

SKRIPSI

ANALISIS DISPERSI KONSENTRASI CO, NO_x, DAN PM₁₀ KENDARAAN TRUK DI JALAN KABUPATEN GOWA

Disusun dan diajukan oleh:

**DANTI FITRIANI OHORELLA
D131 19 1023**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS DISPERSI KONSENTRASI CO, NO_x, DAN PM₁₀
DARI KENDARAAN TRUK DI JALAN KABUPATEN GOWA**

Disusun dan diajukan oleh

Danti Fitriani Ohorella
D131191023

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 15 Agustus 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 di bawah ini :

Nama : Danti Fitriani Ohorella
NIM : D131191023
Program Studi : Teknik Lingkungan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisis Dispersi Konsentrasi CO, NO_x, dan PM₁₀ dari Kendaraan Truk di Jalan Kabupaten Gowa

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, 28 Agustus 2023

Yang Menyatakan

A 10,000 Indonesian Rupiah banknote is shown with a signature written over it. The signature is in black ink and appears to be 'Danti Fitriani Ohorella'. The banknote features the Garuda Pancasila emblem and the number '10000'.

Danti Fitriani Ohorella

ABSTRAK

DANTI FITRIANI OHORELLA. *Analisis Dispersi Konsentrasi CO, NO_x, dan PM₁₀ Kendaraan Truk di Jalan Kabupaten Gowa (dibimbing oleh Sumarni Hamid Aly dan Nurul Masyiah Rani Harusi)*

Perkembangan moda transportasi di Indonesia semakin meningkat akibat tingginya kebutuhan dan aktivitas masyarakat. Bukan hanya transportasi umum yang sering digunakan melainkan juga kendaraan pengangkut barang untuk kebutuhan perekonomian seperti kendaraan truk. Kabupaten Gowa adalah salah satu Kabupaten di Sulawesi Selatan yang berbatasan langsung dengan Kota Makassar, Kabupaten Maros, Kabupaten Takalar, dan Kabupaten Jeneponto. Terdapat berbagai aktivitas pertanian dan pertambangan khususnya tambang pasir di Kabupaten Gowa yang selalu diangkut menggunakan truk, menurut data dari Badan Pusat Statistik tahun (BPS) tahun 2022 persentase kendaraan truk pada tahun 2021 yang melintas di Kabupaten Gowa sebesar 25,95% yang menunjukkan angka tertinggi kedua setelah sepeda motor. Akibat dari tingginya jumlah kendaraan truk maka dapat menimbulkan terjadinya pencemaran udara di sekitar lingkungan jalan raya akibat emisi yang dihasilkan oleh kendaraan truk.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besaran beban emisi untuk parameter CO, NO_x, dan PM₁₀ serta menganalisis dispersi konsentrasi CO, NO_x, dan PM₁₀ dari kendaraan truk pada Jalan di Kabupaten Gowa.

Penelitian dilakukan di Jalan Poros Malino yang terbagi menjadi 4 titik dan 1 titik pada Jalan K.H Wahid Hasyim pada hari libur Minggu 14 Mei 2023 dan hari kerja Senin 15 Mei 2023 pada pukul 06.00-18.00 WITA dengan pengambilan data berupa data volume kendaraan truk, tinggi knalpot, data meteorologi serta koordinat setiap lokasi. Data yang diperoleh akan diolah menggunakan perhitungan beban emisi Tier 2 kemudian dianalisis menggunakan perhitungan *Gaussian Model Line Source* dan AERMOD.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa besaran beban emisi kendaraan truk pada hari kerja lebih tinggi dibandingkan hari libur dengan nilai beban emisi terbesar berada pada titik 2 di Jalan Poros Malino untuk hari Minggu dan titik 1 di Jalan Poros Malino untuk hari Senin. Nilai beban emisi terbesar dari kendaraan truk yaitu parameter NO_x sebesar 202,3 kg/hari di hari Minggu dan 641,7 kg/hari di hari Senin. Hasil analisis dispersi menggunakan GMLS diperoleh nilai konsentrasi tertinggi yaitu NO_x sebesar 384,9 µg/m³ pada hari Minggu dan 2282,38 µg/m³ pada hari Senin. Sedangkan hasil analisis dispersi menggunakan AERMOD diperoleh konsentrasi tertinggi yaitu NO_x yakni 457 µg/m³ pada hari Minggu dan 3651 µg/m³ pada hari Senin.

Kata Kunci: Kendaraan Truk, Beban emisi, *Gaussian Line Source*, AERMOD

ABSTRACT

DANTI FITRIANI OHORELLA, *Dispersion Analysis of CO, NO_x, and PM₁₀ Concentrations Truck Vehicles on Gowa Regency Roads* (supervised by Sumarni Hamid Aly and Nurul Masyiah Rani Harusi)

The development of transportation modes in Indonesia is increasing due to the high needs and activities of the community. It is not only public transportation that is often used but also goods transport vehicles for economic needs, such as trucks. Gowa Regency is one of the regencies in South Sulawesi that is directly adjacent to Makassar City, Maros Regency, Takalar Regency, and Jeneponto Regency. There are various agricultural and mining activities, especially sand mining, in Gowa Regency that are always transported by truck. According to data from the Central Statistiks Agency (BPS) for 2022, the percentage of trucks passing in Gowa Regency in 2021 was 25.95%, which shows the highest number, second only to motorcycles. As a result of the high number of trucks, it can cause air pollution around the highway environment due to emissions produced by truck vehicles. This study aims to determine the amount of emission load for CO, NO_x, and PM₁₀ parameters and to analyze the dispersion of CO, NO_x, and PM₁₀ concentrations from trucks on roads in Gowa Regency. The research was conducted on Jalan Poros Malino, which was divided into 4 locations and 1 location on Jalan K.H. Wahid Hasyim, on Sunday, May 14th 2023, and Monday, May 15th 2023, from 6 a.m. to 6 p.m. by collecting truck volume data, exhaust height data, meteorological data, and the coordinates of each location. The data obtained will be processed using Tier 2 method and then analyzed using the Gaussian Model Line Source Formula and AERMOD. The results of the study show that the emission load for trucks on weekdays is higher than on holidays, with the largest emission load value being at 2nd location on Jalan Poros Malino for Sunday and 1st location on Jalan Poros Malino for Monday. The largest emission load value from trucks is the NO_x parameter of 202.3 kg/day on Sunday and 641.7 kg/day on Monday. The results of the dispersion analysis using GMLS obtained the NO_x for the highest concentration, with 384.9 g/m³ on Sunday and 2282.38 g/m³ on Monday. While the results of dispersion analysis using AERMOD obtained the NO_x for the highest concentration with 457 g/m³ on Sunday and 3651 g/m³ on Monday.

Keywords: Truck Vehicles, Emission load, Gaussian Line Source, AERMOD

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
KATA PENGANTAR	xvii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup.....	5
BAB II.....	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Udara Ambien	6
2.2 Pencemaran Udara	6
2.3 Dampak Pencemaran Udara.....	8
2.4 Baku Mutu Udara Ambien.....	9
2.5 Jenis Kendaraan Bermotor	11
2.6 Emisi Kendaraan Bermotor	12
2.7 Kendaraan Truk.....	17
2.8 Polutan CO, NO _x , dan PM ₁₀	21
2.9 Dispersi Polutan	24
2.10 Faktor yang Mempengaruhi Persebaran Polutan	25
2.11 Model Prediksi Dispersi Polutan.....	29
2.12 Model <i>Gaussian Line Source</i>	30
2.13 AERMOD	33
2.14 Uji Statistik	36
BAB III	38
METODE PENELITIAN.....	38
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	40
3.2 Alat dan Bahan.....	47
3.3 Metode Pengambilan Data	51
3.4 Metode Pengolahan Data	56
3.5 Analisis Data	67
3.6 Uji statistik	68
BAB IV	69
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	69
4.1 Perhitungan Beban Emisi Kendaraan Truk.....	69
1. Volume Kendaraan Truk	69
2. Analisis Perhitungan <i>Vehicle Kilometer Traveled</i> (VKT)	78
3. Perhitungan Beban Emisi Kendaraan Truk	84

4.2 Analisis Dispersi Model <i>Gaussian Line Source</i>	100
1. Dispersi Konsentrasi CO	101
2. Dispersi Konsentrasi NO _x	115
3. Dispersi Konsentrasi PM ₁₀	127
4.3 Analisis Dispersi AERMOD	140
1. Hasil Windrose	140
2. Hasil AERMOD	141
A. Titik 1	141
B. Titik 2	155
C. Titik 3	169
D. Titik 4	182
E. Titik 5	196
4.4 Uji Statistik	213
BAB V	216
PENUTUP	216
5.1 Kesimpulan	216
5.2 Saran	216
DAFTAR PUSTAKA	217
LAMPIRAN	221

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Metode Estimasi Emisi.....	14
Gambar 2 Truk CDE (Sumber: https://kurvaunggul-logistik.com)	18
Gambar 3 Truk CDD (Sumber: dpltranslogistics.com)	18
Gambar 4 Truk Fuso (Sumber: https://www.oto.com)	19
Gambar 5 Truk tronton (sumber: dpltranslogistics.com).....	19
Gambar 6 Truk wingbox (sumber: ekspedisijogja.com).....	20
Gambar 7 Truk kontainer (sumber: yosualogistik.co.id)	20
Gambar 8 Truk trailer (sumber: timurterang.com)	20
Gambar 9 Penyebaran Polutan (sumber: freepik.com)	24
Gambar 10 Arah angin tegak lurus jalan raya (Putut L. E & Widodo, 2011).....	31
Gambar 11 Arah angin tegak lurus jalan raya.....	32
Gambar 12 Bagan alir sistem model AERMOD, US EPA (2022)	34
Gambar 13 Lokasi Penelitian	42
Gambar 14 Sketsa jalan titik 1	43
Gambar 15 Sketsa jalan titik 2	43
Gambar 16 Sketsa jalan titik 3	44
Gambar 17 Sketsa jalan titik 4	44
Gambar 18 Sketsa jalan titik 5	45
Gambar 19 Titik 1 Jl. Poros Malino.....	45
Gambar 20 Titik 2 Jl. Poros Malino.....	46
Gambar 21 Titik 3 Jl. Poros Malino.....	46
Gambar 22 Titik 4 Jl. Poros Malino.....	47
Gambar 23 Titik 5 Jl. K.H. Wahid Hasyim.....	47
Gambar 24 Alat perangkat keras.....	48
Gambar 25 Tampilan Aplikasi <i>Counter UX</i>	48
Gambar 26 Tampilan Aplikasi <i>Google Earth</i>	49
Gambar 27 Tampilan <i>Software WRPLOT View</i>	49
Gambar 28 Tampilan <i>Software AERMET View</i>	50
Gambar 29 Tampilan <i>Software AERMOD View</i>	50
Gambar 30 Tampilan SPSS 27.....	51
Gambar 31 Diagram alir metode pengambilan data secara umum	56
Gambar 32 Bagan Alir Pengolahan Data	57
Gambar 33 Arah dispersi GMLS	59
Gambar 34 Pengolahan Data dengan rumus <i>Gaussian Line Source</i>	60
Gambar 35 Bagan Alir Pengolahan Data Angin pada <i>WRPLOT View</i>	61
Gambar 36 Bagan Alir Pengolahan Data AERMET.....	63
Gambar 37 Pengolahan Data pada <i>AERMOD View</i>	65
Gambar 38 Volume kendaraan truk titik 1.....	69
Gambar 39 Volume kendaraan truk titik 2.....	70
Gambar 40 Volume kendaraan truk titik 3.....	71
Gambar 41 Volume kendaraan truk titik 4.....	72
Gambar 42 Volume kendaraan truk titik 5.....	72
Gambar 43 Perbandingan volume kendaraan truk kelima titik.....	73
Gambar 44 Rekapitulasi Volume Kendaraan Truk Hari Minggu	74
Gambar 45 Rekapitulasi Volume Kendaraan Truk Hari Senin.....	75
Gambar 46 VKT Truk Titik 1	78

Gambar 47 VKT Truk Titik 2	79
Gambar 48 VKT Truk Titik 3	80
Gambar 49 VKT Truk Titik 4	81
Gambar 50 VKT Truk Titik 5	82
Gambar 51 Nilai Beban Emisi CO Titik 1	84
Gambar 52 Nilai Beban Emisi CO Titik 2	85
Gambar 53 Nilai Beban Emisi CO Titik 3	86
Gambar 54 Nilai Beban Emisi CO Titik 4	86
Gambar 55 Nilai Beban Emisi CO Titik 5	87
Gambar 56 Nilai Beban Emisi NO _x Titik 1	90
Gambar 57 Nilai Beban Emisi NO _x Titik 2	91
Gambar 58 Nilai Beban Emisi NO _x Titik 3	92
Gambar 59 Nilai Beban Emisi NO _x Titik 4	92
Gambar 60 Nilai Beban Emisi NO _x Titik 5	93
Gambar 61 Nilai Beban Emisi PM ₁₀ Titik 1	95
Gambar 62 Nilai Beban Emisi PM ₁₀ Titik 2	96
Gambar 63 Nilai Beban Emisi PM ₁₀ Titik 3	96
Gambar 64 Nilai Beban Emisi PM ₁₀ Titik 4	97
Gambar 65 Nilai Beban Emisi PM ₁₀ Titik 5	97
Gambar 66 Hasil CO Per Jam Hari Minggu Titik 1	101
Gambar 67 Hasil CO Per Jam Hari Senin Titik 1	102
Gambar 68 Hasil Dispersi Konsentrasi CO 12 Jam Titik 1	103
Gambar 69 Hasil CO Per Jam Hari Minggu Titik 2	104
Gambar 70 Hasil CO Per Jam Hari Senin Titik 2	105
Gambar 71 Hasil Dispersi Konsentrasi CO 12 Jam Titik 2	106
Gambar 72 Hasil CO Per Jam Hari Minggu Titik 3	107
Gambar 73 Hasil CO Per Jam Hari Senin Titik 3	107
Gambar 74 Hasil Dispersi Konsentrasi CO 12 Jam Titik 3	108
Gambar 75 Hasil CO Per Jam Hari Minggu Titik 4	109
Gambar 76 Hasil CO Per Jam Hari Senin Titik 4	110
Gambar 77 Hasil Dispersi Konsentrasi CO 12 Jam Titik 4	110
Gambar 78 Hasil CO Per Jam Hari Minggu Titik 5	111
Gambar 79 Hasil CO Per Jam Hari Senin Titik 5	112
Gambar 80 Hasil Dispersi Konsentrasi CO 12 Jam Titik 5	113
Gambar 81 Hasil NO _x Per Jam Hari Minggu Titik 1	115
Gambar 82 Hasil NO _x Per Jam Hari Senin Titik 1	116
Gambar 83 Hasil Dispersi Konsentrasi NO _x 12 Jam Titik 1	116
Gambar 84 Hasil NO _x Per Jam Hari Minggu Titik 2	117
Gambar 85 Hasil NO _x Per Jam Hari Senin Titik 2	118
Gambar 86 Hasil Dispersi Konsentrasi NO _x 12 Jam Titik 2	118
Gambar 87 Hasil NO _x Per Jam Hari Minggu Titik 3	119
Gambar 88 Hasil NO _x Per Jam Hari Senin Titik 3	119
Gambar 89 Hasil Dispersi Konsentrasi NO _x 12 Jam Titik 3	121
Gambar 90 Hasil NO _x Per Jam Hari Minggu Titik 4	122
Gambar 91 Hasil NO _x Per Jam Hari Senin Titik 4	122
Gambar 92 Hasil Dispersi Konsentrasi NO _x 12 Jam Titik 4	123
Gambar 93 Hasil NO _x Per Jam Hari Minggu Titik 5	124
Gambar 94 Hasil NO _x Per Jam Hari Senin Titik 5	124

Gambar 95 Hasil Dispersi Konsentrasi NO _x 12 Jam Titik 5	125
Gambar 96 Hasil PM ₁₀ Per Jam Hari Minggu Titik 1	127
Gambar 97 Hasil PM ₁₀ Per Jam Hari Senin Titik 1	128
Gambar 98 Hasil Dispersi Konsentrasi PM ₁₀ Jam Titik 1	129
Gambar 99 Hasil PM ₁₀ Per Jam Hari Minggu Titik 2	130
Gambar 100 Hasil PM ₁₀ Per Jam Hari Senin Titik 2	131
Gambar 101 Hasil Dispersi Konsentrasi PM ₁₀ 12 Jam Titik 2	131
Gambar 102 Hasil PM ₁₀ Per Jam Hari Minggu Titik 3	132
Gambar 103 Hasil PM ₁₀ Per Jam Hari Senin Titik 3	133
Gambar 104 Hasil Dispersi Konsentrasi PM ₁₀ 12 Jam Titik 3	134
Gambar 105 Hasil PM ₁₀ Per Jam Hari Minggu Titik 4	135
Gambar 106 Hasil PM ₁₀ Per Jam Hari Senin Titik 4	135
Gambar 107 Hasil Dispersi Konsentrasi PM ₁₀ 12 Jam Titik 4	136
Gambar 108 Hasil PM ₁₀ Per Jam Hari Minggu Titik 5	137
Gambar 109 Hasil PM ₁₀ Per Jam Hari Senin Titik 5	138
Gambar 110 Hasil Dispersi Konsentrasi PM ₁₀ 12 Jam Titik 5	138
Gambar 111 Hasil <i>Windrose</i> 14 Mei 2023	140
Gambar 112 Hasil <i>Windrose</i> 15 Mei 2023	141
Gambar 113 Isopleth CO 1 jam Titik 1 14 Mei 2023	142
Gambar 114 Isopleth CO 12 jam Titik 1 14 Mei 2023	142
Gambar 115 Grafik Hubungan Konsentrasi CO dan Jarak berdasarkan Isopleth	143
Gambar 116 Grafik Hubungan Konsentrasi CO dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam	143
Gambar 117 Isopleth CO 1 jam Titik 1 15 Mei 2023	144
Gambar 118 Isopleth CO 12 jam Titik 1 15 Mei 2023	145
Gambar 119 Grafik Hubungan Konsentrasi CO dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam	145
Gambar 120 Grafik Hubungan Konsentrasi CO dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam	146
Gambar 121 Isopleth NO _x 1 jam Titik 1 14 Mei 2023	147
Gambar 122 Isopleth NO _x 12 jam Titik 1 14 Mei 2023	147
Gambar 123 Grafik Hubungan Konsentrasi NO _x dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam	148
Gambar 124 Grafik Hubungan Konsentrasi NO _x dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam	148
Gambar 125 Isopleth NO _x 1 jam Titik 1 15 Mei 2023	149
Gambar 126 Isopleth NO _x 12 jam Titik 1 15 Mei 2023	149
Gambar 127 Grafik Hubungan Konsentrasi NO _x dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam	150
Gambar 128 Grafik Hubungan Konsentrasi NO _x dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam	150
Gambar 129 Isopleth PM ₁₀ 1 jam Titik 1 14 Mei 2023	151
Gambar 130 Isopleth PM ₁₀ 12 jam Titik 1 14 Mei 2023	152
Gambar 131 Grafik Hubungan Konsentrasi PM ₁₀ dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam	152
Gambar 132 Grafik Hubungan Konsentrasi PM ₁₀ dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam	152

Gambar 133 Isopleth PM ₁₀ 1 jam Titik 1 15 Mei 2023	153
Gambar 134 Isopleth PM ₁₀ 12 jam Titik 1 15 Mei 2023	154
Gambar 135 Grafik Hubungan Konsentrasi PM ₁₀ dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam.....	154
Gambar 136 Grafik Hubungan Konsentrasi PM ₁₀ dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam.....	155
Gambar 137 Isopleth CO 1 jam Titik 2 14 Mei 2023	156
Gambar 138 Isopleth CO 12 jam Titik 2 14 Mei 2023	156
Gambar 139 Grafik Hubungan Konsentrasi CO dan Jarak berdasarkan Isopleth	157
Gambar 140 Grafik Hubungan Konsentrasi CO dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam.....	157
Gambar 141 Isopleth CO 1 jam Titik 2 15 Mei 2023	158
Gambar 142 Isopleth CO 12 jam Titik 2 15 Mei 2023	158
Gambar 143 Grafik Hubungan Konsentrasi CO dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam.....	159
Gambar 144 Grafik Hubungan Konsentrasi CO dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam.....	159
Gambar 145 Isopleth NO _x 1 jam Titik 2 14 Mei 2023	160
Gambar 146 Isopleth NO _x 12 jam Titik 2 14 Mei 2023	161
Gambar 147 Grafik Hubungan Konsentrasi NO _x dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam.....	161
Gambar 148 Grafik Hubungan Konsentrasi NO _x dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam.....	162
Gambar 149 Isopleth NO _x 1 jam Titik 2 15 Mei 2023	162
Gambar 150 Isopleth NO _x 12 jam Titik 2 15 Mei 2023	163
Gambar 151 Grafik Hubungan Konsentrasi NO _x dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam.....	163
Gambar 152 Grafik Hubungan Konsentrasi NO _x dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam.....	164
Gambar 153 Isopleth PM ₁₀ 1 jam Titik 2 14 Mei 2023	165
Gambar 154 Isopleth PM ₁₀ 12 jam Titik 2 14 Mei 2023	165
Gambar 155 Grafik Hubungan Konsentrasi PM ₁₀ dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam.....	166
Gambar 156 Grafik Hubungan Konsentrasi PM ₁₀ dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam.....	166
Gambar 157 Isopleth PM ₁₀ 1 jam Titik 2 15 Mei 2023	167
Gambar 158 Isopleth PM ₁₀ 12 jam Titik 2 15 Mei 2023.....	167
Gambar 159 Grafik Hubungan Konsentrasi PM ₁₀ dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam.....	168
Gambar 160 Grafik Hubungan Konsentrasi PM ₁₀ dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam.....	168
Gambar 161 Isopleth CO 1 jam Titik 3 14 Mei 2023	169
Gambar 162 Isopleth CO 12 jam Titik 3 14 Mei 2023	170
Gambar 163 Grafik Hubungan Konsentrasi CO dan Jarak berdasarkan Isopleth	170
Gambar 164 Grafik Hubungan Konsentrasi CO dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam.....	171

Gambar 165 Isopleth CO 1 jam Titik 3 15 Mei 2023	172
Gambar 166 Isopleth CO 12 jam Titik 3 15 Mei 2023	172
Gambar 167 Grafik Hubungan Konsentrasi CO dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam.....	172
Gambar 168 Grafik Hubungan Konsentrasi CO dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam.....	173
Gambar 169 Isopleth NO _x 1 jam Titik 3 14 Mei 2023	174
Gambar 170 Isopleth NO _x 12 jam Titik 3 14 Mei 2023.....	174
Gambar 171 Grafik Hubungan Konsentrasi NO _x dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam.....	175
Gambar 172 Grafik Hubungan Konsentrasi NO _x dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam.....	175
Gambar 173 Isopleth NO _x 1 jam Titik 3 15 Mei 2023	176
Gambar 174 Isopleth NO _x 12 jam Titik 3 15 Mei 2023	177
Gambar 175 Grafik Hubungan Konsentrasi NO _x dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam.....	177
Gambar 176 Grafik Hubungan Konsentrasi NO _x dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam.....	177
Gambar 177 Isopleth PM ₁₀ 1 jam Titik 3 14 Mei 2023	178
Gambar 178 Isopleth PM ₁₀ 12 jam Titik 3 14 Mei 2023	179
Gambar 179 Grafik Hubungan Konsentrasi PM ₁₀ dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam.....	179
Gambar 180 Grafik Hubungan Konsentrasi PM ₁₀ dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam.....	180
Gambar 181 Isopleth PM ₁₀ 1 jam Titik 3 15 Mei 2023	181
Gambar 182 Isopleth PM ₁₀ 12 jam Titik 3 15 Mei 2023.....	181
Gambar 183 Grafik Hubungan Konsentrasi PM ₁₀ dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam.....	182
Gambar 184 Grafik Hubungan Konsentrasi PM ₁₀ dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam.....	182
Gambar 185 Isopleth CO 1 jam Titik 4 14 Mei 2023	183
Gambar 186 Isopleth CO 12 jam Titik 4 14 Mei 2023	183
Gambar 187 Grafik Hubungan Konsentrasi CO dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam.....	184
Gambar 188 Grafik Hubungan Konsentrasi CO dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam.....	184
Gambar 189 Isopleth CO 1 jam Titik 4 15 Mei 2023	185
Gambar 190 Isopleth CO 12 jam Titik 4 15 Mei 2023	185
Gambar 191 Grafik Hubungan Konsentrasi CO dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam.....	186
Gambar 192 Grafik Hubungan Konsentrasi CO dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam.....	186
Gambar 193 Isopleth NO _x 1 jam Titik 4 14 Mei 2023	187
Gambar 194 Isopleth NO _x 12 jam Titik 4 14 Mei 2023	188
Gambar 195 Grafik Hubungan Konsentrasi NO _x dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam.....	188
Gambar 196 Grafik Hubungan Konsentrasi NO _x dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam.....	189

Gambar 197 Isopleth NO _x 1 jam Titik 4 15 Mei 2023	190
Gambar 198 Isopleth NO _x 12 jam Titik 4 15 Mei 2023	190
Gambar 199 Grafik Hubungan Konsentrasi NO _x dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam.....	191
Gambar 200 Grafik Hubungan Konsentrasi NO _x dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam.....	191
Gambar 201 Isopleth PM ₁₀ 1 jam Titik 4 14 Mei 2023	192
Gambar 202 Isopleth PM ₁₀ 12 jam Titik 4 14 Mei 2023	192
Gambar 203 Grafik Hubungan Konsentrasi PM ₁₀ dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam.....	193
Gambar 204 Grafik Hubungan Konsentrasi PM ₁₀ dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam.....	193
Gambar 205 Isopleth PM ₁₀ 1 jam Titik 4 15 Mei 2023	194
Gambar 206 Isopleth PM ₁₀ 12 jam Titik 4 15 Mei 2023	194
Gambar 207 Grafik Hubungan Konsentrasi PM ₁₀ dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam.....	195
Gambar 208 Grafik Hubungan Konsentrasi PM ₁₀ dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam.....	196
Gambar 209 Isopleth CO 1 jam Titik 5 14 Mei 2023	196
Gambar 210 Isopleth CO 12 jam Titik 5 14 Mei 2023	197
Gambar 211 Grafik Hubungan Konsentrasi CO dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam.....	197
Gambar 212.....	198
Gambar 213 Isopleth CO 1 jam Titik 5 15 Mei 2023	199
Gambar 214 Isopleth CO 12 jam Titik 5 15 Mei 2023	199
Gambar 215 Grafik Hubungan Konsentrasi CO dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam.....	200
Gambar 216 Grafik Hubungan Konsentrasi CO dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam.....	200
Gambar 217 Isopleth NO _x 1 jam Titik 5 14 Mei 2023	201
Gambar 218 Isopleth NO _x 12 jam Titik 5 14 Mei 2023	201
Gambar 219 Grafik Hubungan Konsentrasi NO _x dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam.....	202
Gambar 220 Grafik Hubungan Konsentrasi NO _x dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam.....	202
Gambar 221 Isopleth NO _x 1 jam Titik 5 15 Mei 2023	203
Gambar 222 Isopleth NO _x 12 jam Titik 5 15 Mei 2023	203
Gambar 223 Grafik Hubungan Konsentrasi NO _x dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam.....	204
Gambar 224 Grafik Hubungan Konsentrasi NO _x dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam.....	204
Gambar 225 Isopleth PM ₁₀ 1 jam Titik 5 14 Mei 2023	205
Gambar 226 Isopleth PM ₁₀ 12 jam Titik 5 14 Mei 2023	206
Gambar 227 Grafik Hubungan Konsentrasi PM ₁₀ dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam.....	206
Gambar 228 Grafik Hubungan Konsentrasi PM ₁₀ dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam.....	207
Gambar 229 Isopleth PM ₁₀ 1 jam Titik 5 15 Mei 2023	208

Gambar 230 Isopleth PM_{10} 12 jam Titik 5 15 Mei 2023.....	208
Gambar 231 Grafik Hubungan Konsentrasi PM_{10} dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 1 jam.....	209
Gambar 232 Grafik Hubungan Konsentrasi PM_{10} dan Jarak berdasarkan Isopleth Dispersi 12 jam.....	209

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Baku Mutu Udara Ambien.....	10
Tabel 2 Nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang untuk Jalan Perkotaan Terbagi atau Jalur Satu Arah/ Jalan satu Arah.....	12
Tabel 3 Nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang untuk Jalan Perkotaan Tidak Terbagi (Tidak Mempunyai Median Jalan).....	12
Tabel 4 Faktor emisi kendaraan bermotor di Indonesia (Kategori Umum).....	15
Tabel 5 Faktor emisi kendaraan bermotor di Indonesia (Kategori Tambahan)	16
Tabel 6 Kondisi atmosfer dalam berbagai kelas stabilitas	26
Tabel 7 Tetapan untuk mencari nilai dispersi	27
Tabel 8 Lebar dan panjang jalan lokasi penelitian.....	42
Tabel 9 Rekapitulasi kendaraan truk Hari Minggu	76
Tabel 10 Rekapitulasi kendaraan truk Hari Senin.....	77
Tabel 11 Rekapitulasi total VKT Kendaraan Truk	83
Tabel 12 Rekapitulasi total nilai beban emisi CO.....	89
Tabel 13 Rekapitulasi total nilai beban emisi NO _x	94
Tabel 14 Rekapitulasi total nilai beban emisi PM ₁₀	99
Tabel 15 Rekapitulasi Konsentrasi CO 12 jam dengan metode <i>Gaussian Model</i> <i>Line Source</i>	114
Tabel 16 Rekapitulasi Konsentrasi NO _x 12 jam dengan metode Gaussian Model Line Source	126
Tabel 17 Rekapitulasi Konsentrasi PM ₁₀ 12 jam dengan metode <i>Gaussian</i> <i>Model Line Source</i>	139
Tabel 18 Rekapitulasi Hasil AERMOD.....	212
Tabel 19 Konsentrasi CO GMLS dan AERMOD.....	213
Tabel 20 Konsentrasi NO _x GMLS dan AERMOD	213
Tabel 21 Konsentrasi PM ₁₀ GMLS dan AERMOD.....	213
Tabel 22 Rekapitulasi Hasil Uji Normalitas	214
Tabel 23 Rekapitulasi Hasil Uji Independent Sample T-Test.....	215

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
GMLS	<i>Gaussian Model Line Source</i>
AERMOD	<i>America Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model</i>
σ_z	Dispersi vertikal
r	Jari-jari
h	Ketinggian sumber emisi
u	Kecepatan rata-rata angin

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Volume Kendaraan	252
Lampiran 2 Data Meteorologi.....	253
Lampiran 3 Pengolahan Data AERMET <i>View</i>	262
Lampiran 4 Pengolahan Data pada AERMOD	264
Lampiran 5 Hasil Uji Statistik.....	270
Lampiran 6 Dokumentasi Lapangan	272

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat, keberkahan, dan keridhoan yang telah diberikan pada setiap langkah penulis dalam setiap proses pengerjaan Tugas Akhir, tak lupa junjungan dan shalawat serta salam kepada Baginda Rasulullah Nabi Muhammad SAW. Dengan mengucapkan syukur yang tiada hentinya Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Analisis Dispersi Konsentrasi CO, NO_x, dan PM₁₀ dari Kendaraan Truk di Jalan Kabupaten Gowa”** yang menjadi syarat menyelesaikan studi perkuliahan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Hasanuddin.

Setiap proses yang dilalui tak terlepas dari kesulitan atau hambatan, namun selalu ada jalan yang diberikan Allah SWT melalui kekuatan hati dan pikiran untuk berusaha maupun melalui pihak atau orang-orang baik yang telah membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini. Berkat Dosen Pembimbing yang telah membimbing, memberikan arahan, ilmu, dan masukan terhadap Tugas Akhir yang penulis kerjakan serta keluarga tercinta yang selalu memberikan doa dan dukungan kepada penulis dari awal perkuliahan hingga tahap akhir untuk menjemput gelar sarjana sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Pada kesempatan ini penulis dengan tulus ingin berterima kasih kepada pihak yang telah membantu penulis dalam proses penulisan Tugas Akhir hingga selesai, Terima Kasih sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada:

1. Keluarga besar terutama Ibu tercinta Suryati Ohorella dan sosok Bapak Alm. Luaib Saihitua yang selalu memberikan dukungan, doa, dan nasihat kepada penulis dalam suka maupun duka dari kecil hingga saat ini. Kakak tersayang “Abang Echal” sosok kakak penyayang yang selalu memberikan semangat, arahan, motivasi dan bantuan yang tiada henti dalam setiap proses kehidupan penulis dalam keadaan susah dan senang, berkat mereka penulis mampu bertahan melalui segala hambatan dan dapat sampai pada tahap ini. Tak lupa penulis ucapkan terima kasih kepada Bapak Achmad Ohorella, dan seluruh keluarga besar Ohorella yang telah memberikan dukungan kepada penulis selama penulis berada di bangku perkuliahan.

2. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., IPM., ASEAN.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T., IPM. selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin.
5. Ibu Prof. Dr. Ir. Hj. Sumarni Hamid Aly, M.T., IPU. selaku Dosen Pembimbing I yang telah mengarahkan dan membimbing penulis dalam proses penyusunan Tugas Akhir hingga selesai.
6. Ibu Nurul Masyiah Rani Harusi, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu untuk selalu membimbing dan mengarahkan penulis serta memberikan nasihat dan motivasi dalam setiap proses pengerjaan Tugas Akhir hingga bisa diselesaikan dengan baik.
7. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu dan arahan yang sangat bermanfaat selama penulis menempuh Pendidikan sebagai Mahasiswa Teknik Lingkungan.
8. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan yang telah diberikan selama penulis menjadi mahasiswa terutama kepada Ibu Sumiati, Ibu Utami, dan Pak Olan yang selalu membantu penulis dalam pengurusan administrasi di Departemen Teknik Lingkungan.
9. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Wilayah IV dan BMKG Paotere Makassar yang telah membantu penulis dalam proses pengambilan data meteorologi dan menjawab pertanyaan terkait data-data tersebut.
10. Fuad Haikal Latuconsina, orang baik yang selalu tanpa bosan menjadi pendengar dan tempat berkeluh kesah, yang selalu menemani penulis melalui segala proses dalam suka dan duka, memberikan apresiasi, semangat dan dukungan atas apa yang dikerjakan penulis, selalu membantu dalam setiap kesulitan yang dihadapi penulis, serta selalu membantu penulis

mencari jalan keluar atas segala masalah yang penulis hadapi. Dengan tulus penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

11. Kakak Manawiyah Tamamala yang menemani penulis di rantau orang, sosok kakak yang selalu menasihati, membantu, dan menghibur penulis. Terima kasih atas segala bantuan selama penulis jauh dari keluarga.
12. Kakak Widya Ponulele yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan kepada penulis dalam setiap proses pengerjaan skripsi dan selalu mengerti apa yang penulis hadapi.
13. Sahabat-sahabatku “TB” dengan tulus penulis ucapkan terima kasih kepada Noviyanti Pasolang, Anisa Safitri, Dhea Aprilianti, Asnul Fauzia, Mujahidah Izzatul Jannah, Annisa Cening Salsabila, Andi Raihana Afiyah, dan Nurul Azmi, atas dukungan, semangat, dan bantuan yang selalu diberikan kepada penulis. Yang selalu menemani hari-hari penulis di rantauan dalam suka dan duka, hingga membantu penelitian Tugas Akhir di lapangan, yang menciptakan candaan, cerita-cerita lucu dan gila, kawan-kawan ambis yang selalu memiliki prinsip lurus kedepan, yang selalu mengingatkan kebaikan dan memotivasi satu sama lain. Terima kasih TB telah menjadi keluarga baru saat penulis jauh dari keluarga.
14. “*Bestie*” Isma Ainun, Vina Rizky, Nadifa Ikramina, sahabat-sahabat yang selalu menjadi pendengar, menghibur, memberikan semangat dan dukungan kepada penulis dari SMA hingga penulis berada di bangku perkuliahan.
15. Dhea Izumi Zalsabila, Nur Afni Sahid, Andi Chusnul Khatimah, Inzar Abdillah yang telah menjadi kawan seperjuangan Tugas Akhir penulis, yang membantu proses penelitian Tugas Akhir serta memberikan dukungan, dan menjadi tempat berkeluh kesah dalam proses pengerjaan Tugas Akhir penulis.
16. Muhammad Rifqi, Didik Apri Yadi, Alif Athalah, Nurnisa, Arya Afrial, dan Bintang, yang sudah membantu penulis menjalankan penelitian di lapangan, yang selalu menghibur penulis dikala penulis sedang capek dan panas-panasan di lapangan. Tak lupa Rina, Ima, Arfi, Hajar, Agis, Fauzan, Jihan,

Ismul, Ilham, dan marko yang sudah dengan semangat membantu penulis dalam mengerjakan kegiatan lapangan.

17. Kak Annisa, Kak Adinda, Kak Afifah, dan Kak Savirah yang senantiasa menjawab banyak pertanyaan serta membantu penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir khususnya terkait AERMOD.
18. “ICIJ” Helda Mustafa, Puput Said, Ija Makatita, Uni Ripamole, dan Salsa Assagaff, yang selalu memberikan semangat dan dukungan kepada penulis sejak SMP hingga saat ini.
19. Teman-teman POSKO KAPAL PECAH Diah, Diva, Wanda, Icel, Ridho, Fachri, Adi, dan Kak Irvan yang telah mewarnai masa-masa KKN dan mengukir cerita baru selama masa perkuliahan.
20. Rahma Khusnia, yang sudah menjadi adik sekaligus sahabat melalui IMTLI dan selalu memberi penulis semangat dan dukungan.
21. Firman, Thalia, Enjel, Fadil, Hani, Riri, Uti, Widiya, Ai, Winner, Atika, Kevina, Danti bar, Nuzul, Cima, Prisil, Risma, lala dan teman-teman lain yang tidak bisa penulis sebut satu per satu, terima kasih atas cerita, pengalaman saat kerja kelompok atau bantuan lainnya yang diberikan kepada penulis selama masa perkuliahan.
22. Teman-teman Lab. Riset Kualitas Udara dan Bising 2019 dengan fokus yang sama dan semangat yang diberikan kepada penulis.
23. Seluruh teman-teman Lingkungan E, Avatar 59/59 Teknik Lingkungan Angkatan 2019 dan PORTLAND 2020 yang telah memberikan bantuan, semangat, dan cerita baru bagi penulis di masa perkuliahan sejak menjadi Mahasiswa Baru hingga pengerjaan Tugas Akhir ini.
24. Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Seluruh teman-teman BPH Kadep dan staff Pengmas PB IMTLI kabinet Integrasi dan Intensif, BoD dan Staff SRE Unhas 2021/2022, serta teman-teman HiRE yang telah menjadi tempat belajar, berbagi ilmu, cerita, dan pengalaman serta menjadi tempat bagi penulis untuk berkembang lagi.

25. Seluruh rekan, sahabat, saudara, dan pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, penulis dengan tulus ucapkan terima kasih atas bantuan dan doa yang diberikan hingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Semoga kebaikan semua pihak yang turut membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dapat dibalas dengan keberkahan dan pahala dari Allah SWT. Penulis sadari Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna sehingga sangat diperlukan kritik dan saran yang membangun agar kedepannya bisa memperbaiki penelitian selanjutnya. Akhir kata semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua orang. Aamiin.

Gowa, 28 Agustus 2023

Penulis,

Danti Fitriani Ohorella

D131191023

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk di Indonesia semakin meningkat dari waktu ke waktu, kebutuhan serta aktivitas manusia semakin beragam dan bertambah menyebabkan meningkatnya kegiatan di berbagai sektor salah satunya sektor transportasi. Transportasi menjadi salah satu kebutuhan manusia yang paling krusial dikarenakan dapat memudahkan perjalanan masyarakat untuk bepergian ke suatu tempat. Perkembangan transportasi pun menjadi semakin beragam sesuai fungsinya, mulai dari pesawat udara, kereta, kendaraan bermotor hingga bus. Tak hanya untuk memudahkan perjalanan, transportasi juga memudahkan pengangkutan barang dari suatu daerah ke daerah yang lain. Menurut Sadya, (2023) Institut Polri mencatat jumlah kendaraan bermotor di Indonesia mencapai 152,51 juta unit pada tahun 2022.

Perkembangan moda transportasi dan tingginya angka penggunaan kendaraan di Indonesia tentu saja memiliki dampak terutama bagi lingkungan. Kendaraan yang melintas di jalan akan menghasilkan emisi gas buang dan menjadi salah satu sumber utama polusi udara. Terhitung sekitar 70% dari seluruh polusi udara di lingkungan berasal dari sektor transportasi. Selama ini kualitas udara yang dihirup masyarakat semakin menurun dan masyarakat tidak menyadari bahwa banyak dampak yang timbul akibat sektor transportasi seperti dampak kesehatan dan dampak yang dapat merugikan lingkungan. Hampir semua bahan bakar untuk transportasi berasal dari minyak bumi yang merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui, hal ini yang menyebabkan polusi udara yang sangat mempengaruhi kesehatan. Jumlah bahan bakar yang digunakan saat ini juga mengalami penurunan akibat permintaan bahan bakar yang begitu tinggi setiap tahunnya (Arwini, 2019).

Salah satu jenis kendaraan bermotor yang sering digunakan masyarakat untuk mengangkut barang adalah kendaraan truk, truk dapat memuat banyak barang sesuai dengan jenisnya. Banyak daerah yang menggunakan truk untuk mengangkut barang seperti hasil panen, hasil tambang, hingga makanan olahan. Jumlah truk yang sering melewati jalan antar Kota dan Kabupaten cukup tinggi sehingga dapat mempengaruhi kualitas udara di sekitar jalan yang dilewati truk.

Kabupaten Gowa adalah salah satu Kabupaten yang terletak di Sulawesi Selatan dengan jumlah penduduk 296.741 jiwa. Kabupaten Gowa berbatasan langsung dengan Kota Makassar, Kabupaten Maros, Kabupaten Takalar, dan Kabupaten Jeneponto. Terdapat berbagai aktivitas pertanian dan pertambangan khususnya tambang pasir di Kabupaten Gowa yang selalu diangkut menggunakan truk, menurut data dari Badan Pusat Statistik tahun (BPS) tahun 2022 persentase kendaraan truk (truk) pada tahun 2021 yang melintas di Kabupaten Gowa sebesar 25,95% yang menunjukkan angka tertinggi kedua setelah sepeda motor. Hal ini menunjukkan bahwa angka penggunaan kendaraan truk di Kabupaten Gowa cukup tinggi setelah sepeda motor (BPS, 2022). Akibat dari tingginya jumlah kendaraan truk maka dapat menimbulkan terjadinya pencemaran udara di sekitar lingkungan jalan raya akibat emisi yang dihasilkan oleh kendaraan truk.

Menurut (Machmud, 2021) emisi yang berasal dari kendaraan bermotor yaitu Karbon monoksida (CO), Nitrogen Oksida (NO_x), Hidrokarbon (HC), dan Karbondioksida (CO₂). Menurut (Nurhalifa et al., 2022) *Particulate Matter* (PM₁₀) juga merupakan salah satu polutan yang berasal dari kendaraan bermotor. Polutan-polutan tersebut yang berasal dari kendaraan bermotor dapat membahayakan kesehatan masyarakat apabila terhirup oleh sistem pernapasan dalam waktu yang lama. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Dewanto dkk, (2021) menunjukkan pada komposit emisi kendaraan truk menghasilkan nilai faktor emisi CO, NO_x, dan PM₁₀ yang tinggi, sehingga dapat mempengaruhi kualitas udara ambien (Dewanto dkk, 2021). Selain itu dampak yang ditimbulkan dari CO, NO_x, PM₁₀ pun berbahaya bagi kesehatan. Menurut penelitian dari Downs & Bureau dalam Paparan Gas Nitrogen Dioksida (NO₂) dan Karbon monoksida (CO) di Trotoar Jalan Kota Surabaya menyebutkan CO dapat menyebabkan kematian mendadak pada

konsentrasi yang tinggi karena sifatnya yang tidak berwarna dan tidak berbau. Sedangkan NO_x dapat mengganggu saluran pernapasan (Iqbal, 2022). Partikulat seperti PM_{10} menjadi polutan yang paling berbahaya disusul NO_x menurut Ratnani, (2008) sedangkan untuk PM_{10} dapat menyebabkan gangguan saluran pernapasan hingga penyakit jantung menurut Iqbal, (2022).

Kualitas udara di lingkungan sekitar harus dilakukan pemantauan secara terus menerus atau intensif. Tetapi pemantauan kualitas udara membutuhkan biaya yang tinggi, waktu dan tenaga serta teknologi yang handal sehingga dibutuhkan alternatif yang dapat digunakan untuk melakukan pemantauan kualitas udara yang efektif dan representatif. Salah satu alternatif yang dapat diterapkan untuk mengetahui kualitas udara serta konsentrasi polutan di udara yaitu dengan menggunakan pemodelan kualitas udara, salah satunya dengan menggunakan model dispersi Gauss yang dapat memprediksi pencemaran udara pada sumber emisi dari suatu sumber pencemar (Dewi dkk, 2018). Menurut Rahmawati (2003) dalam Dewi dkk, (2018) Model Gauss dapat dipakai untuk mengestimasi dispersi polutan yang berasal dari suatu sumber pencemar dengan memperhitungkan faktor meteorologi, topografi, dan bangunan. Menurut (Ardhi Rahmadhani, 2017) analisis dispersi polutan penting dilakukan karena dapat diketahui daerah yang terkena dampak polutan yang tinggi serta dapat melakukan upaya estimasi dampak pencemaran udara yang mungkin terjadi.

Berdasarkan permasalahan yang dijelaskan sebelumnya maka perlunya analisis Dispersi terkait emisi CO, NO_x dan PM_{10} yang dihasilkan oleh kendaraan truk. Analisis dispersi emisi dapat dilakukan dengan pemodelan. Pemodelan yang dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi emisi yaitu model *Gaussian Line Source*. Menurut (Fermi et al., 2022) Model ini adalah salah satu model matematika dengan prinsip Dispersi *Gaussian* yang sering digunakan untuk memprediksi konsentrasi emisi di udara ambien, model ini juga dianggap memiliki akurasi yang tinggi dibandingkan dengan model lainnya.

Selain model *Gaussian Line Source*, model yang dapat digunakan yaitu *American Meteorological Society-Environmental Protection Agency Regulatory Model* (AERMOD). AERMOD dapat digunakan untuk memodelkan dispersi atau

persebaran emisi di suatu wilayah. Model ini menggunakan prinsip *Gaussian* untuk menghasilkan konsentrasi polutan di udara ambien dalam periode harian, bulanan, maupun tahunan. Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui prediksi emisi CO, NO_x dan PM₁₀ yang berasal dari kendaraan truk serta mengetahui sebarannya pada jalan di Kabupaten Gowa khususnya pada Jalan Malino dan Jalan K. H. Wahid Hasyim, dengan menggunakan model *Gaussian Line Source* dan AERMOD.

1.2 Rumusan Masalah

- 1) Berapa beban emisi parameter CO, NO_x, dan PM₁₀ dari kendaraan truk pada Jalan di Kabupaten Gowa?
- 2) Bagaimana dispersi konsentrasi CO, NO_x, dan PM₁₀ dari kendaraan truk pada Jalan di Kabupaten Gowa?

1.3 Tujuan Penelitian

- 1) Menghitung beban emisi parameter CO, NO_x, dan PM₁₀ dari kendaraan truk pada Jalan di Kabupaten Gowa.
- 2) Menganalisis dispersi konsentrasi CO, NO_x, dan PM₁₀ dari kendaraan truk pada Jalan di Kabupaten Gowa.

1.4 Manfaat Penelitian

- 1) Manfaat untuk penulis yaitu sebagai syarat kelulusan mahasiswa Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin dan untuk meningkatkan kemampuan melalui penelitian di bidang kualitas udara.
- 2) Manfaat untuk Universitas Hasanuddin yaitu untuk menambah referensi penelitian dan sumber ilmu bagi generasi selanjutnya khususnya di Departemen Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin.
- 3) Manfaat untuk instansi pemerintah yaitu sebagai inventarisasi emisi Kabupaten Gowa khususnya dari kendaraan truk yang dapat digunakan sebagai landasan pembuatan kebijakan publik terkait kualitas dan pencemaran udara.

- 4) Manfaat untuk masyarakat yaitu sebagai sumber pengetahuan terkait jumlah emisi CO, NO_x, dan PM₁₀ di sekitar jalan di Kabupaten Gowa akibat kendaraan truk yang sering melintas.

1.5 Ruang Lingkup

- 1) Parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu CO, NO_x, dan PM₁₀.
- 2) Sumber polutan adalah kendaraan truk.
- 3) Penelitian ini dilakukan pada Jalan Poros Malino dan Jalan K. H. Wahid Hasyim Kabupaten Gowa.
- 4) Pengambilan data dilakukan selama 2 hari yaitu hari senin untuk mewakili hari kerja dan hari minggu mewakili hari libur dan dilakukan pada pukul 06.00-18.00 WITA.
- 5) Analisis beban emisi dari kendaraan truk menggunakan metode Tier 2 dan analisis dispersi menggunakan model matematis *Gaussian Line Source* dan AERMOD.
- 6) Nilai beban emisi yang dianalisis merupakan akumulasi dari total volume kendaraan truk yang melintas pada setiap titik lokasi.
- 7) Jarak maksimum dispersi yang dianalisis yaitu sampai 1 km.
- 8) Analisis dispersi yang dilakukan berdasarkan estimasi dari waktu pengukuran 12 jam.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Udara Ambien

Udara merupakan campuran yang terdiri dari beberapa gas yang memiliki perbandingan tidak permanen. Hal ini disebabkan oleh keadaan suhu udara, tekanan udara, dan lingkungan sekitarnya. Pada udara di sekitar terdapat oksigen (O_2) yang digunakan makhluk hidup untuk bernafas, karbondioksida (CO_2) untuk fotosintesis bagi tumbuhan serta Ozon (O_3) buat menunda sinar ultraviolet Fahrisa, T.R. (2017). Komposisi dari masing-masing unsur yang terdapat dalam udara baik yang bersih maupun yang kering yaitu terdiri atas Nitrogen 78,09%, Oksigen 21,94%, Argone 0,93%, Karbondioksida 0,032% dan gas-gas mulia lainnya yaitu Nitrogen oksida, Hydrogen, Metana, Belerang oksida, Amonia, dan lain-lain

Udara ambien merupakan udara bebas yang terletak pada bagian atas bumi terkhusus pada lapisan atmosfer yang berada di dalam daerah yuridiksi Republik Indonesia yang diharapkan serta dapat mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup, dan unsur lingkungan hidup lainnya di sekitar (Fahrisa, T.R, 2017).

2.2 Pencemaran Udara

Menurut Hidayat, (2017) pencemaran udara ialah syarat atmosfer ketika suatu zat pencemar yang konsentrasinya melebihi batas konsentrasi udara ambien yang telah diatur di peraturan. Pencemaran juga diartikan sebagai hadirnya satu atau beberapa kontaminan pada udara atmosfer yang mirip dengan debu, busa, gas, kabut, bau-bauan, asap atau uap pada jumlah yang banyak dengan beberapa sifat pada waktu tertentu sehingga menyebabkan adanya gangguan terhadap keberlangsungan makhluk hidup (Fahrisa, T.R, 2017). Udara ambien yang tidak normal dapat menimbulkan gangguan kesehatan pada manusia, hewan, dan tumbuhan, serta material lainnya. Zat pencemar udara dapat berasal dari berbagai kegiatan manusia atau secara alami yang berasal dari alam. Pencemar udara dibagi menjadi dua, yaitu pencemar

Indikatif dan spesifik. Pencemaran indikatif ialah zat pencemar yang dikategorikan sebagai indikator pencemaran udara secara umum yang terdiri dari:

- a. Karbon monoksida (CO)
- b. Debu (*Particulate Matter*)
- c. Total Hidrokarbon (THC)
- d. Oksida nitrogen (NO₂)
- e. Sulfur oksida (SO₂)
- f. Oksida fotokimia (Ozon)

Selain pencemaran indikatif terdapat juga pencemaran spesifik yang langsung diemisikan dari sumbernya antara lain:

- a. Gas klor
- b. Ammonia
- c. Hidrogen sulfida
- d. Merkaptan
- e. Formaldehida

Menurut peraturan Menteri Lingkungan Hidup 12 Tahun 2010 tentang Pengawasan Polusi udara regional, termasuk sumber polusi adalah perusahaan dan/atau kegiatan yang menghasilkan bahan polusi udara yang menyebabkan udara tidak bisa bekerja sebagaimana mestinya. Menurut (Fahriza, T.R, 2017) sumber polusi udara tersebar dalam beberapa kategori antara lain:

- 1) Berdasarkan sumbernya:
 - a. Sumber Alami: Sumber pencemaran berasal dari aktivitas alam, seperti emisi vulkanik (di daerah pegunungan) dan daerah pesisir dengan banyak rawa dan hutan bakau yang dapat menghasilkan gas metana dalam jumlah besar.
 - b. Sumber Antropogenik: Sumber pencemaran yang berasal dari kegiatan manusia seperti transportasi dan kegiatan industri.
- 2) Berdasarkan Pencemarnya:

- a. Pencemar Spesifik: Polutan dari sumber tertentu pada suatu lokasi. Misalnya: debu atau partikel dari industri semen dan amoniak dari industri pupuk.
 - b. Pencemar Indikatif: Pencemar yang dapat ditemukan hamper dimana-mana seperti CO, Nitrogen, dan *Total Suspended Particulate* (TSP).
- 3) Berdasarkan keadaan sumber pencemarnya:
- a. Sumber Tetap (*Stationary*): Sumber polutan yang tidak berpindah tempat seperti pembangkit listrik, pemukiman warga, dan industri.
 - b. Sumber Bergerak (*Mobile*): Sumber polutan yang berpindah dari suatu tempat ke tempat lainnya seperti transportasi (kereta api, pesawat, kapal, dan kendaraan bermotor).
- 4) Berdasarkan distribusi ruangnya:
- a. Sumber titik (*Point Sources*): Sumber pencemar yang berada di satu tempat tertentu seperti industri.
 - b. Sumber garis (*Line Sources*): Sumber pencemar yang berpindah tempat pada jarak tertentu seperti kendaraan bermotor.
 - c. Sumber area (*Area Sources*): Sumber pencemar yang berada pada area tertentu yang terdiri dari beberapa sumber titik maupun sumber garis.
- 5) Berdasarkan pembentukan pencemarnya:
- a. Pencemar primer: polutan udara yang komposisinya tidak berubah secara kimiawi atau fisik di atmosfer selama periode waktu tertentu. Contoh: CO, CO₂ dan CH₄.
 - b. Pencemar sekunder: polutan yang dihasilkan di atmosfer sebagai akibat dari reaksi atmosfer. Contoh: hidrolisis, reaksi fotokimia dan oksidasi.

2.3 Dampak Pencemaran Udara

Menurut Rahmadhani, (2017) Pencemaran udara dapat merugikan lingkungan, termasuk pengaruh fisik terhadap atmosfer, ekonomi, vegetasi,

flora dan fauna, dan mengganggu kesehatan manusia dan estetika lingkungan. Dampak pada berbagai aspek adalah sebagai berikut:

- 1) Dampak terhadap kondisi atmosfer:
 - a. Menimbulkan hujan asam
 - b. Terjadinya pemanasan global
 - c. Mengganggu struktur awan
- 2) Dampak pada sektor ekonomi:
 - a. Biaya pemeliharaan material dan infrastruktur yang tinggi
 - b. Biaya pengobatan dan pemeliharaan kesehatan akibat pencemaran udara yang tinggi
- 3) Dampak terhadap flora dan fauna:
 - a. Mengganggu sistem pertumbuhan tanaman
 - b. Mempengaruhi kondisi fisiologi tumbuhan
 - c. Terjadinya penumpukan bahan pencemar pada tumbuhan tertentu
 - d. Terjadinya penumpukan bahan pencemar pada organ tubuh hewan
- 4) Dampak terhadap manusia:
 - a. Menyebabkan iritasi pada kulit maupun area sensorik
 - b. Gangguan fungsi tubuh
 - c. Gangguan pernapasan dan penyakit paru lainnya
 - d. Penumpukan bahan beracun pada tubuh
- 5) Dampak terhadap estetika:
 - a. Adanya bau yang ditimbulkan
 - b. Perubahan warna pada bahan-bahan tertentu akibat debu yang dihasilkan

2.4 Baku Mutu Udara Ambien

Kualitas udara biasanya dinilai dari konsentrasi parameter polusi udara yang diukur di atas atau di bawah nilai standar kualitas udara nasional. Baku mutu kualitas udara adalah ukuran batas atau tingkat pencemaran udara yang dapat ditoleransi di udara luar. Baku mutu udara yang ditambahkan dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 ditetapkan sebagai baku mutu udara untuk pencegahan pencemaran udara (Kurniawan, 2018).

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Baku Mutu Udara Ambien adalah nilai pencemar udara yang ditenggang keberadaannya dalam udara ambien. Berikut tabel Baku Mutu Udara Ambien:

Udara yang melebihi baku mutu dapat merusak lingkungan sekitar dan mengganggu kesehatan masyarakat sekitar. Pemberian baku mutu ini berarti udara yang mengandung unsur-unsur yang melebihi baku mutu disebut tercemar (*more polluted*). Kualitas udara diharapkan dapat terjaga agar konsentrasi berbagai polutan tidak melebihi batas sehingga tidak menimbulkan gangguan kesehatan bagi manusia, hewan, tumbuhan atau harta benda lainnya (Sahnaz Reskita, 2020).

Tabel 1 Baku Mutu Udara Ambien

No	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu	Sistem Pengukuran
1.	Sulfur Dioksida (SO ₂)	1 jam	150 µg/m ³	Aktif kontinu
		24 jam	75 µg/m ³	Aktif manual
		1 tahun	45 µg/m ³	Aktif kontinu
2.	Karbon Monoksida (CO)	1 jam	10000 µg/m ³	Aktif kontinu
		8 jam	4000 µg/m ³	Aktif kontinu
3.	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	1 jam	200 µg/m ³	Aktif kontinu
		24 jam	65 µg/m ³	Aktif manual
		1 tahun	50 µg/m ³	Aktif kontinu
4.	Oksidan Fotokimia (O _x) sebagai Ozon (O ₃)	1 jam	150 µg/m ³	Aktif kontinu
		8 jam	100 µg/m ³	Aktif manual [#]
		1 tahun	35 µg/m ³	Aktif kontinu ^{##}
5.	Hidrokarbon Non Metana (NMHC)	3 jam	160 µg/m ³	Aktif kontinu ^{###}
		Partikulat debu < 100 µm (TSP)	24 jam	230 µg/m ³
6.	Partikulat debu < 10 µm (PM ₁₀)	24 jam	75 µg/m ³	Aktif manual
		1 tahun	40 µg/m ³	Aktif kontinu
		Partikulat debu < 2,5 µm (PM _{2,5})	24 jam	55 µg/m ³
7.	Timbal (Pb)	1 tahun	15 µg/m ³	Aktif manual
		24 jam	2 µg/m ³	Aktif kontinu

Sumber: Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021

Keterangan (PP No 22, 2021):

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ = konsentrasi dalam mikrogram per meter kubik, pada kondisi atmosfer normal, yaitu tekanan (P) 1 atm dan temperature (T) 25°C.

konsentrasi hasil pengukuran yang dilakukan setiap 30 menit (dalam 1 jam dilakukan 2 kali pengukuran) dan dilakukan diantara pukul 11.00-14.00 waktu setempat.

Konsentrasi yang dilaporkan untuk waktu pengukuran selama 8 jam adalah konsentrasi hasil pengukuran yang dilakukan diantara pukul 06.00-18.00 waktu setempat.

Konsentrasi yang dilaporkan untuk waktu pengukuran selama 3 jam adalah konsentrasi hasil pengukuran yang dilakukan diantara pukul 06.00-10.00 waktu setempat.

2.5 Jenis Kendaraan Bermotor

Kendaraan bermotor dapat dibedakan menjadi beberapa tipe sesuai dengan jenis dan spesifikasinya. Kendaraan bermotor terbagi menjadi sepeda motor (*Motor Cycle*), kendaraan ringan (*Light Vehicle*), dan kendaraan berat (*Heavy Vehicle*). Berikut penjabaran klasifikasi kendaraan bermotor menurut MKJI (1997) dalam Wirawan, S.A, (2017).

- 1) Sepeda Motor MC (*Motorcycle*): Yang diklasifikasikan sebagai sepeda motor yaitu kendaraan bermotor dengan dua atau tiga roda sesuai sistem klasifikasi yang dikeluarkan oleh Bina Marga.
- 2) Kendaraan Ringan LV (*Light Vehicle*): Yang diklasifikasikan sebagai kendaraan ringan yaitu kendaraan bermotor yang memiliki empat roda yang dilengkapi dengan dua gandar yang memiliki jarak 2 m – 3 m. Contoh kendaraan ringan yaitu angkutan umum (angkot), mikro bus, kendaraan penumpang, opelet, pick-up, dan lain-lain.
- 3) Kendaraan berat HV (*Heavy Vehicle*): Yang diklasifikasikan sebagai kendaraan berat yaitu kendaraan bermotor yang memiliki jarak as lebih dari 3,5 m dan memiliki roda lebih dari empat seperti bus, truk dua as, truk tiga as dan truk kombinasi yang sesuai dengan klasifikasi dari Bina Marga.

Untuk melakukan analisis besaran emisi yang dikeluarkan oleh kendaraan salah satunya yaitu dengan menggunakan data volume kendaraan. Data volume kendaraan akan dihitung berdasarkan klasifikasinya sehingga dalam proses analisis volume kendaraan harus dikalikan dengan koefisien satuan mobil penumpang (smp). Ekuivalensi mobil penumpang dibedakan berdasarkan tipe jalan, tipe jalan tersebut terdiri atas karakteristik jalan seperti banyaknya lajur, jalur dan median jalan. Berikut tabel Ekuivalensi Mobil Penumpang untuk Jalan Perkotaan Tidak Terbagi:

Tabel 2 Nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang untuk Jalan Perkotaan Terbagi atau Jalur Satu Arah/ Jalan satu Arah

Tipe Jalan	Arus lalu lintas per jalur (kend/jam)	Sepeda Motor (MC)	emp	
			Kendaraan ringan (LV)	Kendaraan Berat (HV)
Dua-lajur satu arah (2/1) dan Empat-lajur terbagi (4/2) D	0	0,40	1,0	1,3
Tiga-lajur satu-arah (3/1) dan Enam-lajur terbagi (6/2) D	≥ 1050	0,25	1,0	1,2
	0	0,40	1,0	1,3
	≥ 1100	0,25	1,0	1,2

Sumber: MKJI, (1997)

Tabel 3 Nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang untuk Jalan Perkotaan Tidak Terbagi (Tidak Mempunyai Median Jalan)

Tipe Jalan	Arus lalu lintas per jalur (kend/jam)	Kendaraan Berat (HV)	Kendaraan ringan (LV)	emp	
				Sepeda Motor (MC) Lebar Jalur Lalu Lintas	
				$\leq 6m$	$> 6m$
Dua-lajur tak terbagi (2/2) UD	0	1,3	1,0	0,5	0,4
	≥ 1800	1,2	1,0	0,35	0,25
Empat lajur tak terbagi (4/2) UD	0	1,3	1,0	0,4	
	≥ 1800	1,2	1,0	0,25	

Sumber: MKJI (1997)

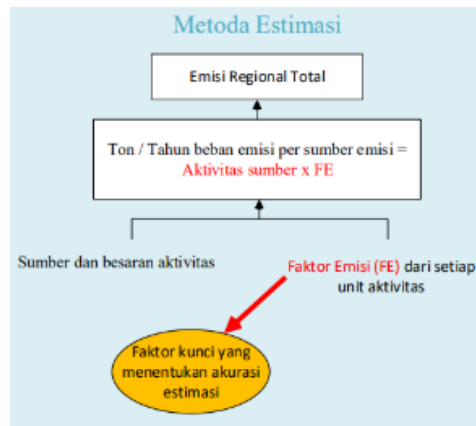
2.6 Emisi Kendaraan Bermotor

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010, Emisi adalah zat, energi dan/atau komponen lain yang dihasilkan oleh kegiatan manusia yang masuk ke udara ambien dan yang dapat atau tidak dapat mencemarkan lingkungan. Menurut Sianturi (2004) dalam Pradana N.A, (2018) sektor transportasi menghasilkan lebih dari 70% emisi ke udara ambien yang terdiri atas karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), karbon dioksida (CO₂), nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂) dan partikulat (PM₁₀).

Emisi dari kendaraan seperti bensin maupun solar, mengandung gas yang tidak terlalu berbeda satu sama lain, dengan komposisi kedua jenis gas tersebut tergantung pada kondisi berkendara, jenis mesin, alat pengatur emisi bahan bakar, suhu pengoperasian dan faktor lain yang dapat mengubah pola emisi. Berikut merupakan 3 jenis emisi yang berasal dari kendaraan bermotor (Pradana N.A, 2018).

- 1) *Hot Emission*: adalah emisi yang berasal dari kendaraan bermotor yang beroperasi saat kondisi kendaraan normal yaitu pada saat kendaraan berjalan.
- 2) *Start Emission*: adalah emisi yang berasal dari kendaraan yang mulai berjalan.
- 3) *Evaporation Emission*: emisi yang berasal dari kendaraan yang sedang mengisi bahan bakar, emisi ini juga dihasilkan pada saat peningkatan suhu harian.

Emisi kendaraan bermotor dipengaruhi oleh arus lalu lintas, panjang jalan dan faktor emisi. Untuk mengestimasi kendaraan bermotor dapat mengasumsikan bahwa semua fungsi kendaraan bermotor adalah sama terlepas dari variasi lalu lintas dan pola mengemudi (Pradana N.A, 2018). Untuk menentukan laju emisi digunakan data volume gas buang (Q). Hasil emisi yang telah diestimasi dinyatakan dalam massa zat/tahun berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup nomor 12 Tahun 2010.



Gambar 1 Metode Estimasi Emisi

Gambar tersebut menjelaskan bahwa untuk mengetahui emisi total, unit sumber emisi dan jumlah aktivitas dari unit sumber tersebut dikalikan dengan faktor emisi aktivitas dari masing-masing unit sumber yang telah ditentukan sebelumnya. Sehingga akan menghasilkan produksi emisi untuk setiap sumber emisi yang bergantung pada tipe kendaraan, yang dibagi berdasarkan jenis kendaraan di lalu lintas. Hasil dari setiap produksi emisi dari setiap jenis kendaraan dijumlahkan dan ditentukan total produksi emisi gas polutannya. Menurut Pradana N.A, (2018) produksi emisi yang dihasilkan kendaraan bermotor dipengaruhi oleh:

- 1) Arus kendaraan bermotor
- 2) Karakteristik kendaraan bermotor berdasarkan tipe dan jenis bahan bakar yang digunakan kendaraan bermotor
- 3) Kondisi jalan dan kondisi lalu lintas seperti misalnya lebar jalan, jalan yang sempit akan menyumbang emisi yang besar dibandingkan jalan yang lebih lebar hal ini berhubungan dengan kapasitas jalan. Jalan yang sempit akan menghasilkan kecepatan kendaraan yang lebih rendah sehingga emisi akan lebih meningkat.

Metode yang digunakan untuk estimasi emisi dapat dibedakan menjadi beberapa tingkat sesuai kompleksitasnya. Tingkat kompleksitas estimasi emisi disebut Tier. Tier terbagi menjadi Tier 1, Tier 2, dan Tier 3. Angka Tier ini menunjukkan tingkatan kompleksitas dari perhitungan estimasi emisi dimana semakin tinggi angka Tier maka semakin kompleks metode perhitungan yang

digunakan dan data yang dibutuhkan lebih spesifik sehingga semakin akurat hasil estimasi emisinya (KLH, 2013).

Tier 1 adalah metode estimasi emisi yang paling sederhana dimana metode Tier ini melibatkan data statistik misalnya jumlah bahan bakar dalam satuan volume/waktu. Metode Tier 1 ini dihitung berdasarkan jumlah konsumsi bahan bakar dengan menggunakan persamaan (1) (MA S.N., 2022).

$$Emission = \sum a [Fuel a \times EF a] \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

Emission = Beban emisi (kg)

Fuel a = Konsumsi bahan bakar jenis a (JT)

EF a = Faktor emisi (kg/TJ)

a = Jenis bahan bakar

Tier 2 adalah metode penentuan atau estimasi beban emisi dengan menggunakan perjalanan rerata kendaraan atau yang sering disebut *Vehicle Kilometer Traveled* (VKT), VKT kemudian akan dikalikan dengan faktor emisi sesuai tipe kendaraan. Faktor emisi menurut Cooper dan Alley (1994) merupakan laju rata-rata emisi yang berasal dari suatu aktivitas atau kegiatan. Faktor emisi pada Tier 2 menggunakan faktor emisi pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 tentang Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah. Berikut merupakan nilai faktor emisi untuk setiap tipe kendaraan dan parameter emisi atau jenis polutannya (MA S.N., 2022).

Tabel 4 Faktor emisi kendaraan bermotor di Indonesia (Kategori Umum)

Kategori	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 Penumpang (Bensin)	40	4	2	0,001	3180	0,026

Kategori	CO (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)	PM ₁₀ (g/km)	CO ₂ (g/kg BBM)	SO ₂ (g/km)
Mobil Penumpang (Solar)	2,8	0,2	3,5	0,53	3172	0,44
Mobil Penumpang Bis	32,4	3,2	2,3	0,12	3178	0,11
Truk	11	1,3	11,9	1,4	3172	0,93
	8,4	1,8	17,7	1,4	3172	0,82

Sumber: KLH (2013)

Tabel 5 Faktor emisi kendaraan bermotor di Indonesia (Kategori Tambahan)

Kategori	CO (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)	PM ₁₀ (g/km)	CO ₂ (g/km BBM)	SO ₂ (g/km)
Angkutan Kota (Minibus)	43,1	5,08	2,1	0,006	3180	0,029
Taksi Roda 3 (Bajaj)	55,3	5,6	2,8	0,008	3180	0,025
Pick up	70,7	33,8	0,25	1,2	3180	0,13
Bis	31,8	3,5	2	0,026	3178	0,11
Jeep	11	1,3	11,9	1,4	3172	0,93
Van/minibus	36,7	3,86	2,36	0,039	3178	0,145
Sedan	24	2,9	1,55	0,029	3178	0,14
	33,8	3,71	1,9	0,004	3180	0,023

Sumber: KLH (2013)

Estimasi emisi dibutuhkan untuk analisis pencemaran udara sumber garis (*line sources*). Pada perhitungan VKT kendaraan pada ruas jalan diasumsikan memiliki karakteristik lalu lintas yang tetap. Berikut persamaan untuk perhitungan estimasi emisi dengan Tier 2 menurut KLH (2013) dalam MA S.N., (2022).

$$VKT_{j,line} = Q_{ji} \times I_i \dots\dots\dots(2)$$

$$E_{cji} = VKT_{ji} \times FE_{ej} (100-C)/100\dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

$VKT_{j,line}$ = VKT jenis kendaraan j pada jalan i sebagai sumber garis
(km/tahun)

Q_{ji} = Volume kendaraan jenis j pada jalan i (kendaraan/tahun)

I_i = Panjang ruas jalan i (km)

- E_{cji} = Emisi pencemar c untuk jenis kendaraan j pada ruas jalan i
 FE_{ej} = Faktor emisi (g/km)
 C = Efisiensi peralatan pengendali emisi
 C = 0, jika tidak terpasang peralatan pengendali

Berdasarkan KLH (2013) dalam MAS.N., (2022). Tier 3 merupakan metode estimasi emisi dengan menggunakan metode spesifik yang biasanya dipakai suatu negara dengan data aktivitas atau sumber emisi yang lebih akurat (pengukuran langsung) dan lebih rinci dibandingkan dengan Tier 2. Data aktivitas dan faktor emisi yang dipakai adalah nilai spesifik untuk setiap jenis sumber emisi sesuai dengan jenis bahan bakar yang dipakai, teknologi pembakaran, dan faktor oksidasi. Faktor emisi yang digunakan mengacu pada EURO untuk kendaraan jenis baru yang disesuaikan dengan komposisi armada, umur kendaraan, jenis teknologi kendaraan, kondisi lalu lintas, cara mengemudi, serta jenis dan kualitas bahan bakar yang dipakai.

2.7 Kendaraan Truk

Truk merupakan kendaraan bermotor yang dipakai untuk mengangkut barang dari dan menuju suatu tempat. Truk dapat memuat angkutan dalam jumlah yang banyak dengan beban yang berat. Untuk itu truk seringkali membutuhkan teknologi mesin dengan tenaga yang besar dan kuat. Ada beberapa jenis truk yang sering digunakan yaitu (Pangesti, 2020):

1. Truk *Cold Diesel* Engkel (CDE): merupakan truk yang terdiri atas 4 roda dan memiliki kapasitas volume 6 CBM dengan maksimal kapasitas 2 ton. Namun CDE bak volume memiliki kapasitas volume 12 CBM. CDE jenis ini dapat mengangkut barang yang lebih banyak dan biasanya direkomendasikan untuk menjadi truk sampah.



Gambar 2

Gambar 2 Truk CDE (Sumber: <https://kurvaunggul-logistik.com>)

2. Truk *Cold Diesel Double* (CDD): merupakan truk yang terdiri atas 6 roda dan memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan truk CDE dengan kapasitas volume 12 CBM dan mampu menampung beban hingga 4 ton. Truk mampu membawa barang lebih banyak dari truk CDE.



Gambar 3 Truk CDD (Sumber: dpltranslogistics.com)

3. Truk Fuso: merupakan truk yang hamper sama dengan truk jenis CDD namun truk ini memiliki kapasitas yang lebih besar yaitu volume 25 CBM dan mampu menampung kapasitas beban hingga 7 Ton.



Gambar 4 Truk Fuso (Sumber: <https://www.oto.com>)

4. Truk Tronton: merupakan jenis truk yang terdiri dari 10 roda dengan rangka roda yaitu 2-4-4. Truk ini memiliki kapasitas volume sebesar 30 CBM dengan berat beban hingga maksimal 10 ton. Truk ini biasanya digunakan untuk keperluan ekspedisi.



Gambar 5 Truk tronton (sumber: dpltranslogistics.com)

5. Truk Wingbox: Truk ini memiliki spesifikasi yang hamper sama dengan truk tronton hanya saja truk ini memiliki 3 sisi (kanan, kiri, dan belakang) yang bisa dibuka sehingga mempermudah pembongkaran muat barang.



Gambar 6 Truk wingbox (sumber: ekspedisijogja.com)

6. Truk Kontainer: merupakan truk yang terdiri dari Kontainer dengan muatan yang lebih besar. Kontainer dapat dipakai untuk mengirim barang dengan muatan yang lebih besar ke daerah lain.



Gambar 7 Truk kontainer (sumber: yosualogistik.co.id)

7. Truk Trailer: merupakan truk yang memiliki kapasitas muatan dari 20 ton hingga 60 ton. Truk jenis ini berfungsi untuk mengirim alat berat.



Gambar 8 Truk trailer (sumber: timurterang.com)

Truk memiliki berbagai spesifikasi dan kapasitas beban yang dapat diangkut, semakin besar kapasitas truk maka truk tersebut akan memiliki

semakin banyak sumbu roda. Sumbu roda yang dimaksud adalah tempat roda. Dalam hal ini apabila semakin banyak sumbu roda truk maka semakin banyak ban truk yang dipakai dan kapasitas beban akan menjadi lebih besar (Lutfie, 2018).

2.8 Polutan CO, NO_x, dan PM₁₀

Menurut Mukono (2006) dalam Shaleh D.F, (2020) Pencemar udara terdiri dari komponen gas hingga partikulat yang dapat membahayakan kesehatan. Pencemaran udara dapat berasal dari 3 proses yaitu atrisi (*attrition*), penguapan (*vaporization*), dan pembakaran (*combustion*). Berdasarkan 3 proses tersebut, proses yang paling menyumbang tinggi polutan adalah proses pembakaran. Berikut beberapa polutan yang berasal dari proses pembakaran bahan bakar pada kendaraan bermotor:

1. Karbon Monoksida (*Carbon Monoxide* - CO)

Karbon Monoksida atau CO merupakan gas yang memiliki karakteristik tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. CO berasal dari pembakaran bahan bakar yang mengandung karbon secara tidak sempurna. Gas CO digolongkan sebagai gas yang berbahaya dan beracun. CO dapat berasal dari kendaraan, kebakaran hutan, maupun aktivitas industri. CO juga dapat terbentuk secara alamiah di alam dari proses gunung berapi dan proses biologi lainnya. Pada sektor transportasi, kenaikan emisi CO diakibatkan oleh kemacetan yang sering terjadi di Jalan Raya (KLH, 2013).

Menurut WHO (1999) dalam MA S.N, (2022), CO dapat digolongkan sebagai gas yang bersifat beracun dan mematikan. Gas ini tidak mengakibatkan iritasi namun gas ini akan masuk ke dalam tubuh melalui pernapasan dan diserap ke dalam aliran darah. Gas ini juga memiliki kemampuan untuk mengikat hemoglobin pembawa oksigen dalam darah dengan daya ikat 240 kali lebih besar dari daya ikat antara hemoglobin dan oksigen, sehingga menurunkan daya ikat oksigen darah. Persaingan ini mengarah langsung pada penurunan oksigenasi sistemik, mengakibatkan kontraktibilitas jantung yang lebih lemah dan volume darah yang bersirkulasi berkurang. Hal ini akan berdampak bagi fungsi organ tubuh lainnya seperti otak, hati, pusat saraf, serta janin. Pada konsentrasi

kurang dari 100 ppm, gas CO dapat menimbulkan pusing dan sakit kepala. Sebaliknya, pada konsentrasi 667 ppm, 50% hemoglobin dalam darah dapat mengikat CO sehingga membentuk karboksihemoglobin (HbCO). Paparan HbCO ini dapat mengakibatkan kematian.

Tidak terdapat laporan bahwa CO berdampak langsung pada ekosistem. CO dapat mempercepat produksi nitrogen dioksida (NO_2) pada reaksi berantai yang menghasilkan ozon di atmosfer (troposfer), polutan sekunder yang dapat mempengaruhi tumbuhan. Namun, peran CO pada reaksi berantai kompleks kurang dominan dibandingkan dengan senyawa hidrokarbon (KLH 2013 dalam MA S.N., 2022).

2. Nitrogen Oksida (*Nitrogen Oxides* - NO_x)

Nitrogen oksida (NO_x) merupakan senyawa yang terdiri atas Nitrogen dioksida (NO_2) dan Nitrogen oksida (NO). NO_2 berwarna coklat kemerahan dan berbau menyengat. Pembentukan NO dan NO_2 berasal dari reaksi nitrogen dengan oksigen pada atmosfer dan membentuk NO , yang selanjutnya bereaksi lebih lanjut dengan oksigen tambahan membentuk NO_2 . Polutan utama, NO_x , berasal dari proses pembakaran bahan bakar gas alam (Wardhana 2004 dalam Shaleh D.F, 2020) NO_2 adalah gas beracun bagi manusia dan umumnya dapat menyebabkan penyakit pernapasan. Penyakit pernapasan yang terjadi dapat menyebabkan emfisema. Jika kondisinya menjadi kronis, dapat berkembang menjadi bronkitis, di mana nitrogen oksida (NO_x) akan tertumpuk dan dapat menyebabkan kanker (Sunu 2001 dalam Shaleh D.F, 2020) NO_x diproduksi ketika bahan bakar terbakar pada suhu tinggi. NO_2 merupakan salah satu polutan yang dihasilkan selama proses pembakaran. Secara umum, NO_x adalah gas yang tidak berwarna dan tidak berbau. Pengecualiannya adalah NO_2 , akan terlihat seperti kabut kecoklatan di langit perkotaan (KLH, 2013).

Paparan 30 menit dengan konsentrasi $560 \mu\text{g}/\text{m}^3$ cukup untuk menyebabkan gangguan pernapasan pada penderita asma, sedangkan efek baru diamati pada orang dewasa sehat pada konsentrasi $560 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Harrop, 2002). Pada konsentrasi harian rata-rata ($84\text{--}185 \mu\text{g}/\text{m}^3$), peningkatan rata-rata konsentrasi harian $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ akan menyebabkan kenaikan jumlah kematian sebesar (1,7–

1,8)% (Ackermann-Liebriech, 1996). Selain makhluk hidup, NO_x juga berdampak pada lingkungan yaitu dapat menyebabkan hujan asam, pemanasan global, serta terjadinya Eutrofikasi (yaitu kelebihan nutrisi pada danau atau badan air sehingga munculnya eceng gondok dan menyebabkan biota air menjadi mati (MA S.N., 2022).

3. Partikulat Berdiameter 10 Mikrometer (*Particulate Matter 10 – PM₁₀*)

Partikulat merupakan mikropartikel yang terdiri dari padatan dan cairan yang tersuspensi pada udara. Partikulat padat atau cair ini biasanya merupakan campuran dari beberapa bahan organik dan anorganik misalnya asam (partikel nitrat atau sulfat), logam, debu, dan partikel tanah. Mengetahui ukuran partikel sangat penting karena partikel tersebut berdampak pada manusia dan lingkungan. PM₁₀ adalah partikel yang lebih kecil dari 10 mikron (KLH 2013 dalam MA S.N., 2022).

Partikulat berasal dari sumber alami maupun sumber antropogenik. Sumber alami yang dimaksud ialah aktivitas alam seperti vulkanik, hutan, dan lain sebagainya. Selain aktivitas alam, kegiatan manusia sehari-hari dapat menghasilkan partikulat seperti misalnya kegiatan industri, penggunaan kendaraan juga berkontribusi untuk meningkatkan partikulat di udara. Kegiatan seperti konstruksi bangunan, pembongkaran, jalan tanpa aspal, serta reaksi gas-gas seperti NH₃, SO₂, dan hidrokarbon dengan komponen udara lainnya akan menghasilkan partikulat pada udara ambien (KLH, 2013).

Ukuran partikulat sangat penting untuk menentukan dimana partikulat tersebut menghirup dan sehingga dapat diketahui efeknya ketika terhirup ke paru-paru. Partikulat dengan ukuran yang lebih besar akan disaring melalui hidung dan tenggorokan sehingga tidak menimbulkan efek berbahaya sedangkan partikulat dengan ukuran yang lebih kecil dengan mudah terhirup oleh hidung dan sistem pernapasan contohnya seperti PM₁₀ dan PM_{2.5} akan menembus jauh ke dalam saluran pernapasan manusia dan dapat menimbulkan gangguan pernapasan. Dampak yang sering terjadi pada manusia akibat paparan partikulat yaitu dapat menimbulkan gangguan pernapasan seperti batuk, iritasi, hingga asma. Selain itu dapat juga menurunkan fungsi paru, menimbulkan

bronchitis kronis, serangan jantung, hingga kematian dini bagi penderita jantung dan gangguan paru-paru (MA S.N., 2022).

PM₁₀ dapat menyebabkan tingginya angka kematian yang dikarenakan penyakit jantung dan gangguan sistem pernafasan. PM₁₀ juga mampu membuat fungsi paru-paru menjadi turun pada anak-anak terutama pada konsentrasi 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan konsentrasi 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dapat memperburuk kondisi pada penderita bronkitis. Toksisitas partikel yang dapat dihirup bergantung pada komposisinya. Partikel yang mengandung senyawa karbon dapat menjadi pembawa kontaminan beracun lainnya dalam bentuk gas atau semi-gas karena melekat pada permukaan (KLH, 2013).

2.9 Dispersi Polutan

Dispersi merupakan suatu proses pergerakan, perpindahan, difusi, reaksi kimia, dan pengangkutan polutan yang dilepaskan ke atmosfer. Beberapa studi yang telah dilakukan tentang penyebaran polutan udara menunjukkan bahwa terdapat beberapa lokasi yang berjarak dekat dengan sumber polutan akan memiliki resiko terpapar dan merasakan efek langsung dari polutan-polutan tersebut (Chaerana, 2019).



Gambar 9 Penyebaran Polutan (sumber: freepik.com)

Konsentrasi polutan akan bervariasi sesuai dengan hembusan arah angin pada wilayah tersebut. Namun polutan yang bergerak atau berpindah dapat terakumulasi dan melebihi standar baku mutu yang telah ditetapkan sesuai dengan peraturan yang berlaku sehingga dapat menimbulkan berbagai gangguan kesehatan bagi masyarakat. Menurut Finn (2010) potensi efek zat berbahaya dan respons toksik akut dari paparan jangka pendek ditentukan oleh konsentrasi maksimum, dan

variasi konsentrasi maksimum harus dipertimbangkan sebagai faktor penting dalam menentukan risiko paparan (Chaerana, 2019).

2.10 Faktor yang Mempengaruhi Persebaran Polutan

1. Stabilitas Atmosfer

Menurut Permatasari (2014) dalam Widyani A.F, (2018) terdapat pencampuran di atmosfer yang mengarah vertikal dalam kondisi yang tidak bagus, hal ini disebabkan oleh kondisi atmosfer yang tidak stabil. Peristiwa ini terjadi akibat radiasi yang cukup tinggi untuk memanaskan permukaan bumi, yang menyebabkan pemanasan di atmosfer yang lebih rendah.

Kestabilan udara dapat mempengaruhi jenis atau bentuk pencemar di daerah penerima pada saat proses difusi terjadi. Ada beberapa di antaranya kondisi atmosfer berhubungan dengan stabilitas udara, yaitu kondisi tidak stabil terjadi bila laju penurunan suhu udara sekitar lebih besar daripada laju penurunan suhu udara kering, dan kondisi netral terjadi bila penurunan suhu udara sekitar sama dengan penurunan suhu udara kering (Puspita 2011 dalam Rizqi, 2021).

Stabilitas atmosfer diklasifikasikan dan dikembangkan oleh Pasquill dan Gifford (PGT) namun terdapat juga klasifikasi stabilitas atmosfer yang lain, hanya saja yang sering digunakan yaitu dari Pasquill dan Gifford (PGT). Kategori stabilitas atmosfer ini ditentukan dari kecepatan angin (10 meter di atas permukaan) dan menggunakan insolasi sebagai parameter pengembangan yang terdiri dari kategori (Widyani A.F, 2018).

- A = Sangat tidak stabil
- B = Tidak stabil menengah
- C = Sedikit tidak stabil
- D = Netral
- E = Agak stabil

Berikut tabel penentuan stabilitas atmosfer dapat dilihat di bawah ini:

Tabel 6 Kondisi atmosfer dalam berbagai kelas stabilitas (Pasquill 1961 dalam Chapman (8))

Kecepatan Angin (m/det) ^a	Radiasi matahari siang hari			Keawanan malam hari	
	Kuat	Moderat	Ringan	Berawan ($\geq 4/8$) ^d	Cerah ($\leq 3/8$) ^e
<2	A	A-B	B	E	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Sumber: Catleya (2021)

Stabilitas atmosfer ditentukan melalui kecepatan angin yang diperoleh dan disesuaikan dengan radiasi matahari dengan keterangan sebagai berikut (Tjasyono, 2009 dalam Catleya dkk, 2021):

- “*Strong*” atau Kuat merupakan kondisi saat langit cerah tidak berawan.
- “*Moderate*” atau Sedang merupakan kondisi saat sebagian langit tertutup awan sedikit menutup langit.
- “*Slight*” atau Rendah merupakan saat sebagian besar langit tertutup awan atau mendung.

Menurut Nauli, (2002) kelas D harus selalu dipilih apabila langit mendung baik pada siang hari mapupun malam hari. Kategori stabilitas atmosfer ini akan berkaitan dengan kurva (σ_y) (kualitas *plume* lateral) dan σ_z (kualitas plume vertikal) untuk difusi pada waktu rata-rata. Kelas stabilitas atmosfer digunakan untuk mengetahui koefisien dispersi Gaus (σ). Terdapat dua koefisien dispersi yaitu dispersi vertikal (σ_z) dan horizontal (σ_y). Namun yang digunakan pada dispersi polutan sumber bergerak adalah koefisien dispersi vertikal (σ_z). Koefisien dispersi ditentukan melalui grafik koefisien dispersi selain itu dapat juga menggunakan tetapan dispersi (Chaerana, 2019). Berikut merupakan rumus untuk mencari nilai koefisien dispersi dan tetapan dispersi.

Menurut (Nauli, 2002) koefisien dispersi vertikal dan horizontal ditentukan dengan rumus:

$$\sigma_z = cx^d + f \dots \dots \dots (4)$$

$$\sigma_y = ax^b \dots \dots \dots (5)$$

Tabel 7 Tetapan untuk mencari nilai dispersi

Kestabilan Atmosfer	$x \leq 1 \text{ km}$					$x \geq 1 \text{ km}$		
	a	b	c	d	f	c	d	f
A	213	0,894	440,8	1,941	9,27	459,7	2,094	-9,6
B	156	0,894	106,6	1,149	3,3	108,2	1,098	2
C	104	0,894	61	0,911	0	61	0,911	0
D	68	0,894	33,2	0,725	-1,7	44,5	0,516	-13
E	50,5	0,894	22,8	0,678	-1,3	55,4	0,305	-34
F	34	0,894	14,35	0,74	-0,35	62,6	0,18	-48,6

Sumber: Cooper & Alley (2010)

Stabilitas atmosfer menentukan batas ketinggian dispersi polutan dengan udara yang lebih bersih. Batas maksimum atau ketinggian gerak konvektif yang menyebabkan bahan pencemar bercampur dengan udara bersih di atasnya disebut tinggi pencampuran (*mixing height*) (Lutgens et al., 2004; Sumaryati, 2011). Semakin tinggi ketinggian pencampuran, semakin baik kualitas udara ambien. Jika ketinggian pencampuran relatif rendah, polutan hanya diencerkan oleh massa udara bersih yang lebih kecil, dalam hal ini konsentrasi polutan masih berbahaya bagi kesehatan. Kondisi udara yang stabil menyebabkan tekanan dan konveksi bergerak sehingga ketinggian pencampuran (*mixing height*) berkurang. Pada saat yang sama, kondisi udara yang tidak stabil menyebabkan udara bergerak ke atas dan ketinggian pencampuran naik sehingga udara menjadi semakin bersih. Pencampuran biasanya terjadi pada sore atau malam hari karena pemanasan permukaan karena radiasi matahari mendorong pergerakan konvektif.

Pada saat kondisi stabilitas atmosfer tidak stabil maka menyebabkan udara bergerak naik dan level pencampuran polutan dengan udara ambien (*mixing height*) menjadi lebih tinggi sehingga kondisi kualitas udara ambien semakin baik, dan sebaliknya apabila kondisi stabilitas atmosfer makin stabil maka *mixing height* akan semakin rendah dan kondisi kualitas udara ambien menjadi lebih buruk karena pencampuran udara ambien dengan polutan yang terjadi cukup rendah, maka dari itu hasil konsentrasi pada stabilitas atmosfer Sangat Tidak Stabil (A) akan lebih rendah dibandingkan dengan stabilitas atmosfer

Tidak Stabil kategori Sedang (B), C, D, dan E. (Lutgens et al., 2004 dalam Guswanto et.al., 2007) (Wikandri, 2015).

2. Kecepatan dan Arah Angin

Angin merupakan faktor penting dalam penyebaran polutan di udara karena dapat menyebabkan zat berpindah. Penentuan daerah penerima polutan dapat ditentukan berdasarkan arah angin. Penentuan luas daerah penerimaan dapat ditentukan berdasarkan kecepatan angin. Kecepatan angin adalah jarak yang ditempuh angin dalam satuan waktu, biasanya dinyatakan dalam knot, km/jam dan m/s. Kecepatan udara berpindah secara horizontal pada ketinggian dua meter di atas tanah. Tekanan udara dan asal dari arah kecepatan angin akan menjadi faktor pengatur (Rizqi, 2021).

Untuk menentukan jangkauan daerah penerima sebaran polutan, dapat digunakan kecepatan angin. Apabila kecepatan angin begitu tinggi di sekitar lokasi sumber polutan maka polutan tersebut akan lebih cepat bergerak ke daerah lain dan menjauhi sumbernya. Namun apabila kecepatan angin pada sumber polutan begitu rendah maka polutan tersebut dapat terakumulasi dan bertahan lama. Sedangkan arah angin dapat digunakan untuk menentukan daerah penerima polutan yang telah tersebar (Puspita 2011 dalam Rizqi, 2021)

Perbedaan sudut dari kecepatan dan arah angin akan mempengaruhi disperse polutan. Polutan di udara akan tinggi apabila arah angin dan kecepatan angin datang dari sudut vertikal dan tegak lurus dibandingkan dengan sudut lainnya. Selain itu proses perpindahan dan arah persebaran polutan akan dipengaruhi oleh arah angin di udara (Zhang et al, 2015 dalam Widayani A.F, 2018).

3. Suhu Udara dan Kelembaban

Konsentrasi polutan akan semakin kecil apabila suhu udara di lingkungan rendah, kelembapan udara yang rendah, dan kecepatan angin yang tinggi. Namun apabila suhu udara kecil dan kelembapan udara yang tinggi serta kecepatan angin rendah maka akan menyebabkan polutan di daerah tersebut menjadi tinggi. Suhu udara yang tinggi akan meningkatkan kepadatan udara dan menyebabkan densitas udara semakin kecil sehingga membuat aliran konveksi

menuju ke atas yang ikut serta membawa berbagai konsentrasi polutan (Anthika et al 2012 dalam Widyani A.F, 2018). Suhu udara yang semakin tinggi akan menyebabkan konsentrasi polutan di udara semakin rendah. Pada saat suhu di udara tinggi, densitas udara di atmosfer akan menjadi lebih kecil daripada udara di atasnya sehingga membuat adanya aliran konveksi ke atas dan membawa polutan pergi sehingga konsentrasi polutannya semakin rendah (Ramayana 2014, dalam Rizqi, 2021).

4. Radiasi Cahaya Matahari

Radiasi matahari yang mencapai atmosfer dan tanah merupakan energi utama siklus cuaca, termasuk difusi konsentrasi polutan di atmosfer. Efek fisik dan dinamis dari radiasi matahari pada penyebaran polusi udara bertindak sebagai sumber energi untuk transfer massa udara. Hal ini disebabkan perbedaan daratan dan perairan yang menimbulkan angin dan turbulensi yang mempengaruhi kestabilan atmosfer dan bercampurnya polutan dengan lingkungan sekitarnya (Rizqi, 2021).

5. Topografi Wilayah

Topografi cukup berpengaruh pada persebaran polutan dimana pengaruh topografi ini cukup kompleks sehingga perlu diketahui jenis pegunungan dan karakteristiknya. Puncak yang tinggi mengalami suhu yang hampir sama dengan udara terbuka pada ketinggian yang sama, sedangkan dataran tinggi dipanaskan dan didinginkan oleh proses radiasi. Lembah-lembah di antara dataran tinggi memiliki atmosfer tertutup, yang berubah pada siang hari dengan pendinginan pada malam hari, terutama pada musim dingin, dan meningkat dengan pemanasan pada siang hari. Wilayah yang memiliki topografi datar, pola anginnya relatif tidak terganggu, pengaruh topografi yang datar terhadap sebaran dan hembusan angin sangat kecil (Ruhiat, 2008 dalam Widyani A.F, 2018).

2.11 Model Prediksi Dispersi Polutan

Pemodelan kualitas udara merupakan suatu metode numeris yang dilakukan berdasarkan prinsip fisika yang bertujuan untuk estimasikan konsentrasi polutan pada ruang dan waktu sebagai fungsi distribusi emisi yang dipengaruhi oleh

kondisi meteorologi dan geofisika (Hasan et al, 2000 dalam Putut L. E & Widodo, 2011). Model dispersi merupakan salah satu pilihan untuk mempelajari dan mengetahui prediksi persebaran polutan di udara. Terdapat beberapa model kualitas udara yang digunakan yaitu (Widyani A.F, 2018):

- a. Model empirik atau statistik: model empirik biasanya digunakan untuk mengaitkan data konsentrasi pada suatu lingkungan dengan lingkungan lain. Contohnya CAR-model yaitu model yang dapat digunakan untuk menentukan kepadatan lalu lintas dengan perubahan area.
- b. Model Gauss atau Plume Model: model gauss merupakan suatu model yang berisi tentang teori dasar dispersi dan distribusi polutan yang disebabkan oleh turbulensi. Model ini biasanya digunakan pada skala lokal.
- c. Model Lagrangian: model lagrangian merupakan model untuk paket kualitas udara yang menunjukkan fungsi waktu sepanjang aliran streamlines pada atmosfer. Model ini biasanya dipakai untuk analisis konsentrasi polutan pada topografi yang lebih kompleks. Untuk aliran dan perubahan konsentrasinya didalami secara particular.
- d. Model Eulerian: model ini dapat digunakan untuk menganalisis konsentrasi polutan satu atau beberapa kotak ke kotak lainnya yang dilakukan akibat adanya kecepatan angin.

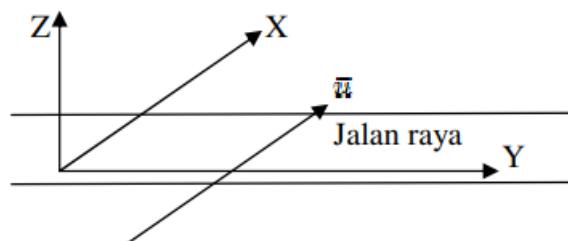
2.12 Model *Gaussian Line Source*

Model Dispersi Gauss merupakan salah satu model kualitas udara yang dapat digunakan untuk mengestimasi penyebaran atau dispersi polutan apabila data pengukuran yang dimiliki kurang memadai jumlahnya (Faizal 2004, dalam Chaerana 2019). Menurut Pasquill (1961) dan Gifford (1976) dalam (Sari, 2017) model dispersi gauss dapat mengevaluasi dampak apakah adanya sumber pencemaran udara terhadap kualitas udara di suatu daerah atau tidak dalam skala lokal atau perkotaan. Kelebihan dari model ini yaitu dapat mengolah data dalam jumlah yang besar terkait sumber emisi, keadaan dispersi, serta reseptor yang cukup padat secara spasial bahkan dari jarak puluhan meter.

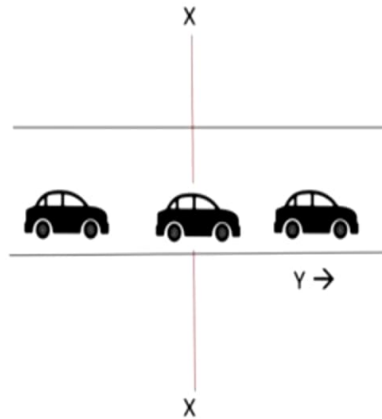
Pada beberapa keadaan seperti kawasan industri yang terdiri dari deretan pabrik-pabrik pada sepanjang jalan atau kendaraan yang melintasi jalan raya yang padat, kondisi tersebut dapat dimodelkan sebagai suatu emisi yang kontinu atau line sources tak hingga. Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang telah dilakukan untuk menggambarkan pola sebaran polutan di suatu jalan raya menggunakan model *Gaussian line* (Putut L. E & Widodo, 2011).

Gaussian model line source merupakan hasil perkembangan dari model *Gaussian plume* dimana pada *Gaussian model line source* diberlakukan asumsi bahwa sebuah sumber garis adalah sebuah deret dari beberapa titik (*point source*) yang *mutually independent* dimana masing-masing titik itu akan menghasilkan konsentrasi polutan. Sehingga konsentrasi polutan keseluruhan dari sebuah jalan yang terdapat deret *point source* dihitung sebagai jumlah konsentrasi titik-titik sumber polutan tersebut. *Gaussian model line source* (GMLS) memiliki beberapa asumsi dan keterbatasan yang dijabarkan menurut (Putut L. E & Widodo, 2011) (Gurjar, 2018):

- 1) Polutan berasal dari permukaan tanah (*Ground Level Surface*)
- 2) Polutan akan naik dengan konsentrasi yang tinggi dan kemudian menyebar ke arah vertikal
- 3) Angin berada pada arah tegak lurus jalan raya/sumber polutan
- 4) Tinggi penerima (*receptor*) tertentu yaitu z bernilai konstan.
- 5) Elevasi muka tanah dan topografi daerah penyebaran polutan sama dengan elevasi sumber polutan.



Gambar 10 Arah angin tegak lurus jalan raya (Putut L. E & Widodo, 2011)



Gambar 11 Arah angin tegak lurus jalan raya

Apabila angin berhembus searah sumbu-X yaitu tegak lurus maka sumbu-Y adalah jalan raya yang dilalui kendaraan, maka konsentrasi polutan tidak bergantung pada sumbu-Y dikarenakan yang difokuskan hanya gerakan polutan yang dibawa oleh angin yang *crosswind* saja, sehingga sumbu-Y tidak diperhitungkan. Artinya konsentrasi polutan pada sumbu Y diasumsikan sama. Sumbu Z merupakan tinggi efektif kepulan yang dianggap 0 karena diasumsikan pada Sumber Garis polutan berasal dari permukaan tanah (Putut L. E & Widodo, 2011). Sehingga pada saat arah angin normal terhadap garis emisi, konsentrasi level *ground downwind* maka persamaannya yaitu (Fermi dkk, 2022):

$$C(x, y, z) = \frac{2Q}{(2\pi)^{\frac{1}{2}} u \sigma_z} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{h^2}{(\sigma_z)^2}\right) \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{y^2}{(\sigma_z)^2}\right) \dots \dots \dots (6)$$

Dengan:

Q = kekuatan emisi (g/s)

h = ketinggian sumber emisi.

Dari persamaan diatas maka diperoleh rumus *Gaussian Model Line Source*:

$$C(x, z) = \frac{2Q}{(2\pi)^{\frac{1}{2}} u \sigma_z} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{h^2}{(\sigma_z)^2}\right) \dots \dots \dots (7)$$

Dengan:

Q = Laju emisi (g/s)

h = Ketinggian sumber emisi (m)

σ_z = Koefisien dispersi arah z (m)

u = Kecepatan rata-rata angin (m/s)

2.13 AERMOD

America Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model (AERMOD) merupakan sebuah model kualitas udara untuk memprediksi konsentrasi polutan di udara yang mana model ini adalah model *Steady State Gaussian Plume* (emisi ditransmisikan menggunakan angin) Model ini diciptakan dalam rangka pembaruan model ISCST3. AERMOD menggunakan konsep pada lapisan batas atmosfer. Medan datar ataupun kompleks pada pedesaan atau perkotaan sering menggunakan Model AERMOD Ajayi et al., (2021) dalam Aprilia, (2023). Model AERMOD pertama kalinya dikembangkan pada tahun 1991 untuk memenuhi peraturan dengan menggunakan pendekatan *Gaussian Plume*. Model ini dituangkan dalam bentuk *software* yang memiliki kelebihan yaitu dapat memodelkan dispersi polutan pada sumber titik, garis, maupun area dalam sajian yang sederhana maupun kompleks. Menurut Gurjar et al., (2010) Model Gaussian sering digunakan untuk membuat kebijakan publik terkait kualitas udara. Model Gaussian menggunakan dasar statistik distribusi normal dimana distribusi Gaussian berasal dari plume arah vertikal dan horizontal dalam kondisi *Steady State*. Penggunaan model Gaussian yang mudah membuat penggunaannya semakin meluas namun memiliki beberapa keterbatasan seperti:

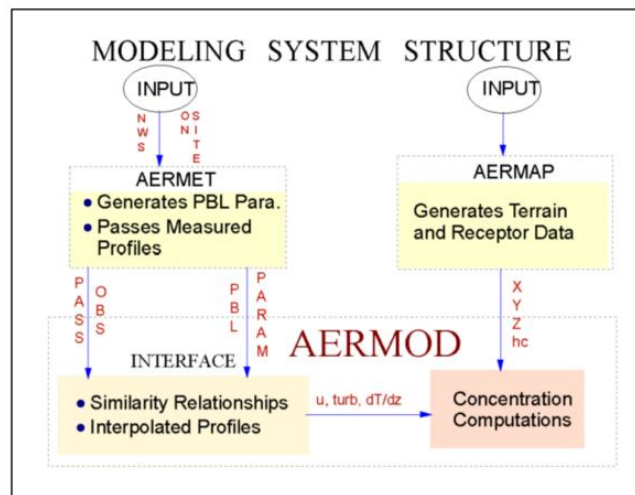
- a. Asumsi *Steady State Condition*: yaitu model tidak memperhitungkan waktu yang dibutuhkan polutan untuk sampai ke reseptor
- b. Model Gaussian tidak cocok untuk memodelkan partikulat dengan cakupan wilayah regional karena model gauss memperlakukan polutan yang disederhanakan sebagai bentuk polutan sekunder.

Model ini telah direkomendasikan oleh *Environmental Protection Agency* (EPA) dengan jarak yang dapat dimodelkan yaitu jarak dekat < 50 km dan jarak jauh yaitu > 50 km. Namun EPA memilih model AERMOD pada saat ini hanya untuk memodelkan konsentrasi polutan pada jarak < 50 km (Rood, 2004 dalam Aprilia, 2023).

Menurut Cimorelli et al., (2005) dalam Aprilia (2023) Model AERMOD terdiri dari beberapa prosesor pendukung yaitu AERMOD, prosesor meteorologi (AERMET), dan prosesor geomorfologi (AERMAP). Prosesor meteorologi

digunakan untuk mengolah data meteorologi seperti kecepatan angin, arah angin, suhu, tutupan awan. AERMET juga menyajikan data permukaan seperti *albedo*, *bowen ratio*, dan *surface roughness*. Data tersebut akan diolah untuk menghitung parameter *Planetary Boundary Layer* (PBL) seperti gesekan, panjang *Monin-Obukov*, skala kecepatan konvektif, tinggi pencampuran, dan panas permukaan, serta skala suhu. Pra-Prosesor AERMAP digunakan untuk analisis informasi topografi regional yang akan digunakan sebagai informasi untuk melengkapi sumber difusi dan jaringan penerima polutan (Noorpoor & Rahman, 2015). AERMAP berfungsi untuk memproses *terrain data* yang berhubungan dengan tata letak reseptor dan sumber emisi yang akan digunakan sebagai *file control* AERMOD (Seangkiatiyuth et al., 2011 dalam Aprilia, 2023).

Model AERMOD memperhitungkan *plume lofting*, yaitu massa kepulan yang dilepaskan dari sumber dan terus naik serta tetap tinggal pada lapisan batas paling atas sebelum akhirnya bercampur dengan *Convective Boundary Layer* (CBL). AERMOD menggunakan pendekatan sederhana dengan menggabungkan konsep yang ada tentang aliran dan difusi pada daerah dengan kontur yang kompleks (Vionita, 2011 dalam Ancilla A, 2014).



Gambar 12 Bagan alir sistem model AERMOD, US EPA (2022)

Input AERMET terdiri dari karakteristik permukaan berupa albedo, kekasaran permukaan, dan rasio Bowen, pengamatan meteorologi standar (kecepatan angin, arah angin, suhu, dan awan penutup). AERMET kemudian

menghitung parameter PBL yang terdiri atas kecepatan gesekan (u^*), panjang Monin-Obukhov (L), skala kecepatan konvektif (w^*), skala temperatur (θ^*), pencampuran tinggi (z_i), dan fluks panas permukaan (H). Parameter ini kemudian diteruskan ke INTERFACE (yang ada di dalam AERMOD) di mana ekspresi kesamaan (dalam hubungannya dengan pengukuran) digunakan untuk menghitung profil vertikal kecepatan angin (u), fluktuasi turbulen lateral dan vertikal (σ_v , σ_w), gradien temperatur potensial ($d\theta/dz$), dan temperatur potensial (θ). Pra-prosesor AERMIC *terrain* AERMAP menggunakan data medan grid untuk menghitung representatif *terrain-influence height* (h_c), juga disebut sebagai skala ketinggian *terrain*. Data grid yang dibutuhkan oleh AERMAP dipilih dari Digital Data Model Ketinggian (DEM). AERMAP juga digunakan untuk membuat jaringan reseptor. Ketinggian untuk setiap reseptor yang ditentukan secara otomatis ditetapkan melalui AERMAP Untuk setiap reseptor, AERMAP meneruskan informasi ke AERMOD berupa lokasi reseptor (x_r , y_r), ketinggian di atas permukaan laut rata-rata (z_r), dan skala ketinggian medan spesifik reseptor (h_c) (EPA, 2022).

AERMOD terdiri dari beberapa pilihan *setting* sebelum dapat memperoleh hasil pemodelan yakni mengatur UTM atau *Base Map*, mengatur *control option* untuk memilih jenis polutan dan data pendukungnya, memilih sumber dan mengisi data sumber, menentukan reseptor, melengkapi data kontur AERMAP, dan lain-lain. Pada AERMOD terdapat beberapa sumber polutan yang dapat dimodelkan yakni dengan berbagai karakteristik (APCD, 2020):

- a. Sumber titik (*Point Sources*): sumber polutan yang paling umum dengan karakteristik terisolasi lubang angin misalnya cerobong, contoh lainnya seperti emisi dari pabrik.
- b. Sumber Area (*Area Sources*): digunakan untuk memodelkan pelepasan polutan yang berasal dari suatu area seperti TPA, tangka terbuka, dan lain-lain.
- c. Sumber *Open pit* (*Open pit Sources*): Sumber openpit digunakan untuk memodelkan emisi dari lokasi tambang yang terbuka berdasarkan kondisi meteorologi.

- d. Sumber Volume (*Volume Sources*): Jenis sumber ini digunakan untuk model yang memiliki volume 3 dimensi contohnya seperti kendaraan di sepanjang jalan yang bervolume (*line volume sources*), emisi kebocoran, dan lain-lain.
- e. Sumber garis (*line sources*): Jenis sumber ini digunakan untuk memodelkan pelepasan emisi yang berasal dari berbagai sumber seperti konveyor horizontal, jalur kereta api, dan jalan raya.

2.14 Uji Statistik

Uji statistik dilakukan untuk menyimpulkan bahwa metode pendekatan memberikan hasil yang signifikan atau tidak. Untuk mengetahui jenis uji statistik yang akan digunakan perlu diketahui distribusi data yang dimiliki. Apabila data terdistribusi normal atau mendekati distribusi normal maka digunakan statistik parametrik. Namun sebaliknya, apabila data yang dimiliki tidak terdistribusi normal maka digunakan statistik non parametrik. Uji normalitas dapat digunakan untuk mengetahui jenis distribusi data yang dimiliki. Untuk menentukan jenis uji statistik maka harus dipahami hubungan antar sampel. Apabila sampel tidak memiliki hubungan (terdiri atas dua kelompok sampel yang berbeda) maka menggunakan uji statistik jenis *T-Test* (Anam, 2020).

1. Uji Normalitas

Uji normalitas merupakan prosedur yang dilakukan untuk mengetahui apakah data terdistribusi normal atau berada dalam sebaran yang normal. Distribusi normal adalah distribusi simetris dengan modus, mean, dan median berada di pusat. Dasar pengambilan keputusan yaitu (Nuryadi dkk, 2017):

- Nilai signifikansi atau probabilitas $< 0,05$ maka distribusi adalah tidak normal.
- Nilai signifikansi atau nilai probabilitas $> 0,05$ maka distribusi adalah normal.

2. Uji *Independet Sample T-Test*

Uji statistik ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan rata-rata dua populasi/kelompok data yang *independent* (tidak saling berhubungan)

(Nuryadi dkk, 2017). contohnya terdapat 2 sampel terdiri dari nilai *noise* citra dari pesawat sinar-Z merek A dan B. untuk menguji apakah kedua sampel (*noise* citra) dari dua merek pesawat itu memiliki perbedaan signifikan atau tidak maka digunakan *Independent T-Test*. Dasar pengambilan keputusan pada SPSS yaitu berdasarkan Nilai Levene's Test dan signifikansinya serta nilai-t dan signifikansinya. Levene's Test adalah Teknik statistik yang bertujuan untuk menguji kesamaan varians di antara 2 kelompok.

- Apabila sig pada Levene's Test $< 0,05$ ($p < 0,05$) maka nilai *Levene's Test* signifikan = varians dari kedua kelompok berbeda, maka *Equal variance not assumed* yang dibaca.
- Apabila sig pada *Levene's Test* $> 0,05$ ($p > 0,05$) maka nilai *Levene's Test* tidak signifikan = varians dari kedua kelompok sama, maka *Equal variance assumed* yang dibaca.
- Nilai Sig. (*2-tailed*) $< 0,05$, maka terdapat perbedaan yang signifikan.
- Nilai Sig. (*2-tailed*) $> 0,05$ maka tidak terdapat perbedaan yang signifikan.