

SKRIPSI

ANALISIS BESARAN EMISI “TEMAN BUS : TRANS MAMMINASATA” BERDASARKAN *DRIVING CYCLE* DI KOTA MAKASSAR

Disusun dan diajukan oleh:

MUH. INZAR ABDILLAH WASILAH
D131 19 1031



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS BESARAN EMISI "TEMAN BUS: TRANS MAMMINASATA" BERDASARKAN *DRIVING CYCLE* DI KOTA MAKASSAR

Disusun dan diajukan oleh

Muh. Inzar Abdillah Wasilah
D131191031

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 12 September 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

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

Pembimbing Pendamping,

Nurul Masyiah Rani Harusi, S.T., M.Eng.
NIP 199501152021074001

Ketua Departemen Teknik Lingkungan,



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



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Muh. Inzar Abdillah Wasilah
NIM : D131191031
Program Studi : Teknik Lingkungan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{ Analisis Besaran Emisi “Teman Bus : Trans Mamminasata”
Berdasarkan *Driving Cycle* Di Kota Makassar }

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, 20 September 2023

g. Menyatakan



Muh. Inzar Abdillah Wasilah



Optimized using
trial version
www.balesio.com

ABSTRAK

MUH. INZAR ABDILLAH WASILAH. *Analisis Besaran Emisi “Teman Bus : Trans Mamminasata” Berdasarkan Driving Cycle Di Kota Makassar* (dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Hj. Sumarni Hamid Aly, M.T., IPU dan Nurul Masyiah Rani Harusi, S.T., M.Eng)

Di kota Makassar, TEMAN Bus : Trans Mamminasata telah beroperasi sejak tahun 2021 sebagai upaya menekan aktivitas transportasi pribadi. Namun, bahan bakar yang digunakan untuk jenis kendaraan tersebut adalah solar yang memiliki kandungan pencemar yang lebih tinggi dibanding bahan bakar lainnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan besaran emisi yang didasarkan pada pola *Driving Cycle* kendaraan TEMAN Bus : Trans Mamminasata.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pola *Driving Cycle* (kecepatan, jarak, dan waktu tempuh) kendaraan serta menganalisis besaran emisi CO dan CO₂ pada kendaraan uji menggunakan MARNI Model.

Penelitian dilakukan dengan melakukan *tracking* GPS. Setelah itu, data direkapitulasi untuk mengetahui distribusi frekuensi kecepatan kendaraan. Adapun data sekunder yang digunakan adalah faktor emisi CO dan CO₂ berdasarkan Permen LH No. 12 Tahun 2010 dan ekonomi bahan bakar kendaraan. Besaran emisi untuk setiap parameter kemudian dihitung dengan rumus MARNI Model.

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh hasil : untuk pola *Driving Cycle*, Kecepatan tertinggi pada Koridor 1 hingga Koridor 4 adalah pada kendaraan dengan Kode Bus I – 12 dan III – 5 yakni sebesar 59 km/jam untuk arah pergi, dan untuk arah pulang dihasilkan oleh kendaraan dengan Kode Bus II – 7 dan II – 8 sebesar 58 km/jam.. Besaran emisi CO rata-rata tertinggi dihasilkan oleh Koridor 1 dengan rata-rata 79,24 kg arah PS-Galesong (pergi) dan 98,71 kg arah Galesong-PS (pulang). Besaran emisi CO₂ juga dihasilkan oleh Koridor 1 dengan rata-rata 5712,19 kg arah PS-Galesong (pergi) dan 7107,64 kg arah Galesong-PS (pulang).

Kata Kunci: Besaran Emisi, *Driving Cycle*, TEMAN Bus



ABSTRACT

MUH. INZAR ABDILLAH WASILAH. *Analysis of Emission Vehicle "Teman Bus: Trans Mamminasata" Based on Driving Cycle in Makassar City* (supervised by Prof. Dr. Ir. Hj. Sumarni Hamid Aly, M.T., IPU and Nurul Masyiah Rani Harusi, S.T., M.Eng)

In the city of Makassar, TEMAN Bus: Trans Mamminasata has been operating since 2021 in order to suppress private transportation activities. However, the fuel used for these types of vehicles is diesel which has a higher pollutant content than other fuels. Therefore, it is necessary to calculate the amount of emission based on the driving cycle pattern of TEMAN Bus: Trans Mamminasata vehicles.

The purpose of this study was to analyze the driving cycle patterns (speed, distance and travel time) of vehicles and to analyze the amount of CO and CO₂ emissions of the vehicles using the MARNI Model.

The research was conducted by GPS *tracking*. The data is recapitulated to determine the frequency distribution of vehicle speeds. The secondary data used are CO and CO₂ emission factors based on Minister of Environment Regulation No. 12 of 2010 and vehicle fuel economy. The amount of emission for each parameter is then calculated using the MARNI Model formula.

Based on the results of the study, the results were obtained: as for the *Driving Cycle*, the highest speed in Corridor 1 to Corridor 4 attained by the Bus Codes of I – 12 and III – 5, with 59 km/hour of speed for departure, and for the arrival attained by with the Bus Codes of II – 7 and II – 8 at 58 km/hour. Corridor 1 produces the highest average amount of CO emissions with an average of 79,24 kg in the PS-Galesong direction and 98,71 kg in the Galesong-PS direction. Corridor 1 also produces CO₂ emissions with an average of 5712,19 kg in the PS-Galesong direction and 7107,64 kg in the Galesong-PS direction.

Keywords: Emission Vehicle, Driving Cycle, TEMAN Bus



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
KATA PENGANTAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	4
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pencemaran Udara pada Sektor Transportasi	5
2.2 Bus	6
2.3 Bahan Bakar Motor Diesel.....	8
2.4 Proses Pembakaran pada Kendaraan Bermotor	10
2.5 Emisi Gas Buang.....	12
2.6 Faktor yang Memengaruhi Emisi Gas Buang pada Kendaraan	15
2.7 Perhitungan Emisi dan Faktor Emisi	17
2.8 <i>Driving Cycle</i>	20
2.9 Klasifikasi Jalan	21
2.10 Perhitungan Distribusi Frekuensi <i>Driving Cycle</i>	23
2.11 MARNI Model	24
2.12 Penentuan Sampel Uji.....	25
2.13 Uji Wilcoxon.....	26
BAB III METODE PENELITIAN/PERANCANGAN	27
3.1 Rancangan Penelitian.....	27
3.2 Waktu Penelitian.....	29
3.3 Lokasi Penelitian.....	29
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	31
3.5 Metode Pengumpulan Data.....	33
3.6 Metode Pengolahan Data	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Jumlah Rit Teman Bus.....	40
4.2 Analisis <i>Driving Cycle (DC)</i> TEMAN Bus	42
4.3 Analisis Besaran Emisi Menggunakan MARNI Model.....	57
KESIMPULAN DAN SARAN	148
mpulan	148
1.....	148
2 PUSTAKA	150



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Teman Bus Mamminasata	7
Gambar 2 Jalur Operasi TEMAN Bus	8
Gambar 3 Pembakaran Sempurna	11
Gambar 4 Bagan Alir Penelitian	28
Gambar 5 Koridor 1 TEMAN Bus (Panakukang Square hingga Pelabuhan Galesong)	29
Gambar 6 Koridor 2 TEMAN Bus (<i>Mall Panakukang</i> hingga Bandara S. Hasanuddin)	30
Gambar 7 Koridor 3 TEMAN Bus (Kampus 2 PNUP hingga Kampus 2 PIP).....	30
Gambar 8 Koridor 4 TEMAN Bus (Panakukang Square hingga Kampus Teknik Unhas Gowa)	31
Gambar 9 Tampilan Awal <i>Mapsourc</i> e	33
Gambar 10 Bagan Alir Survei Pendahuluan	34
Gambar 11 Bagan Alir Pengujian <i>Driving Cycle</i>	36
Gambar 12 Bagan Alir Pengujian <i>Driving Cycle</i>	38
Gambar 13 Bagan Alir Konversi Faktor Emisi Kendaraan	38
Gambar 14 Bagan Alir Perhitungan Besaran Emisi.....	39
Gambar 15 Pola <i>Driving Cycle</i> Kode Bus TB I – 12	43
Gambar 16 Jarak Tempuh Kendaraan Koridor 1	50
Gambar 17 Waktu Tempuh Kendaraan Koridor 1	50
Gambar 18 Jarak Tempuh Kendaraan Koridor 2	52
Gambar 19 Waktu Tempuh Kendaraan Koridor 2	53
Gambar 20 Jarak Tempuh Kendaraan Koridor 3	54
Gambar 21 Waktu Tempuh Kendaraan Koridor 3	55
Gambar 22 Jarak Tempuh Kendaraan Koridor 4	56
Gambar 23 Waktu Tempuh Koridor 4	56
Gambar 24 Besaran Emisi CO Kendaraan Uji 1 Koridor 1	80
Gambar 25 Besaran Emisi CO Kendaraan Uji 2 Koridor 1	82
Gambar 26 Besaran Emisi CO Kendaraan Uji 3 Koridor 1	83
Gambar 27 Besaran Emisi CO Kendaraan Uji 4 Koridor 1	84
Gambar 28 Besaran Emisi CO Kendaraan Uji 5 Koridor 1	86
Gambar 29 Besaran Emisi CO Kendaraan Uji 6 Koridor 1	87
Gambar 30 Besaran Emisi CO Kendaraan Uji 7 Koridor 1	88
Gambar 31 Besaran Emisi CO Kendaraan Uji 8 Koridor 1	90
Gambar 32 Besaran Emisi CO Kendaraan Uji 9 Koridor 1	91
Gambar 33 Besaran Emisi CO Kendaraan Uji 1 Koridor 2	93
Gambar 34 Besaran Emisi CO Kendaraan Uji 2 Koridor 2	95
Gambar 35 Besaran Emisi CO Kendaraan Uji 3 Koridor 2	96
Gambar 36 Besaran Emisi CO Kendaraan Uji 4 Koridor 2	97
37 Besaran Emisi CO Kendaraan Uji 5 Koridor 2	99
38 Besaran Emisi CO Kendaraan Uji 1 Koridor 3	101
39 Besaran Emisi CO Kendaraan Uji 2 Koridor 3	102
40 Besaran Emisi CO Kendaraan Uji 3 Koridor 3	103
41 Besaran Emisi CO Kendaraan Uji 4 Koridor 3	104



Gambar 42 Besaran Emisi CO Kendaraan Uji 1 Koridor 4.....	106
Gambar 43 Besaran Emisi CO Kendaraan Uji 2 Koridor 4.....	108
Gambar 44 Besaran Emisi CO Kendaraan Uji 3 Koridor 4.....	109
Gambar 45 Besaran Emisi CO ₂ Kendaraan Uji 1 Koridor 1.....	111
Gambar 46 Besaran Emisi CO ₂ Kendaraan Uji 2 Koridor 1.....	113
Gambar 47 Besaran Emisi CO ₂ Kendaraan Uji 3 Koridor 1.....	114
Gambar 48 Besaran Emisi CO ₂ Kendaraan Uji 4 Koridor 1.....	115
Gambar 49 Besaran Emisi CO ₂ Kendaraan Uji 5 Koridor 1.....	117
Gambar 50 Besaran Emisi CO ₂ Kendaraan Uji 6 Koridor 1.....	118
Gambar 51 Besaran Emisi CO ₂ Kendaraan Uji 7 Koridor 1.....	119
Gambar 52 Besaran Emisi CO ₂ Kendaraan Uji 8 Koridor 1.....	121
Gambar 53 Besaran Emisi CO ₂ Kendaraan Uji 9 Koridor 1.....	122
Gambar 54 Besaran Emisi CO ₂ Kendaraan Uji 1 Koridor 2.....	124
Gambar 55 Besaran Emisi CO ₂ Kendaraan Uji 2 Koridor 2.....	125
Gambar 56 Besaran Emisi CO ₂ Kendaraan Uji 3 Koridor 2.....	127
Gambar 57 Besaran Emisi CO ₂ Kendaraan Uji 4 Koridor 2.....	128
Gambar 58 Besaran Emisi CO ₂ Kendaraan Uji 5 Koridor 2.....	129
Gambar 59 Besaran Emisi CO ₂ Kendaraan Uji 1 Koridor 3.....	131
Gambar 60 Besaran Emisi CO ₂ Kendaraan Uji 2 Koridor 3.....	132
Gambar 61 Besaran Emisi CO ₂ Kendaraan Uji 3 Koridor 3.....	134
Gambar 62 Besaran Emisi CO ₂ Kendaraan Uji 4 Koridor 3.....	135
Gambar 63 Besaran Emisi CO ₂ Kendaraan Uji 1 Koridor 4.....	137
Gambar 64 Besaran Emisi CO ₂ Kendaraan Uji 2 Koridor 4.....	138
Gambar 65 Besaran Emisi CO ₂ Kendaraan Uji 3 Koridor 4.....	140



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Spesifikasi Bahan Bakar Solar	9
Tabel 2 Standar Emisi untuk Bahan Bakar Diesel	18
Tabel 3 Faktor Emisi Gas Buang Kendaraan Untuk Kota Metropolitan Dan Kota Besar Di Indonesia	19
Tabel 4 Ekonomi Bahan Bakar di Indonesia.....	19
Tabel 5 Jumlah Halte dan Jarak Tempuh Total Teman Bus di Kota Makassar	31
Tabel 6 Perhitungan Jumlah Sampel Kendaraan Uji	34
Tabel 7 Rit dan Jumlah Kendaraan Berangkat Koridor 1	40
Tabel 8 Rit dan Jumlah Kendaraan Berangkat Koridor 2	40
Tabel 9 Rit dan Jumlah Kendaraan Koridor 3	41
Tabel 10 Rit dan Jumlah Kendaraan Koridor 4	42
Tabel 11 Rekapitulasi Hasil Uji <i>Wilcoxon</i>	44
Tabel 12 Rekapitulasi Kecepatan Kendaraan	46
Tabel 13 Rekapitulasi Jarak dan Waktu Tempuh Koridor 1.....	48
Tabel 14 Rekapitulasi Jarak dan Waktu Tempuh Koridor 2.....	51
Tabel 15 Rekapitulasi Jarak dan Waktu Tempuh Koridor 3.....	53
Tabel 16 Rekapitulasi Jarak dan Waktu Tempuh Koridor 4.....	55
Tabel 17 Distribusi Frekuensi Kendaraan Uji 1 PS-Galesong.....	57
Tabel 18 Distribusi Frekuensi Kendaraan Uji 1 Galesong-PS.....	58
Tabel 19 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 2 PS-Galesong.....	58
Tabel 20 Distribusi Frekuensi Kendaraan Uji 2 Galesong-PS.....	59
Tabel 21 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 3 PS-Galesong.....	59
Tabel 22 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 3 Galesong-PS.....	60
Tabel 23 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 4 PS-Galesong.....	60
Tabel 24 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 4 Galesong-PS.....	61
Tabel 25 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 5 PS-Galesong.....	61
Tabel 26 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 5 Galesong-PS.....	62
Tabel 27 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 6 PS-Galesong.....	62
Tabel 28 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 6 Galesong-PS.....	63
Tabel 29 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 7 PS-Galesong.....	63
Tabel 30 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 7 Galesong-PS.....	64
Tabel 31 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 8 PS-Galesong.....	64
Tabel 32 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 8 Galesong-PS.....	65
Tabel 33 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 9 PS-Galesong.....	65
Tabel 34 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 9 Galesong-PS.....	66
Tabel 35 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 1 MP-Bandara	66
Tabel 36 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 1 Bandara-MP	67
Tabel 37 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 2 MP-Bandara	67
Tabel 38 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 2 Bandara-MP	68
Tabel 39 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 3 MP-Bandara	68
Tabel 40 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 3 Bandara-MP	69
Tabel 41 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 4 MP-Bandara	69
Tabel 42 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 4 Bandara-MP	70
Tabel 43 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 5 MP-Bandara	70
Tabel 44 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 5 Bandara-MP	71



Tabel 45 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 1 PNUP-PIP	71
Tabel 46 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 1 PIP-PNUP	72
Tabel 47 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 2 Kampus 2 PNUP – Kampus 2 PIP	73
Tabel 48 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 2 Kampus 2 PIP – Kampus 2 PNUP	73
Tabel 49 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 3 Kampus 2 PNUP – Kampus 2 PIP	74
Tabel 50 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 3 Kampsu 2 PIP – Kampus 2 PNUP	74
Tabel 51 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 4 Kampus 2 PNUP – Kampus 2 PIP	75
Tabel 52 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 4 Kampus 2 PIP – Kampus 2 PNUP	75
Tabel 53 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 1 Teknik-PS.....	76
Tabel 54 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 1 PS-Teknik.....	76
Tabel 55 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 2 Teknik-PS.....	77
Tabel 56 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 2 PS-Teknik.....	77
Tabel 57 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 3 Teknik-PS.....	78
Tabel 58 Distribusi Frekuensi Kecepatan Kendaraan Uji 3 PS-Teknik.....	78
Tabel 59 Perhitungan Emisi Karbon Monoksida (TB I – 12 Arah PS – Galesong)	79
Tabel 60 Rekapitulasi Emisi CO Koridor 1 (PS-Galesong).....	91
Tabel 61 Rekapitulasi Emisi CO Koridor 1 (Galesong-PS).....	92
Tabel 62 Rekapitulasi Emisi CO Koridor 2 (MP—Bandara)	99
Tabel 63 Rekapitulasi Emisi CO Koridor 2 (Bandara—MP)	99
Tabel 64 Rekapitulasi Emisi CO Koridor 3 (PNUP—PIP)	105
Tabel 65 Rekapitulasi Emisi CO Koridor 3 (PIP—PNUP)	105
Tabel 66 Rekapitulasi Emisi CO Koridor 4 (Teknik—PS).....	109
Tabel 67 Rekapitulasi Emisi CO Koridor 4 (PS—Teknik).....	110
Tabel 68 Perhitungan Emisi Karbon Dioksida (TB I – 12 Arah PS – Galesong)	110
Tabel 69 Rekapitulasi Emisi CO ₂ Koridor 1 (PS—Galesong).....	123
Tabel 70 Rekapitulasi Emisi CO ₂ Koridor 1 (Galesong—PS).....	123
Tabel 71 Rekapitulasi Emisi CO ₂ Koridor 2 (MP-Bandara).....	130
Tabel 72 Rekapitulasi Emisi CO ₂ Koridor 2 (Bandara-MP).....	130
Tabel 73 Rekapitulasi Emisi CO ₂ Koridor 3 (PNUP-PIP).....	135
Tabel 74 Rekapitulasi Emisi CO ₂ Koridor 3 (PIP-PNUP).....	136
Tabel 75 Rekapitulasi Emisi CO ₂ Koridor 4 (Teknik-PS).....	140
Tabel 76 Rekapitulasi Emisi CO ₂ Koridor 4 (PS-Teknik).....	140
Tabel 77 Rekapitulasi Emisi CO Arah Perjalanan Pergi Seluruh Unit.....	141
Tabel 78 Rekapitulasi Emisi CO Arah Perjalanan Pulang Seluruh Unit	142
Tabel 79 Rekapitulasi Emisi CO ₂ Arah Perjalanan Pergi Seluruh Unit.....	143
Tabel 80 Rekapitulasi Emisi CO ₂ Arah Perjalanan Pulang Seluruh Unit.....	145





Optimized using
trial version
www.balesio.com

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
DC	<i>Driving Cycle</i> / Siklus Mengemudi
FE	Faktor Emisi
MP	<i>Mall</i> Panakukang
PS	Panakukang <i>Square</i>



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Contoh Hasil Tracking Kecepatan Kendaraan	154
Lampiran 2 Nama Halte Setiap Koridor	158
Lampiran 3 Grafik <i>Driving Cycle</i> Kendaraan Teman Bus.....	168
Lampiran 4 Uji Statistik Kecepatan Perjalanan Pergi dan Pulang	188
Lampiran 5 Uji Statistik Kendaraan Setiap Interval	198
Lampiran 6 Contoh <i>Tracking GPS</i> di aplikasi <i>Mapsource</i>	205
Lampiran 7 Konversi Satuan Faktor Emisi.....	210
Lampiran 8 Perhitungan Besaran Emisi.....	215
Lampiran 9 Dokumentasi Kegiatan	220



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanawata'la*, atas berkat, rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Besaran Emisi “Teman Bus : Trans Mamminasata” Berdasarkan *Driving Cycle* di Kota Makassar”. Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat penyelesaian studi program sarjana Teknik Lingkungan. Laporan ini dibuat berdasarkan observasi lapangan, dan pengambilan data langsung yang dilakukan pada rentang waktu Februari – Juli 2023. Penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis hendak menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ayahanda Meiarso dan Ibunda Dra. Hasnarwaty, M.Hum. Tak ada kata yang pantas diucapkan selain rasa syukur dan terima kasih kepada orang tua yang telah mendidik dan membesarkan penulis hingga seperti saat ini dan tak kenal lelah dalam memberikan dukungan baik secara materiil maupun non materiil kepada penulis. Semoga Allah senantiasa memberikan rahmat dan kesehatan kepada orang tua penulis.
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Hj. Sumarni Hamid Aly, M.T., IPU dan Ibu Nurul Masyiah Rani Harusi, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang selama penyusunan Tugas Akhir maupun masa perkuliahan telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan studi di Program Studi Sarjana Teknik Lingkungan.
3. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T, M.T., IPM selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. Ibu Zarah Arwieny Hanami, S.T., M.T. selaku dosen penguji Tugas Akhir yang telah membantu penulis dalam pengujian serta perbaikan Tugas Akhir penulis
5. Saudara-saudaraku, Kak Muh. Imam Firdauzan, S.S, Kak Muh. Ikrar awaqal S.M, Kak Muh. Ikhsanul Muarifal, S.Hum, dan Adik Muh. Imran yariief H. yang senantiasa meluangkan waktu untuk memberikan dukungan kepada penulis walaupun memiliki kesibukan masing-masing



6. Bu Sumi, Pak Oland, dan Kak Tami yang telah membantu dalam berbagai keperluan administrasi selama menempuh perkuliahan.
7. Keluarga besar SOU, Nuzul Hirza, Nur Ramadanti, Azhima Aurelia, Kevina Careza, Risma Mulya, Priscilia Venerial, Welianty Ratte, dan Nafilah Khiriyah yang telah menemani penulis baik suka maupun duka, senang maupun susah, serta telah bersedia menjadi tempat berkeluh kesah penulis selama menjalani dinamika kehidupan perkuliahan di Fakultas Teknik. Sukses untuk kalian semua.
8. Saskia Ramadhani dan Atika Mardiyah Rusdi yang telah membantu penulis dalam pengolahan data analisis statistik
9. Chusnul Khatimah, Danti Ohorella, Nur Afni, Dhea Izumi teman seperjuangan yang bersedia menemani penulis dalam penyelesaian tugas akhir.
10. Rekan Asisten Laboratorium Kualitas Udara dan Bising baik secara langsung maupun tidak langsung membantu dalam penyelesaian tugas akhir
11. Teman-teman Angkatan 2019 dan PORTLAND 2020 Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Unhas serta semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan secara moral maupun material.
12. Rifqi, Firman, A. Aryawijaya yang telah membantu dalam pengambilan data lapangan
13. Kak Dzikri Fajriah Saleh yang telah membantu dalam mengolah data
14. Seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini memiliki kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar Tugas Akhir ini dapat menjadi lebih baik. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberi informasi bagi para pembaca dan bermanfaat untuk pengembangan wawasan dan peningkatan ilmu pengetahuan bagi kita semua.

Gowa, Juli 2023

Penulis



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya populasi manusia saat ini yang menuntut akan peningkatan kebutuhan sehari-hari memiliki pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan transportasi. Kebutuhan dan pergerakan masyarakat yang semakin beragam memiliki pengaruh variasi pergerakan transportasi, misalnya berangkat menuju kantor, sekolah, pusat perbelanjaan, wisatawan, dan lain sebagainya (Harvianti & Ahyudanari, 2022)

Peningkatan transportasi tentunya membawa berbagai dampak dan permasalahan yang cukup problematik, seperti kemacetan yang disebabkan karena tingkat kepadatan transportasi di suatu jalan yang tinggi, kebisingan yang disebabkan oleh suara yang dihasilkan suatu transportasi, serta permasalahan lingkungan yaitu emisi yang keluar dari oleh knalpot kendaraan.

Adapun jenis emisi yang dihasilkan oleh penggunaan bahan bakar pada transportasi menurut *Asian Development Bank* (2003) dalam buku *Emisi Transportasi* (Aly, 2015) yaitu Karbon Monoksida (CO), Hidrokarbon (HC), Nitrogen Oksida (NO_x), Karbon Dioksida (CO₂), serta Partikulat (PM). Selain itu, dalam buku tersebut juga dipaparkan bahwa 14% emisi global dihasilkan oleh bahan bakar fosil berbasis CO₂, 30% emisi Nitrogen Oksida, serta 50%—60% dari Karbon Monoksida (CO).

Emisi yang dijelaskan di atas disebabkan oleh proses pembakaran sempurna dan tidak sempurna. Proses pembakaran sempurna yang menghasilkan Karbon Dioksida apabila semakin meningkat memiliki dampak terhadap peningkatan suhu bumi. Sedangkan pada proses pembakaran tidak sempurna yang menghasilkan Karbon Monoksida dan senyawa-senyawa lain yang berdampak langsung terhadap kesehatan hingga kematian. (Octavia & Pratama, 2020)

Ada beberapa variabel yang berpengaruh terhadap nilai emisi yang dihasilkan kendaraan. Menurut Yang, Z. et al (2018) dalam (Gebisa et al., 2021), emisi kendaraan dipengaruhi oleh pola *Driving Cycle*, alat pengendali emisi, performa kendaraan, kondisi ambien operasional, tingkat kemacetan pada jalan, serta jenis dan kualitas bahan bakar.



pabila membahas terkait variabel yang berpengaruh terhadap emisi, *Driving* upakan salah satu faktor yang sangat menentukan tingkat emisi yang dihasilkan laraan di lalu lintas. Perlu diketahui bahwa *Driving Cycle* sendiri merupakan

“perwakilan profil kecepatan-waktu untuk sebuah lingkup studi yang dimana kendaraan dapat berada dalam keadaan diam, percepatan atau perlambatan”. Perilaku percepatan, perlambatan, berhenti atau pengereman inilah yang memiliki pengaruh terhadap emisi yang dihasilkan oleh kendaraan. (GHAFAR, 2015)

Telah dilakukan berbagai upaya dalam memantau, memprediksi, dan mengontrol emisi yang dihasilkan oleh kendaraan. Dari segi regulasi, secara global bahkan telah diatur mengenai pola *Driving Cycle* di setiap negara. Dalam buku *A Reference Book of Driving Cycles for Use in the Measurement of Road Vehicle Emissions* (Barlow et al., 2009), dijelaskan mengenai regulasi terkait pengujian pola *Driving Cycle*, seperti *EU Legislative Cycles*, *US Cycles*, *Japanese Legislative Cycles*, dan *Legislative Motorcycle Cycles*. Sedangkan di Indonesia, regulasi lebih terkait baku mutu emisi yang dihasilkan oleh kendaraan seperti Euro 4 Indonesia yang diatur dalam Permen LHK Nomor 20 Tahun 2017 tentang Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru Kategori M, Kategori N, Dan Kategori O. Adapun dalam memprediksi emisi kendaraan, ada berbagai jenis perhitungan dan permodelan prediksi emisi, salah satunya adalah *International Vehicle Emission Model*. Model ini dapat menghitung besaran emisi dengan menggunakan data karakteristik lalu lintas, pola perilaku lalu lintas, serta faktor emisi berdasarkan kondisi setempat. Selain itu, juga dikenal Metropolitan Traffic Emission Inventory atau MARNI Model yang memperkirakan emisi pada lalu lintas kendaraan.

Salah satu langkah dalam mengontrol dan mengurangi emisi pada kendaraan yang dilakukan pemerintah adalah dengan menggalakkan atau memasifkan penggunaan fasilitas-fasilitas umum, terkhusus pada penggunaan bus. Sejak tahun 2020, Kementerian Perhubungan telah meluncurkan salah satu fasilitas bus dengan sistem pembayaran *e-money* dengan nama Transportasi Ekonomis, Mudah, Andal, dan Nyaman (TEMAN) Bus. Saat ini TEMAN Bus telah beroperasi di beberapa Kota Besar di Indonesia, yakni Kota Medan, Denpasar, Yogyakarta, Banyumas, Banjarmasin, Bogor, Surabaya, Bandung, Solo, Palembang, dan Makassar. Pada setiap kota, TEMAN Bus ini terbagi dalam beberapa koridor jaringan jalan agar masyarakat dari berbagai wilayah di suatu kota dapat menikmati fasilitas bus tersebut.

Kota Makassar merupakan salah satu Kota dimana TEMAN Bus beroperasi. Diinisiasinya isian fasilitas bus ini di Kota Makassar adalah sebagai perwujudan upaya an emisi di kota yang memiliki jumlah penduduk yang padat dan memiliki emacetan. Di Kota Makassar, TEMAN Bus terbagi menjadi 4 koridor dengan anan yang berbeda-beda. (S et al., 2022)



Perhitungan emisi pada fasilitas umum seperti TEMAN Bus saat ini masih belum banyak dilakukan. Berbagai penelitian yang variatif terkait emisi gas buang hanya terbatas pada jenis kendaraan motor dan kendaraan ringan saja. Seperti pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Rusdiani, 2018) yang melakukan pengkajian terhadap faktor emisi dengan jenis bahan bakar Pertalite, Pertamax, dan Pertamax Turbo pada kendaraan roda dua. Selain itu, pada jenis kendaraan ringan, dilakukan penelitian terkait pengaruh variasi jenis bahan bakar pada Toyota 4 FE terhadap emisi gas buang oleh Henry et al. (2017). Adapun penelitian terkait TEMAN Bus saat ini masih terbatas pada tingkat pelayanan fasilitas tersebut.

Padahal jika ditilik lebih lanjut, jenis kendaraan bus juga menghasilkan emisi gas buang yang tidak kalah dengan kendaraan lainnya. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ulfa et al., (2017), emisi CO₂ yang dihasilkan oleh bus BRT adalah sebesar 4780,75 ton/tahun untuk emisi running dan 3,84 ton/tahun untuk emisi start-up.

Oleh karena itu, berdasarkan fakta-fakta yang telah dijelaskan, penulis hendak melakukan penelitian terkait analisis besaran emisi yang dihasilkan pada jenis kendaraan bus, khususnya TEMAN Bus sebagai fasilitas kendaraan umum yang saat ini digunakan di Kota Makassar. Dalam penelitian ini juga akan berfokus pada pola *Driving Cycle* fasilitas umum ini yang akan digunakan dalam perhitungan besaran emisi. Diharapkan, hasil dari penelitian ini dapat menambah khazanah ilmu pengetahuan terkait emisi pada kendaraan bus yang saat ini belum banyak dilakukan di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana *Driving Cycle* pada kendaraan TEMAN Bus di Kota Makassar?
2. Berapa besaran emisi yang dihasilkan pada kendaraan TEMAN Bus di Kota Makassar ?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijelaskan, adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Untuk menganalisis *Driving Cycle* pada kendaraan TEMAN Bus di Kota Makassar

Untuk menganalisis besaran emisi yang dihasilkan pada kendaraan TEMAN Bus di Kota Makassar



1.4 Manfaat

1.4.1 Manfaat Bagi Penulis

Sebagai syarat untuk menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

1.4.2 Manfaat Bagi Pemerintah

Hasil pengukuran besaran emisi yang dihasilkan dapat menjadi bahan acuan pertimbangan dalam melakukan inventarisasi emisi yang lebih akurat.

1.4.3 Manfaat Bagi Universitas

Menambah khazanah ilmu pengetahuan dan dapat dijadikan bahan referensi bagi generasi selanjutnya, terkhusus mengenai perhitungan besaran emisi untuk jenis kendaraan bus dalam penyelesaian tugas, pembuatan laporan, atau dalam penyusunan tugas akhir.

1.5 Ruang Lingkup

Agar penelitian dapat terarah, maka batasan penelitian sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan di jalur operasi TEMAN Bus di Kota Makassar
2. Penelitian dilakukan pada kendaraan TEMAN Bus di koridor 1,2,3, dan 4
3. Alat yang digunakan adalah GPS untuk menguji *Driving Cycle* kendaraan
4. Perhitungan besaran emisi dilakukan untuk jenis polutan CO dan CO₂.
5. *Driving Cycle* yang diteliti adalah kecepatan kendaraan Teman Bus



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Udara pada Sektor Transportasi

Sektor transportasi merupakan sumber masalah pencemaran udara yang disebabkan oleh emisi yang dikeluarkan oleh kendaraan. Emisi tersebut mengacu kepada oksida-oksida yang berbahaya dari pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna. Emisi tersebut dapat membahayakan kesehatan manusia dan pertumbuhan tanaman dalam tingkat yang beragam. Produk emisi kendaraan terdiri dari komposisi yang kompleks, termasuk Karbon Monoksida (CO), Hidrokarbon, Nitrogen Oksida (NO_x), Sulfur Dioksida (SO₂), *Particulate Matter* (PM), dan *aldehydes*. (Liu et al., 2022)

Aktivitas transportasi menghasilkan emisi knalpot, tersebar debu jalanan, partikel-partikel dari gesekan ban, dan lain sebagainya. Secara global, ada beberapa faktor yang mendorong emisi transportasi, termasuk perkembangan ekonomi, kepemilikan kendaraan pribadi, aktivitas angkut mengangkut barang muatan, perubahan kualitas bahan bakar, dan pengenalan terhadap pengendalian emisi pada kendaraan dan mesin dalam menaati kebijakan lingkungan yang semakin ketat. Faktor-faktor tersebut yang menyebabkan emisi transportasi berubah dengan cepat di seluruh dunia. (Anenberg et al., 2019)

Di lingkungan perkotaan khususnya di area dimana populasi dan densitas kendaraan cukup tinggi, paparan zat-zat berbahaya ke manusia dapat meningkat secara signifikan. Hal ini merupakan salah satu masalah yang sering terjadi di titik sekitar area lalu lintas pada pusat kota, dimana kondisi tersebut berkontribusi terhadap persebaran kualitas udara yang buruk di tiap titik perkotaan. (Sotiris et al, 2003 dalam Ahmad Farhan Mohd Sadullah & Latif, 2003)

Dari setiap kegiatan manusia, sektor transportasi menyumbang emisi CO₂ yang cukup besar. Peningkatan emisi CO₂ yang sangat cepat ini disebabkan karena tingginya jumlah mobilisasi akibat pertumbuhan ekonomi, khususnya di negara berkembang di negara Asia. Komunitas global menyadari bahwa perlunya menurunkan emisi gas rumah kaca hingga 50% pada tahun 2050 untuk menjaga derajat suhu bumi. (Promraksa et al.,



2.2 Bus

2.2.1 Definisi

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 26 Tahun 2017, bus merupakan kendaraan yang dapat mengangkut lebih dari 8 (delapan) orang termasuk pengemudi dengan berat 3.500 kilogram

2.2.2 Jenis Bus

A. Mobil Bus Kecil

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 26 Tahun 2017, mobil bus kecil merupakan kendaraan yang mengangkut orang dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.100 milimeter, tinggi tidak lebih 1,7 kali lebar bus, panjang maksimal 6.000 milimeter, serta berat 3.500 hingga 5.000 kilogram.

B. Mobil Bus Sedang

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 26 Tahun 2017, mobil bus sedang merupakan kendaraan yang mengangkut orang dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.100 milimeter, tinggi tidak lebih 1,7 kali lebar bus, panjang maksimal 9.000 milimeter, serta berat lebih dari 5.000 hingga 8.000 kilogram.

C. Mobil Bus Besar

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 26 Tahun 2017, mobil bus sedang merupakan kendaraan yang mengangkut orang dengan ukuran lebar tidak melebihi 2. 500 milimeter, tinggi tidak lebih 4.200 milimeter dan tidak lebih dari 1,7 kali lebar bus, panjang 9.000 milimeter hingga 12.000 milimeter, serta berat dari 8.000 hingga 16.000 kilogram.

D. Mobil Bus Tingkat

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 26 Tahun 2017, mobil bus sedang merupakan kendaraan yang mengangkut orang dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 milimeter, tinggi tidak lebih 4.200 milimeter, panjang 9.000 milimeter hingga 13.500 milimeter, serta berat dari 21.000 hingga 24.000 kilogram.



2.2.3 Teman Bus Mamminasata

Di era seperti sekarang ini, pemerintah tengah gencar dalam mempromosikan upaya dalam penurunan emisi salah satunya dengan penggunaan fasilitas umum seperti bus. Oleh karena itu, Kementerian Perhubungan pada tahun 2020 meluncurkan program *Buy the Service* di kawasan perkotaan yang dilengkapi teknologi IoT (*Internet of Things*). Adapun implementasi dari program ini adalah dengan diluncurkannya Teman (Transportasi Ekonomis, Mudah, Andal, dan Nyaman) Bus. Transportasi ini merupakan upaya dalam mewujudkan *Sustainability City* yang dilengkapi berbagai teknologi seperti *Tap on Bus* (ToB), GPS (*Global Positioning System*), MVDR (*Mobile Digital Video Recorder*), APC (*Automatic Passenger Counting*), dan berbagai teknologi lainnya yang menjamin masyarakat yang menggunakan fasilitas ini memiliki pengalaman yang menyenangkan, aman, dan nyaman. (Ginting et al., 2022)



Sumber : temanbus.com (2023)

Gambar 1 Teman Bus Mamminasata

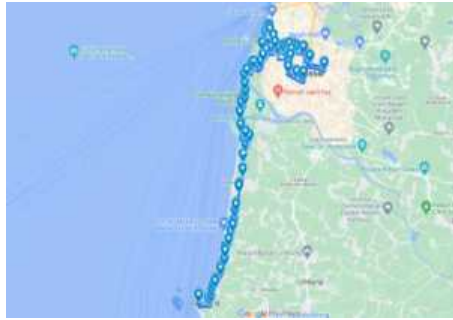
Teman Bus memiliki kapasitas 40 hingga 60 penumpang, serta memiliki 20 hingga 30 kursi dilengkapi 4 kursi prioritas. Bus ini telah beroperasi di 11 kota besar di Indonesia, dimulai dari Palembang, Yogyakarta, Solo, Bali, Medan, Makassar, Surabaya, Banyumas, Banjarmasin, Bandung, dan Bogor. (Ginting et al., 2022). Di Kota Makassar, bus ini dikenal dengan nama Teman Bus Mamminasata. Teman Bus Mamminasata terbagi menjadi 4 koridor yang melayani masyarakat dimulai dari Bandar Udara Sultan Hasanuddin hingga Galesong Takalar. Berikut pembagian jalur

isi Teman Bus Mamminasata

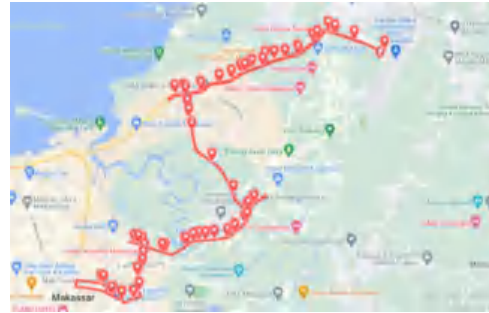
- A. Koridor 1 : Panakukang Square hingga Pelabuhan Galesong (27 unit)



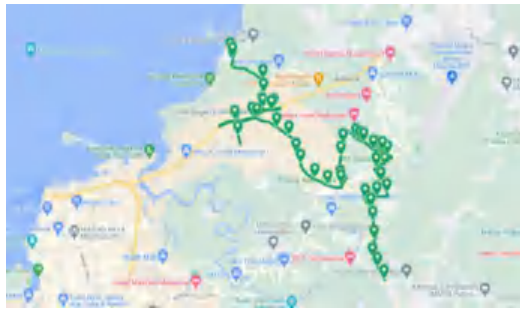
- B. Koridor 2 : Mall Panakukang hingga Bandara Internasional Sultan Hasanuddin (21 unit)
- C. Koridor 3 : Kampus 2 PNUP hingga Kampus 2 PIP (17 unit)
- D. Koridor 4 : Panakukang Square hingga Kampus Teknik Unhas Gowa (14 unit)



(a)



(b)



(c)



(d)

Sumber : temanbus.com (2023)

Gambar 2 Jalur Operasi TEMAN Bus

2.3 Bahan Bakar Motor Diesel

2.3.1 Proses Pembakaran pada Motor Diesel

Apabila pada bahan bakar bensin digunakan istilah oktan untuk menilai kualitas pada bahan bakar tersebut, maka untuk bahan bakar diesel digunakan istilah cetane untuk mengukur kemampuan bahan bakar menyala dengan sendirinya. Adapun syarat dalam pembakaran bahan bakar ini adalah emisi yang dihasilkan rendah dan dapat terbakar dengan sendirinya saat diinjeksikan ke dalam udara bertekanan tinggi silinder. (Cappenberg, 2017)

Angka 40 hingga 45 cetane merupakan angka ideal bahan bakar yang akan pada mesin diesel. Apabila tidak sesuai, maka akan menyebabkan masalah ti :



- A. Efek panas yang berlebihan apabila angka cetane terlalu tinggi
- B. Gejala knocking yang menyebabkan opasitas meningkat/berlebihan apabila angka cetane terlalu rendah (Cappenberg, 2017)

2.3.2 Bahan Bakar Solar

Bahan bakar yang diperoleh dari proses pengolahan minyak bumi. Untuk memperoleh bahan bakar ini, minyak mentah dipisahkan pada saat proses distilasi yang menghasilkan fraksi solar. Adapun karakteristik solar adalah (Cappenberg, 2017) :

1. Tidak berwarna dan berbau
2. Pada temperature normal, solar tidak akan menguap
3. Kandungan sulfur lebih tinggi daripada biosolar dan Pertamina Dex
4. Flash point antara 40°C hingga 100 °C
5. Pada temperatur 300 °C akan terbakar spontan
6. Panas yang tinggi yakni 10.500 kkal/kg

Syarat bahan bakar solar untuk mengalami pembakaran yang baik adalah :

1. Dapat terbakar dengan mudah
2. Pada suhu rendah tidak mengalami pembekuan dengan mudah
3. Sifat anti knocking
4. Kekentalan yang memadai
5. Tetap stabil dalam proses penyimpanan
6. Kandungan sulfur lebih kecil

Berikut ini merupakan karakteristik bahan bakar solar secara spesifik

Tabel 1 Spesifikasi Bahan Bakar Solar

No	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode ASTM
			Min	Max	
1	Angka Setana atau indeks Setana	-	48	-	ASTM D613
			45		ASTM D4737
2	Berat Jenis (pada suhu 15°C)	kg/m ³	815	870	ASTM D525
	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,35	ASTM 4294/D5453
				0,30	
				0,25	
				0,05	
				0,005	
	Titik dididih 90% volume	°C	-	370	ASTM D86
	Titik Nyala	°C	52	-	ASTM D2500



No	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode
			Min	Max	ASTM
6	Viskositas (pada suhu 40 °C)	mm ² /s	2.0	4.5	ASTM D445
7	Titik Kabut	°C	-	18	ASTM D97
8	Titik Tuang	°C	-	18	ASTM D189
9	Kandungan Air	m/kg	-	500	ASTM D6304
10	Kandungan FAME	% v/v	-	20	ASTM D7806/D7371
11	Korosi Bilah Tembaga	Menit	-	Kelas 1	ASTM D130
12	Kandungan Abu	% m/m	-	0,01	ASTM D482
13	Kandungan Sedimen	% m/m	-	0,01	ASTM D473
14	Bilangan Asam Kuat	mg KOH/g	-	0	ASTM D664
15	Bilangan Asam Total	mg KOH/g	-	0, 6	ASTM D664
16	Penampilan Visual	Jernih & Terang			
17	Residu Karbon	% m/m	-	0,1	ASTM D189
17	Warna	No. ASTM	-	3.0	ASTM D1500
19	Lubricity	micron	-	460	ASTM D6079
20	Kestabilan Oksidasi metode Rancimat	jam	35		EN 15751

Sumber : Pertamina (2020)

2.4 Proses Pembakaran pada Kendaraan Bermotor

Pembakaran dapat diartikan sebagai rangkaian reaksi kimia pada bahan bakar dengan suatu oksidan yang menghasilkan panas yang disertai cahaya dalam bentuk pendar atau api. Suatu senyawa bereaksi dengan zat pengoksidasi yang menghasilkan senyawa dari tiap elemen dalam bahan bakar zat pengoksidasi, contohnya adalah (Naryanto, 2021) :



Di dalam ruang bahan bakar, proses pembakaran melibatkan campuran Hidrokarbon dan oksigen. Segitiga pembakaran yang merupakan syarat minimum terjadinya pembakaran terdiri dari (Naryanto, 2021)

- A. Bahan bakar yang mengandung unsur hidrokarbon
- B. Sumber panas
- C. Oksidier

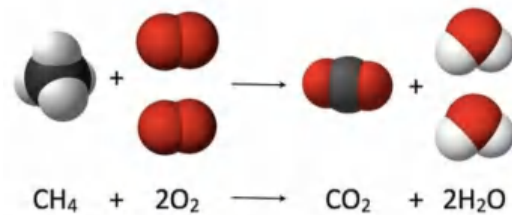
Pembakaran memiliki 2 tipe, yaitu pembakaran sempurna dan pembakaran tidak sempurna

Pembakaran Sempurna

Pembakaran sempurna merupakan proses yang terjadi ketika raktan terbakar dengan oksigen. Setiap elemen yang dibakar dengan oksigen, apabila terjadi



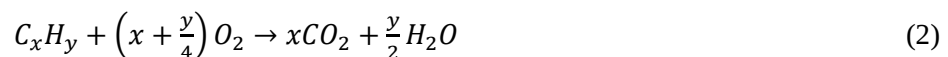
proses reaksi pembakaran sempurna maka menghasilkan oksida. Misalnya karbon dibakar menghasilkan karbon dioksida, sulfur dibakar menghasilkan sulfur dioksida, dan sebagainya. Adapun bahan bakar (hidrokarbon) apabila terbakar dengan oksigen maka menghasilkan karbon dioksida (CO_2) dan air. (Naryanto, 2021)



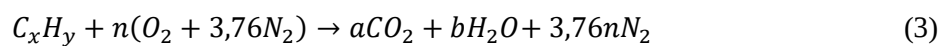
Sumber : Naryanto (2021)

Gambar 3 Pembakaran Sempurna

Secara umum, reaksi pembakaran sempurna dapat dilihat pada persamaan di bawah ini (Naryanto, 2021)



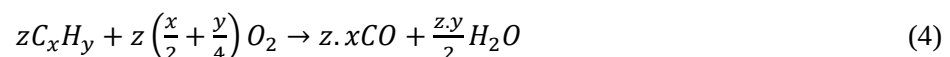
Dapat pula dinyatakan dengan persamaan (Rusdiani, 2018):



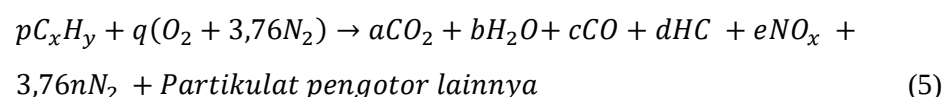
B. Pembakaran Tidak Sempurna

Apabila tidak ada oksigen yang cukup, maka terjadi pembakaran tidak sempurna yang dapat menghasilkan karbon monoksida (CO). pada pembakaran tak sempurna, bahan pirolisis yang tidak terbakar dapat mengontaminasi asap dengan partikulat berbahaya. Salah satu zat tersebut adalah karbon monoksida yang beracun (Naryanto, 2021)

Hasil dari proses pembakaran tidak sempurna yaitu CO, HC, NO_2 , dan zat pengotor lainnya. Persamaan kimia hidrokarbon yang tidak sempurna secara umum adalah (Naryanto, 2021) :



Selain itu dapat pula dinyatakan dengan persamaan (Rusdiani, 2018)



2.5 Emisi Gas Buang

Menurut PP 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, emisi adalah “zat, energi dan/atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk dan/atau dimasukkannya ke dalam udara ambien yang mempunyai dan/atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar”.

Saat kendaraan beroperasi, terdapat hasil sisa pembakaran yang dikeluarkan melalui sistem pembuangan mesin yakni *exhaust*/knalpot. Sisa-sisa tersebut merupakan emisi gas buang. Emisi gas buang merupakan sisa hasil pembakaran /reaksi kimia pada bahan bakar dengan oksigen. (Winarno, 2014)

Seperti yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya, pada pembakaran bahan bakar, terjadi proses pembakaran sempurna dan tidak sempurna. Pada proses pembakaran sempurna, karbon yang terkandung dalam bahan bakar bereaksi dengan oksigen (O_2) hingga tepat habis menghasilkan CO_2 , H_2O , dan N_2 . Namun, dalam prakteknya sangat jarang terjadi pembakaran sempurna, melainkan pembakaran tidak sempurna. Dalam pembakaran tidak sempurna, hasil sisa pembakaran berupa CO , HC , NO_x , dan partikulat. (Winarno, 2014)

2.5.1 Karbon Monoksida (CO)

Karbon Monoksida (CO) merupakan gas yang terutama dihasilkan dari hasil kegiatan manusia, contohnya dari kegiatan transportasi. Gas ini memiliki ciri tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa pada suhu $192^\circ C$. Gas ini akan berubah warna menjadi kebiruan apabila dibakar. Karbon monoksida berasal dari kendaraan bermotor 93% dan *power generator* 7%. (Syahbuddin et al., 2020) Gas ini terbentuk apabila unsur C tidak berikatan dengan cukup dengan O_2 dalam artian kurangnya udara atau berlebihan bahan bakar yang terdapat pada ruang silinder. (Rusdiani, 2018)

Karbon monoksida memiliki berat 96.5% dari berat air serta tidak larut dalam air. Adapun proses terbentuknya karbon monoksida berasal dari proses (Syahbuddin et al., 2020) :

- 1) Pembakaran tidak sempurna
- 2) Reaksi antara karbon dioksida dengan komponen dengan kandungan karbon pada suhu tinggi
- 3) Pembakaran pada suhu tinggi yang menyebabkan karbon dioksida berubah menjadi karbon monoksida dan oksigen



Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut (Syahbuddin et al., 2020)



Faktor yang berpengaruh dalam banyaknya CO dan emisi gas buang lain yang dihasilkan adalah perbandingan antara jumlah udara dan bahan bakar / *Air-Fuel Ratio* (AFR) dan lambda (λ). Adapun nilai AFR yang ideal secara teoritis adalah 14.7 : 1 yang artinya dalam 1 gram bensin diperlukan 14.7 gram oksigen, sedangkan λ mengindikasikan perbandingan dari jumlah udara sesungguhnya dengan udara teori. Apabila :

$\lambda = 1$, maka campuran ideal.

$\lambda > 1$, maka campuran kurus

$\lambda < 1$, maka campuran kaya (Rusdiani, 2018)

Untuk mengurangi CO, maka nilai AFR harus dibuat kurus. Namun, akibatnya HC dan NO_x akan meningkat. (Syahbuddin et al., 2020)

2.5.2 Karbon Dioksida (CO₂)

Seperti yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya, pembakaran sempurna menghasilkan CO₂. Namun, selain dihasilkan dari pembakaran sempurna pada bahan bakar fosil, karbon dioksida juga terutama dihasilkan dari pembakaran senyawa organik serta mikroorganisme saat proses fermentasi dengan oksigen yang cukup. Berdasarkan unsur pembentuknya, CO₂ dihasilkan dari 2 atom oksigen yang berikatan secara kovalen dengan atom karbon. (Hendratmoko & Dewantoro, 2018)

2.5.3 Hidrokarbon (HC)

Bahan bakar bensin terbentuk dari senyawa hidrokarbon. HC pada emisi gas buang terbentuk dari bahan bakar bensin yang tidak habis terbakar pada ruang pembakaran, dapat pula dikatakan bahan bakar tersebut seolah-olah tersembunyi walaupun rasio perbandingan udara dengan bahan bakar (AFR) sudah ideal dan desain teknologi ruang pembakaran yang cukup mumpuni untuk melakukan pembakaran sempurna, namun emisi tersebut masih tetap dapat teridentifikasi bersama dengan gas sisa lainnya. (Syahbuddin et al., 2020)

Gas yang terbentuk akibat pembakaran tidak sempurna dan penguapan bahan libedakan menjadi dua, yakni bahan bakar yang tidak terbakar dan menjadi gas



mentah serta bahan bakar yang terpecah karena suhu tinggi yang menjadi guugsan HC yang keluar bersama dengan gas buang.(Ningrat et al., 2016)



HC terdapat pada proses penguapan tangki dan karbutator yang dapat mengakibatkan kabut campuran asap. Adapun secara umum HC disebabkan oleh (Nugraha, 2007) :

- 1) Pergerakan api yang dihasilkan busi di ruang pembakaran sangat cepat namun dengan suhu yang rendah, mengakibatkan campuran udara dan bahan bakar gagal terbakar
- 2) Terjadi *engine brake* pada saat destilasi disebabkan oleh katup yang tertutup, dengan putaran mesin yang masih tinggi.
- 3) Katup masuk dan buang bersama-sama terbuka dengan durasi yang panjang menyebabkan HC berfungsi sebagai pembersih

2.5.4 Nitrogen Oksida (NO_x)

Bahan bakar mengandung Nitrogen (N₂) yang terbawa udara. Gas ini kemudian disemprot pada ruang bahan bakar dengan suhu 1800°C sehingga menyebabkan terbentuknya Nitrogen Oksida (NO_x) (Syahrani, 2014)

Gas nitrogen oksida memiliki ciri tidak berbau, tidak berasa, dan tidak berwarna. Polutan ini sangat berhubungan dengan masalah kesehatan pernapasan seperti kerawanan pada infeksi pernapasan, meningkatnya penyumbatan aliran udara pada penyakit asthma, dan menurunnya fungsi jantung. Telah diketahui bahwa bahkan dalam paparan NO_x dalam waktu singkat menyebabkan masalah pernapasan pada siswa sekolah secara meluas, batuk, pilek, dan tenggorokan kering.(Khandar & Kosankar, 2014)

Nitrogen Oksida juga berpartisipasi menimbulkan pengendapan asam hasil dari hujan asam pada tanaman dan air permukaan, mengakibatkan masalah pada pepohonan dan kehidupan bawah air. Emisi Nitrogen Oksida juga dapat meningkatnya PM dengan berubah menjadi *nitric acid* pada atmosfir dan membentuk partikulat nitrat.(Khandar & Kosankar, 2014)



2.6 Faktor yang Memengaruhi Emisi Gas Buang pada Kendaraan

2.6.1 Kecepatan Kendaraan

Kecepatan kendaraan didefinisikan sebagai jarak kendaraan per satuan waktu. (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997) Kecepatan berkaitan erat dengan tingkat emisi yang dihasilkan. Di suatu jalan dengan kondisi kecepatan kendaraan yang stabil, emisi gas buang yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan pada jalan dengan kecepatan yang berfluktuatif, dimana kecepatan kendaraan yang tidak beraturan menyebabkan kondisi turbulen sehingga emisi kendaraan meningkat. Selain itu, tikungan tajam dan kelandaian jurang memengaruhi kecepatan kendaraan yang pada akhirnya berpengaruh pula pada emisi gas buang. (Muziansyah et al., 2015)

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Sasmita et al (2022) terkait hubungan antara jumlah kendaraan, kecepatan kendaraan, serta emisi gas buang CO, diperoleh hasil adanya keselarasan hubungan antara ketiga variabel tersebut, dimana semakin banyak jumlah kendaraan, maka kecepatan kendaraan semakin berkurang, yang menyebabkan emisi gas buang CO semakin meningkat.

Selain pembahasan di atas, partikel karbon (CO) dan hidrokarbon (HC) juga sangat disebabkan oleh kondisi arus lalu lintas, dimana kecepatan kendaraan yang rendah menyebabkan meningkatnya emisi gas buang tersebut. (Kusuma, 2010)

2.6.2 Putaran Mesin Kendaraan

Putaran mesin kendaraan dapat dilihat pada takometer dinyatakan dengan satuan *revolution per minute* (RPM). Putaran mesin memiliki pengaruh terhadap jumlah emisi CO, CO₂, serta HC yang dihasilkan. Pada emisi Karbon Monoksida, putaran mesin yang semakin tinggi menyebabkan emisi CO yang dihasilkan semakin rendah. Hal ini disebabkan karena terjadi pembakaran sempurna pada kondisi kendaraan dengan putaran mesin yang tinggi. Pembakaran tersebut mengakibatkan idealnya komposisi udara dan bahan bakar yang terkandung (*Air-Fuel Ratio*). Komposisi AFR yang tidak stabil/kaya pada saat putaran mesin rendah menyebabkan kadar CO yang tinggi. (Prasetyo et al., 2022)

Hal yang sama juga terjadi pada emisi HC, dimana berdasarkan hasil penelitian, pada putaran rendah emisi HC yang dihasilkan adalah yang tertinggi nilainya, dan emisi HC semakin turun seiring meningkatnya putaran mesin. Namun, untuk CO₂, jumlah emisi yang dihasilkan semakin naik seiring meningkatnya putaran mesin. Hal ini disebabkan karena meningkatnya putaran mesin menyebabkan suhu ruang



bakar meningkat pula sehingga menyebabkan pembakaran semakin optimal. (Prasetyo et al., 2022)

2.6.3 Jumlah Kendaraan

Seperti yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya, jumlah kendaraan juga memengaruhi emisi gas buang pada kendaraan, dimana semakin banyak jumlah kendaraan yang beroperasi di suatu jalan, maka emisi gas buang yang dihasilkan semakin meningkat. (Sasmita et al., 2022)

Volume kendaraan yang tinggi menyebabkan tingginya kemacetan pada ruas jalan yang mengarah kepada tingginya emisi gas buang yang dihasilkan. Pada penelitian Wirosoedarmo et al (2020) yang menganalisis pengaruh jumlah kendaraan terhadap konsentrasi CO diperoleh hasil bahwa jumlah kendaraan memiliki pengaruh hingga 71,35% terhadap CO.

2.6.4 Panjang Perjalanan

Panjang perjalanan mengindikasikan seberapa jauh jarak tempuh kendaraan yang telah dilalui, pada kendaraan ditunjukkan pada odometer. (Bani, n.d.) Pengaruh jarak tempuh kendaraan terhadap emisi gas buang adalah berbanding lurus, dimana semakin besar jarak tempuh kendaraan, maka emisi CO maupun HC juga semakin meningkat. Jarak tempuh juga dikaitkan dengan umur kendaraan, yakni semakin lama pemakaian kendaraan maka jarak tempuhnya juga semakin meningkat. (Lupita & Istirokhatun, 2013)

2.6.5 Umur Kendaraan

Umur pada kendaraan mengindikasikan bahwa seberapa tua kendaraan tersebut beroperasi. Adapun pengaruh umur kendaraan terhadap emisi gas buang berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Lupita & Istirokhatun (2013), umur kendaraan berpengaruh terhadap emisi gas CO, dimana semakin tua umur kendaraan maka emisi gas CO yang dihasilkan akan semakin besar. Hal tersebut diakibatkan oleh banyaknya kotoran pada saringan udara serta komponen mesin yang terjadi keausan. Hal yang sama juga terjadi pada emisi gas buang HC, dimana semakin tua umur kendaraan maka emisi HC juga

semakin besar disebabkan karena komponen mesin yang aus menyebabkan terjadi proses pembakaran yang tidak sempurna.



2.6.6 Jenis Bahan Bakar Kendaraan

Jenis bahan bakar kendaraan memengaruhi emisi gas buang. Pada bahan bakar solar untuk motor diesel, nilai opasitas yang dihasilkan sangat tinggi. Hal ini disebabkan karena nilai setane pada solar rendah yakni 48 sehingga tidak dapat terbakar secara menyeluruh serta gas terkandung jelaga sebagai penyebab opasitas tinggi. (Hidayat, 2017)

Bahan bakar bensin juga tentunya berpengaruh terhadap emisi gas buang. Hal ini tidak terlepas dari bilangan oktan pada bahan bakar. Untuk bahan bakar yang digunakan secara komersil di Indonesia, Pertamina Turbo memiliki nilai oktan tertinggi yakni 98, disusul Pertamina dengan nilai oktan 95, Paltalite dengan nilai oktan 90, hingga Premium dengan nilai oktan 88. (Henry et al., 2017) Bilangan oktan sendiri digunakan sebagai acuan dalam menilai kualitas bensin. Semakin tinggi nilai oktan, maka kualitas bahan bakar akan semakin baik yang ditandai dengan semakin kecilnya *self-ignited*. Bensin dengan oktan tinggi sesuai digunakan pada mesin dengan kompresi mesin yang tinggi dikarenakan mesin tersebut efisien sehingga emisi CO₂ yang dihasilkan lebih rendah. (Webb, 2017)

2.7 Perhitungan Emisi dan Faktor Emisi

2.7.1 Perhitungan Emisi

Terdapat 3 metode dalam melakukan perhitungan emisi. Berdasarkan IPCC (2006), perhitungan emisi terbagi menjadi 3 tingkat ketelitian yang disebut dengan *tier*.

A. Metode Tier 1

Pada penerapan metode tier 1, adapun data yang diperlukan adalah jumlah bahan bakar yang terbakar serta nilai FE *default*. Adapun persamaan pada metode tier 1 adalah

$$Emisi_{GRK,BB} = Konsumsi BB_{BB} \times Faktor Emisi_{GRK,BB} \quad (8)$$

B. Metode Tier 2

Pada metode tier 2, data yang digunakan adalah jumlah bahan bakar yang serta nilai FE spesifik di suatu negara untuk setiap kategori sumber serta bahan yang digunakan. Dalam tier 2, perhitungan emisi pada tier 1 digantikan dengan faktor spesifik setiap negara. FE spesifik pada setiap negara dapat dikembangkan dengan



memperhitungkan data spesifik negara, misalnya jumlah karbon yang terkandung pada penggunaan bahan bakar, faktor oksidasi karbon, kualitas bahan bakar, dan sebagainya.

C. Metode Tier 3

Pada metode tier 3, perhitungan emisi lebih teliti lagi. Metode ini dilakukan dengan pendekatan *modelling* dan *sampling*. Dalam pendekatan tier 3, jenis BB, teknologi pembakaran, kondisi saat beroperasi, teknologi kontrol, kualitas perawatan, serta umur mesin diperhitungkan dalam perhitungan emisi sehingga data yang diberikan lebih akurat. Persamaan metode tier 3 adalah

$$Emisi_{GRK, BB, teknologi} = Konsumsi\ BB_{BB, teknologi} \times Faktor\ Emisi_{GRK, BB, teknologi} \quad (9)$$

Nilai standar emisi juga ditentukan sebagai komitmen untuk menurunkan emisi gas rumah kaca sebesar 26 persen tahun 2020. Di Indonesia, standar emisi yang digunakan adalah standar emisi Euro IV yang diatur pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 20 Tahun 2017 dengan nilai standar sebagai berikut

Tabel 2 Standar Emisi untuk Bahan Bakar Diesel

Bahan Bakar	Parameter (g/km)			
	CO	NO _x	HC + NO _c	PM
Diesel	0,5	0,3	0,25	0,025

Sumber : Permen LHK No. 20 Tahun 2017

2.7.2 Faktor Emisi

Besarnya emisi yang dikeluarkan ke udara ambien ntuk setiap satuan bahan bakar yang yang digunakan merupakan definisi dari faktor emisi. Nilai FE merepresentasikan besarnyar yang diemisikan oleh suatu kendaraan ke atmosfer pada setiap jenis aktivitas. (Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara Di Daerah, 2010) Menurut Lestari (2005) dalam Rusdiani (2018), FE dapat dinyatakan dalam satuan :

- Gram/Kilometer (g/km); banyaknya pencemar (g) pada setiap jarak tempuh kendaraan (km)
- Gram/Kilogram (g/kg); banyaknya pencemar (g) pada setiap kuantitas bahan bakar yang digunakan (kg)
- Gram/Joule (g/J); banyaknya pencemar (g) pada setiap energi yang digunakan (joule)
- Gram/Jam (g/h); banyaknya pencemar (g) yang keluar pada setiap waktu tempuh kendaraan (jam)



Nilai faktor emisi dinyatakan dalam massa pencemar per unit berat, volume, jarak, atau durasi suatu aktivitas pengemisi pencemar yang diperoleh dari rata-rata statistik pemantauan dari hasil uji emisi yang mengeluarkan data konsentrasi gas dalam bentuk CO₂, CO, HC, NO_x, dan O₂ (Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara Di Daerah, 2010 dalam Rusdiani (2018))

$$FE = \frac{\text{Besarnya Pencemar yang diemisikan ke atmosfer (gram)}}{\text{jarak tempuh kendaraan (km)}} \quad (10)$$

Di bawah ini merupakan faktor emisi untuk beberapa jenis polutan pada setiap jenis kendaraan berdasarkan Permen LH No. 12 Tahun 2010.

Tabel 3 Faktor Emisi Gas Buang Kendaraan Untuk Kota Metropolitan Dan Kota Besar Di Indonesia

Sub Kategori untuk Perhitungan Beban Pencemar Udara	CO (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)	PM ₁₀ (g/km)	CO ₂ (g/kg BBM)	SO ₂ (g/km)
Sepeda Motor	14	5,9	0,29	0,24	3180	0,008
Mobil (bensin)	40	4	2	0,01	3180	0,026
Mobil (solar)	2,8	0,2	3,5	0,53	3172	0,44
Mobil	32,4	3,2	2,3	0,12	3178	0,11
Bis	11	1,3	11,9	1,4	3172	0,93
Truk	8,4	1,8	17,7	1,4	3172	0,82

Sumber : Permen LH No. 12 (2010)

● Ekonomi Bahan Bakar

Ekonomi bahan bakar (*fuel economy*) adalah jumlah bahan bakar yang digunakan suatu kendaraan untuk menempuh jarak tertentu. Dalam Permen LH No. 12 Tahun 2010, ekonomi bahan bakar diklasifikasikan untuk setiap jenis kendaraan, dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4 Ekonomi Bahan Bakar di Indonesia

Kategori/Sub Kategori	Ekonomi BB (km/L)
Sedan	9,8



Kategori/Sub Kategori	Ekonomi BB (km/L)
Van/minibus	8
Taksi	8,7
Angkot	7,5
Bis sedang/mikrobis	4
Bis Besar	3, 5
Pickup	8, 5
Truck 2 as	4,4
Truck 3 as	4
Jeep	8
Sepeda motor/roda 3	28

Sumber : Permen LH No. 12 (2010)

- **Konversi Satuan Faktor Emisi**

Dalam perhitungan besaran emisi, diperlukan data Faktor Emisi dengan satuan gram/jam. Oleh karena itu, data FE CO dan CO₂ dari regulasi di atas dikonversi ke satuan yang diperlukan.

Karbon Monoksida

$$FE (CO) = \frac{\text{gram}}{\text{km}} \times \frac{\text{Total jarak tempuh (km)}}{\text{Total waktu tempuh (jam)}} = \frac{\text{gram}}{\text{jam}} \quad (11)$$

Karbon Dioksida

$$FE (CO_2) = \frac{\text{gram}}{\text{kg BBM}} \times \frac{\text{Jumlah liter BBM digunakan}}{\text{Jarak Tempuh (km)}} = \frac{\text{gram}}{\text{km}} \times \frac{\text{Total jarak tempuh (km)}}{\text{Total waktu tempuh (jam)}} = \frac{\text{gram}}{\text{jam}} \quad (12)$$

2.8 Driving Cycle

Terdapat berbagai sudut pandang mengenai definisi dari *Driving Cycle*. Menurut Amirjamshidi (2013), *Driving Cycle* kendaraan didefinisikan sebagai “perwakilan profil -waktu untuk sebuah lingkup studi yang dimana kendaraan dapat berada dalam iam, percepatan atau perlambatan. Selain itu, Andry *et al.* (2013) mendefinisikan *ycle* sebagai perwakilan “data urutan kecepatan dan waktu yang dikembangkan n, rute, area atau kota tertentu”.(GHAFAR, 2015)



Dari definisi di atas, dapat disimpulkan bahwa *Driving Cycle* merupakan grafik data kecepatan dan waktu yang dihasilkan dari keadaan riil di jalan. Siklus ini seringkali dikembangkan untuk jalanan, rute, wilayah atau kota tertentu. Dengan adanya data *Driving Cycle*, data dari pola mengemudi pada setiap wilayah dengan karakteristik yang berbeda dapat terwakilkan.(GHAFAR, 2015)

Driving Cycle dapat digunakan dalam memperkirakan konsumsi bahan bakar dan emisi kendaraan dengan pengujian menggunakan dynamometer. Beberapa peneliti telah melakukan pengujian terkait hal ini. Misalnya, Watson (1978) menggunakan data *Driving Cycle* dari kendaraan ringan untuk menghasilkan data emisi dalam memprediksi polusi udara. Pengujian tersebut menggunakan 40 kendaraan ringan dengan kecepatan konstan hingga 120 km/jam berdasarkan 3 model *Driving Cycle*, *AS 2077 City (US City)*, *Melbourne Peak*, dan *Melbourne Cold Start*. Selain itu, *Driving Cycle* sangat penting digunakan untuk mengetahui perilaku pengemudi dalam wilayah lingkup studi.(GHAFAR, 2015)

Ada beberapa parameter yang dikenal dalam *Driving Cycle*, yakni :

- A. Waktu Tempuh ; waktu total kendaraan dalam menempuh jalan tertentu, termasuk waktu berhenti pada simpang
- B. Kecepatan ; pergerakan lalu lintas dengan satuan km/jam
- C. Percepatan ; kecepatan kendaraan per satuan waktu
- D. Perlambatan ; jarak pengereman yang disebabkan oleh kondisi seperti gesekan dengan permukaan jalan.
- E. *Idle* ; kendaraan dalam keadaan diam namun mesin hidup

2.9 Klasifikasi Jalan

Klasifikasi jalan di Indonesia di atur dalam UU No. 38 Tahun 2004 tentang Jalan, UU No. 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan serta PP Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan. (Pandey, 2014)

2.9.1 Berdasarkan Sistem

- A. Sistem Jaringan Jalan Primer. Pada sistem ini, seluruh simpul jasa distribusi yang berwujud pusat kegiatan terhubung dengan pelayanan distribusi barang dan jasa untuk seluruh wilayah di tingkat nasional dapat dilakukan pengembangan.



- B. Sistem Jaringan Jalan Sekunder. Sistem ini menangani distribusi barang dan jasa pada masyarakat di dalam kawasan perkotaan.

2.9.2 Berdasarkan Fungsinya

- 2 Jalan Arteri. Jalan ini dicirikan dengan kecepatan rata-rata tinggi, perjalanan jarak jauh, jumlah jalan masuk dibatasi dengan daya guna.
- 3 Jalan Kolektor. Jalan ini melayani angkutan utama dan dicirikan dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang, serta jumlah jalan masuk dibatasi.
- 4 Jalan Lokal. Jalan yang memiliki ciri jumlah jalan masuk tidak dibatasi, rata-rata kecepatan rendah, dan perjalanan jarak dekat berfungsi melayani angkutan setempat.(Pandey, 2014)
- 5 Jalan Lingkungan. Jalan yang memiliki ciri jarak dekat dengan kecepatan rata-rata rendah berfungsi melayani angkutan lingkungan.

2.9.3 Berdasarkan Status

- A. Jalan Nasional. Menghubungkan antar ibukota provinsi, dan jalan strategis nasional, serta tol
- B. Jalan Provinsi.. menghubungkan ibukota provinsi dengan ibukota kabupaten/kota, atau antar ibukota kabupaten/kota, dan jalan strategis provinsi
- C. Jalan Kabupaten. Menghubungkan ibukota kabupaten dengan ibukota kecamatan, antar ibukota kecamatan, pusat kegiatan dengan ibukota kabupaten, serta jalan umum pada sistem jaringan sekunder pada lingkup kabupaten
- D. Jalan Kota. Menghubungkan antarpusat pelayanan dengan persil, antarpersil, dan antarpusat pemukiman yang berada di dalam kota
- E. Jalan Desa. Menghubungkan kawasan dan/atau antar pemukiman di dalam desa, serta jalan lingkungan

2.9.4 Berdasarkan Kelasnya

- A. Kelas I. Berdasarkan fungsi dikelompokkan sebagai jalan arteri dan kolektor. Dapat dilalui kendaraan dengan ukuran lebar ≤ 2500 mm,



panjang ≤ 18000 mm dan tinggi ≤ 4200 mm serta berat maksimal 10 ton

- B. Kelas II. Berdasarkan fungsi dikelompokkan sebagai jalan arteri, kolektor, lokal, dan lingkungan. Dapat dilalui kendaraan dengan ukuran lebar ≤ 2500 mm, panjang ≤ 12000 mm dan tinggi ≤ 4200 mm serta berat maksimal 8 ton
- C. Kelas III. Berdasarkan fungsi dikelompokkan sebagai jalan arteri, kolektor, lokal, dan lingkungan. Dapat dilalui kendaraan dengan ukuran lebar ≤ 2500 mm, panjang ≤ 9000 mm dan tinggi ≤ 3500 mm serta berat maksimal > 10 ton
- D. Kelas Khusus. Berdasarkan fungsi dikelompokkan sebagai jalan arteri dengan dapat dilalui kendaraan berukuran lebar ≤ 2500 mm, panjang ≤ 18000 mm dan tinggi ≤ 4200 mm serta berat maksimal > 10 ton

2.10 Perhitungan Distribusi Frekuensi *Driving Cycle*

Adapun dalam perhitungan emisi, salah satu perhitungan yang digunakan adalah distribusi frekuensi *Driving Cycle* (DC). Berikut merupakan perhitungan yang digunakan (Harvianti & Ahyudanari, 2022) :

A. Range

Merupakan jangkauan jumlah data untuk membatasi data yang akan diolah. Rumusnya adalah (Wahyuni, 2021) :

$$r = \text{data max} - \text{data min} \quad (11)$$

Dimana : Data max = nilai terbesar

Data min = nilai terkecil

B. Kelas

$$K = 1 + 3,3 \log (n) \quad (12)$$

Dimana : Data max = nilai terbesar

Data min = nilai terkecil

C. Interval

Berupa selang antara data untuk mengetahui kelas dan distribusi data. Berikut merupakan rumus yang digunakan

$$\frac{r}{k} \quad (13)$$



Dimana : I = Interval
 r = range
 k = banyaknya interval kelas

D. Nilai Tengah

Nilai Tengah merupakan nilai yang berada di tengah interval pada setiap kelas

$$\text{Nilai Tengah} = \frac{(BB+BA)}{2} \quad (14)$$

Dimana : BB = Batas Bawah
 BA = Batas Atas

2.11 MARNI Model

Dalam memperkirakan emisi kendaraan bergerak dengan kondisi lalu lintas heterogen dapat menggunakan sebuah model dasar yaitu Metropolitan tRaffic EmissioNs Inventory atau MARNI Model. MARNI Model merupakan serangkaian model matematis untuk memprediksi besaran emisi kendaraan yang bergerak nyata di jalan raya. Permodelan ini dikembangkan dengan model faktor emisi (model FE) dari 31 jenis kendaraan ringan, model pola *Driving Cycle* dan waktu tempuh. (Aly, 2015)

MARNI Model merupakan permodelan prediksi emisi kendaraan yang dalam membentuk model tersebut dibutuhkan data emisi kendaraan bergerak. Permodelan ini merupakan multiplikasi/perkalian antara faktor emisi (FE), distribusi fraksi kecepatan rata-rata (*Driving Cycle*) (DC), dan waktu tempuh (TT). Dikarenakan kondisi kecepatan nyata di jalan raya sangat berfluktuasi, maka distribusi kecepatan dan waktu tempuh kendaraan sangat dipertimbangkan dalam permodelan ini. Berikut ini merupakan persamaan dari MARNI Model dalam menghitung besaran emisi. (Aly, 2015)

$$EV_{t,p} = FE_{t,p} \times DC_{t,p} \times TT_{t,p} \quad (15)$$

Keterangan :

EV = Besaran Emisi (gram)

FE = Faktor Emisi (gram/jam)

DC = Distribusi Frekuensi *Driving Cycle* (km/jam)

T = Waktu Tempuh (jam)

dex t = waktu pengamatan

dex p = polutan yang diuji



2.12 Penentuan Sampel Uji

Sampel merupakan perwakilan yang dapat mewakili suatu populasi. Dalam melakukan penelitian terhadap suatu populasi, sampel digunakan agar populasi yang diuji dapat terwakilkan, sehingga tidak perlu melakukan pengambilan data terhadap seluruh anggota populasi. Penentuan sampel dapat dilakukan dengan perhitungan *slovin*, yaitu rumus untuk menghitung jumlah sampel minimal. Ukuran sampel menurut *slovin* ditentukan berdasarkan rumus berikut (Dodi Sukma R.A et al., 2021)

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \quad (16)$$

Keterangan :

n = jumlah sampel

N = jumlah populasi

e = batas toleransi kesalahan

Newman (1997) membedakan populasi berdasarkan jumlah anggota populasinya, yaitu :

- Populasi kecil yang mempunyai anggota kurang dari 1.000
- Populasi menengah yang mempunyai anggota 10.000
- Populasi besar yang mempunyai anggota 150.000

Apabila populasi terdiri dari beberapa golongan dengan susunan bertingkat, metode yang dapat digunakan untuk memperoleh sampel adalah dengan *Stratified Random Sampling*. Metode ini memungkinkan memperoleh sampel dengan bilangan yang proporsional pada tiap golongan suatu populasi. *Stratified Random Sampling* dilakukan dengan membagi populasi menjadi sub populasi yang lebih kecil atau stratum untuk ditentukan jumlah sampel yang akan diambil pada setiap stratum tersebut. Berikut perhitungan yang digunakan dalam metode ini.

$$nh = \frac{Nh}{N} \times n \quad (17)$$

Keterangan :

n = sampel slovin

Nh = populasi strata

= populasi



2.13 Uji Wilcoxon

Pada beberapa situasi seringkali didapatkan nilai signifikansi pada uji normalitas $< 0,05$ yang berarti bahwa data tersebut tidak terdistribusi secara normal. Oleh karena itu, dapat dilakukan pengujian dengan fasilitas statistik non parametrik yang tidak mempertimbangkan normalitas data, atau dengan kata lain dapat digunakan walaupun data tidak terdistribusi normal. (Nuryadi et al., 2017)

Uji Wilcoxon merupakan salah satu uji nonparametrik untuk menguji apakah terdapat perbedaan rata-rata pada suatu objek yang tidak memiliki data yang terdistribusi normal. (Nurhalimah et al., 2017) Pada pengujian ini, uji statistic yang dipergunakan adalah uji statistik Wilcoxon (W_{hitung}). Setelah memperoleh nilai statistic dari uji Wilcoxon (W_{hitung}), maka ditentukan nilai kritis Wilcoxon yang diperoleh berdasarkan tabel distribusi Wilcoxon. Aturannya adalah (Syanto & Gio, 2017):

$$\text{Jika } W_{hitung} \leq W_{kritis}, H_1 \text{ diterima dan } H_0 \text{ ditolak} \quad (18)$$

$$\text{Jika } W_{hitung} > W_{kritis}, H_0 \text{ diterima dan } H_1 \text{ ditolak} \quad (19)$$

Uji Wilcoxon dapat menjadi alternatif dari uji T *paired* apabila tidak memenuhi syarat secara parametrik/data tidak terdistribusi normal. (Amiliyah et al., 2022) Uji Wilcoxon dapat dilakukan dengan menggunakan *software IBM SPSS*, dimana pada penelitian ini digunakan asumsi :

H_0 : Tidak ada perbedaan signifikan antara masing-masing sampel

H_1 : Ada perbedaan signifikan antara masing-masing sampel

$$\text{Jika nilai signifikansi} \leq 0,05, \text{ maka } H_0 \text{ ditolak} \quad (20)$$

$$\text{Jika nilai signifikansi} > 0,05, \text{ maka } H_0 \text{ diterima} \quad (21)$$

