pengendalian.

Persamaan yang digunakan untuk estimasi CH₄ dan N₂O Menurut tier 2 adalah :

$$Emisi = \sum_{a,b,c} Konsumsi BB_{a,b,c} \times Faktor Emisi_{a,b,c}$$

Dimana :

- Emisi : Emisi CH₄ atau N₂O
 Konsumsi BB_{a,b,c} : Bahan Bakar dikonsumsi
 Faktor Emisi_{a,b,c} : Faktor emisi CH₄ dan N₂O menurut jenis bahan bakar (kg gas/TJ), default IPCC 2006
 a : jenis bahan bakar (premium,solar)
 b : Tipe Kendaraan
 c : Peralatan Pengendalian Emisi

Tier 3 :

Pada tier 3 selain faktor faktor yang telah disampaikan pada tier 1 dan tier 2, faktor jarak tempuh kendaraan dan emisi pada saat start up juga diperhitungkan.

Persamaan tier 3 adalah sebagai berikut

$$Emisi = \sum_{a,b,c,d} [Jarak Tempuh_{a,b,c,d} \times Faktor Emisi_{a,b,c,d}] \times \sum_{a,b,c,d} C_{a,b,c,d}$$

Dimana :

Emisi : Emisi CH₄ atau N₂O (kg)

Konsumsi BB_{a,b,c,d} : Bahan Bakar dikonsumsi

Faktor Emisi_{a,b,c,d} : Faktor emisi CH₄ dan N₂O (kg gas/km),

C : Emisi pada saat pemanasan kendaraan (kg)

a : jenis bahan bakar (premium,solar)

b : tipe kendaraan

c : teknologi pengendalian pencemaran

d : kondisi operasi (kualitas jalan kota, desa, dll)

Sumber : (IPCC, 2006) dalam (KLHK et al., 2012)

2.7 GWP (Global Warming Potential)

Aktivitas manusia telah menyebabkan peningkatan konsentrasi sejumlah gas yang berpengaruh dalam penyerapan dan pemancaran kembali radiasi dalam spektrum inframerah dari spektrum elektromagnetik, yang mengarah pada terjadinya peningkatan efek rumah kaca. Gas-gas utama yang bertanggung jawab atas terjadinya penguatan ini adalah karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), ozon troposfer (O₃), klorofluorokarbon (CFC) dan dinitrogen oksida (N₂O). Banyak penganti yang disarankan untuk CFC, seperti HCFC dan HFC, yang juga merupakan gas rumah kaca. Gas-gas lain, seperti karbon monoksida (CO) dan nitrogen oksida (NO_x), serta hidrokarbon (HC), bukan merupakan gas rumah kaca, tetapi mempengaruhi konsentrasi satu atau lebih gas rumah kaca dan dengan demikian secara tidak langsung mempengaruhi kekuatan efek rumah kaca. (Harvey, 1993)

Gas rumah kaca memanaskan bumi dengan menyerap energi dan mengurangi tingkat pelepasan energi dari atmosfer. Gas-gas ini berbeda dalam kemampuannya menyerap energi, yaitu, mereka memiliki beragam efisiensi radiasi. Gas-gas ini juga berbeda dalam

hal waktu tinggal di atmosfer. Setiap gas memiliki potensi pemanasan global tertentu (GWP), yang memungkinkan perbandingan jumlah energi yang akan diserap oleh emisi 1 ton gas selama periode waktu tertentu, biasanya waktu rata-rata 100 tahun, dibandingkan dengan emisi 1 ton CO₂. Karena CO₂ memiliki waktu tinggal yang sangat lama di atmosfer, emisinya menyebabkan peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer yang akan bertahan selama ribuan tahun. Waktu tinggal rata-rata metana di atmosfer adalah sekitar satu dekade. Namun, kapasitasnya untuk menyerap lebih banyak energi daripada CO₂ memberinya GWP mulai dari 28 hingga 36. GWP juga memperhitungkan beberapa efek tidak langsung; misalnya, CH₄ adalah prekursor gas rumah kaca lainnya, ozon. GWP N₂O adalah 265-298 kali lipat dari CO₂, dengan waktu tinggal rata-rata 100 tahun. CFC, hidrofluorokarbon (HFC), hidroklorofluorokarbon (HCFC), perfluorokarbon (PFC), dan sulfur heksafluorida (SF₆) disebut sebagai gas dengan GWP tinggi, yang GWP-nya bisa mencapai puluhan ribu. Untuk jumlah massa tertentu, gas-gas tersebut menyimpan panas yang jauh lebih banyak daripada CO₂.(Vallero, 2019)

Jenis Gas	Nilai GWP (Global Warming Potential)
CO ₂	1
CH ₄	28 - 36
N ₂ O	265 -298

Sumber : (Vallero, 2019)