

TUGAS AKHIR

**ANALISIS BEBAN EMISI PARAMETER NO_x, SO₂, PM₁₀ DAN CO
KENDARAAN BERMOTOR PADA JALAN KOLEKTOR DI KOTA
MAKASSAR MENGGUNAKAN METODE TIER 2**



SAVIRAH NURUL AULIAH MA

D131 18 1021

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2022

TUGAS AKHIR

ANALISIS BEBAN EMISI PARAMETER NO_x, SO₂, PM₁₀ DAN CO KENDARAAN BERMOTOR PADA JALAN KOLEKTOR DI KOTA MAKASSAR MENGGUNAKAN METODE TIER 2

Diajukan sebagai Tugas Akhir dalam Rangka Penyelesaian Studi Sarjana S1
Teknik Lingkungan pada Program Studi Teknik Lingkungan



SAVIRAH NURUL AULIAH.MA

D131 18 1021

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2022



LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Judul : **Analisis Beban Emisi Parameter No_x, SO₂, PM₁₀, dan CO Kendaraan Bermotor Pada Jalan Kolektor di Kota Makassar Menggunakan Metode Tier 2**

Disusun Oleh :

Nama : Savirah Nurul Auliah MA D131181021

Telah diperiksa dan disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Gowa, 2 Desember 2022

Pembimbing I

Pembimbing II


Prof. Dr. Ir. Hj. Sumarni Hamid Aly, M.T.
NIP. 95812281986012001


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

Menyetujui,
Ketua Departemen Teknik Lingkungan




Dr. Eng. Mufalia Hustim, S.T., M.T.
NIP. 197204242000122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Savirah Nurul Auliah MA.

Nim : D131181021

Program Studi : Teknik Lingkungan

Jenjang Studi : Strata 1 (S1)

Menyatakan bahwa karya tulis dengan judul:

“Analisis Beban Emisi Parameter NO_x , SO_2 , PM_{10} , dan CO Kendaraan Bermotor Pada Jalan Kolektor di Kota Makassar Menggunakan Metode Tier 2”

Adalah karya tulis saya sendiri dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun. Adapun semua informasi yang tertulis dalam karya tulis ini yang bersumber dari penulis lainnya telah dicantumkan sumber dan tahun penerbitannya. Jika terdapat pihak yang merasa terdapat kesamaan judul atau hasil yang diperoleh dengan karya tulis ini maka saya siap untuk dimintai pertanggungjawaban mengenai hal tersebut.

Makassar, 5 Desember 2022

Yang membuat pernyataan



Savirah Nurul Auliah MA.

D131181021

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala rahmat dan hidayahNya yang telah memberikan kelapangan dan kemudahan di dalam penulisan tugas akhir ini serta dengan mengucap syukur Alhamdulillah, penulisan tugas akhir yang berjudul **“ANALISIS BEBAN EMISI PARAMETER NO_x, SO₂, PM₁₀ DAN CO KENDARAAN BERMOTOR PADA JALAN KOLEKTOR DI KOTA MAKASSAR MENGGUNAKAN METODE TIER 2”** dapat penulis selesaikan. Shalawat dan taslim senantiasa tercurahkan kepada baginda Nabi Muhammad SAW yang dikenal sebagai sang revolusioner sejati serta teladan bagi umat muslim.

Penulisan tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan dalam jenjang perkuliahan Strata I sekaligus salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Dalam penulisan tugas akhir ini tidak lepas dari hambatan dan kesulitan, namun berkat bimbingan, bantuan, nasihat dan saran serta kerjasama dari berbagai pihak, khususnya pembimbing, segala hambatan tersebut akhirnya dapat diatasi dengan baik. Pada penulisan tugas akhir ini ini tentunya tidak lepas dari kekurangan, baik aspek kualitas maupun aspek kuantitas dari materi penelitian yang disajikan. Semua ini didasarkan dari keterbatasan pengalaman yang dimiliki penulis.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini jauh dari sempurna sehingga penulis membutuhkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk kemajuan pendidikan di masa yang akan datang. Selanjutnya dalam penulisan tugas akhir ini penulis banyak diberi bantuan dan masukan oleh berbagai pihak sehingga dalam kesempatan ini penulis dengan tulus hati mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat kesehatan dan keselamatan kepada penulis selama melaksanakan rangkaian penyusunan tugas akhir.
2. Kedua orang tua tercinta, Ibu Hj Sumarni Makmur dan Bapak Drs. H. Muh. Afhar B, M.Pd., yang senantiasa mendukung penulis sepanjang masa dengan penuh kasih sayang. Penulis tidak dapat berada sampai di titik ini tanpa

mereka. Begitu pula kepada kakek saya H. Makmur dan nenek saya Hj. Murniaty, yang telah merawat dan mendukung penulis hingga mampu bertahan melalui segala hambatan selama ini. Tak lupa juga kepada Kakak saya Moh. Sabri MA, S.Kom., adik saya Nur Rahmi MA, Muh. Resky Ramadhan, dan Muh. Faturrahman yang selalu memberikan semangat dan *support* kepada penulis.

3. Guru-guru yang memberikan ilmu dan pengetahuan sejak TK, SD, SMP, SMA, serta dosen di Universitas. Atas jasa-jasa mereka, penulis dapat mengenyam indahnya pendidikan dan dahsyatnya manfaat ilmu pengetahuan.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
5. Bapak Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isram Ramli, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Bapak Mukti Ali, S.T., M.T., Ph.D., selaku Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan Alumni dan Kemitraan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin serta staf yang senantiasa mendukung segala kegiatan kemahasiswaan yang penulis ikuti selama menjadi mahasiswa FT-UH.
7. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin
8. Ibu Prof. Dr. Ir. Hj. Sumarni Hamid Aly, M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing dan mengarahkan penulis hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
9. Ibu Nurul Masyiah Rani Harusi, ST., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing II yang senantiasa meluangkan waktu serta membagikan ilmunya dalam memberikan pengarahan dan bimbingan sehingga penulisan tugas akhir ini dapat terselesaikan. Terima kasih atas segala ilmu dan kesabarannya dalam membimbing saya.
10. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Departemen Teknik Lingkungan atas bimbingan, arahan, didikan, dan motivasi yang telah diberikan selama kurang lebih empat tahun.

11. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya selama penulis menempuh perkuliahan terutama kepada staf S1 Teknik Lingkungan Ibu Sumiati, Ibu Utami dan Pak Olan.
12. Elfira Nur Islamiyah yang senantiasa mendengarkan keluh-kesah drama penelitian hingga pengerjaan tugas akhir, menemani *healing* di tengah kepusingan mengerjakan tugas akhir, dan menemani penulis hampir setiap malam mengerjakan progress tugas akhir melalui *video call*.
13. Nur Ishma Arini Putri, Meilyana, Restu Islamia Rasyak, Nur Azni Azis, Rania Aisyah Putri, Isfah Risqiana Jupri, Umi Rahmiati, dan Elsa Glorya Day yang menjadi tempat curhat, dan selalu memberikan semangat untuk penulis.
14. Herni, Isfah, dan Adel yang telah menemani masa-masa semester 1 hingga semester 4 di perumahan teknik Gowa.
15. Rizki Amalia yang selalu menjadi *partnert* dalam banyak hal dari awal semester hingga detik ini dan InshaAllah yang akan datang. Terima kasih telah berjuang bersama penulis.
16. Nur Aisyah, Aurelia Dinda Zhafirah dan Annisa Fitri Mustafa yang telah mengisi dan menemani perkuliahan dari awal semester dan sudah memberikan banyak bantuan serta dukungan, selalu setia menjadi pendengar keluh kesah dan curhatan penulis.
17. Safira Putri H. Malik, Fadilla Meutia Anugerah, Nur Khafifah Rusni, Wulandari Ramadhani, Andi Dania Triska Fiyanda, Nur Rahmawati Amir, Suarni, Riza Putri Salsabila, Nurmianti, dan Andi Syahratul Naifa yang telah memotivasi dan saling menghibur satu sama lain. Terima kasih telah mengisi hari-hari penulis dengan canda dan tawa selama perkuliahan.
18. Teman-teman pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Periode 2020/2021 yang telah memberikan warna dalam dinamika organisasi kemahasiswaan penulis.
19. Teman-teman Lab. Riset Kualitas Udara dan Bising 2018 dengan hiburan, dukungan, serta semangat yang diberikan kepada penulis.
20. Teman-teman Teknik Lingkungan 2018 dan TRANSISI 2019 atas segala bantuan, cerita, dan kenangan selama masa perkuliahan.

21. Kepada rekan, sahabat, saudara dan berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, penulis ucapkan banyak terimakasih atas setiap bantuan dan doa yang diberikan.

Semoga Allah SWT. membalas kebaikan semua pihak yang turut membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih sangat jauh dari kata sempurna sehingga sangat diperlukan keritik maupun saran yang membangun, agar kedepannya bisa memperbaiki penelitian selanjutnya. Akhir kata semoga tugas akhir ini memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan

Makassar, 2 Oktober 2022

Penulis,

Savirah Nurul Auliah MA.
D131 18 1021

ABSTRAK

SAVIRAH NURUL AULIAH MA. *Analisis Beban Emisi Parameter NO_x , SO_2 , PM_{10} & CO Kendaraan Bermotor Pada Jalan Kolektor di Kota Makassar Menggunakan Metode Tier 2* (Dibimbing oleh Sumarni Hamid Aly dan Nurul Masyiah Rani).

Sektor transportasi berkontribusi paling tinggi terhadap penurunan kualitas udara di berbagai kota-kota besar di dunia. Hal ini dikarenakan bensin yang merupakan bahan bakar yang digunakan pada sektor transportasi mengeluarkan senyawa-senyawa seperti CO (karbon monoksida), NO_x (nitrogen oksida), SO_2 (sulfur dioksida), dan CO_2 (karbon dioksida) dan hidrokarbon (HC) yang merupakan sumber besar dari emisi pencemar udara. Meningkatnya penjualan kendaraan bermotor dari tahun ke tahun dengan kondisi sarana lalu lintas yang tidak memadai menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan. Di beberapa jalan kolektor yang menjadi pusat aktivitas masyarakat di perkotaan sering mengalami kemacetan terutama pada waktu/jam sibuk. Kemacetan yang disebabkan oleh kendaraan bermotor ini memberikan dampak yang buruk bagi lingkungan karena adanya emisi yang dikeluarkan dari kendaraan bermotor tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya beban emisi harian dan tahunan untuk parameter NO_x , SO_2 , PM_{10} dan CO yang dihasilkan dari kendaraan bermotor dengan jenis kendaraan yang terbagi atas tiga yaitu kendaraan Sepeda motor atau *motorcycle* (MC), kendaraan *Light Vehicle* (LV) yang terbagi atas kategori Sedan, Minibus, Taksi, dan Angkutan kota, kemudian kendaraan *Heavy Vehicle* (HV) yang terbagi atas kategori Pick-up, Jeep, Bus kecil, Bus besar, truk 2 engkel, dan truk 3 engkel, pada Jalan Kolektor di Kota Makassar menggunakan metode Tier 2 dan juga mengetahui bentuk pemetaan prediksi sebaran emisi NO_x , SO_2 , PM_{10} dan CO dari kendaraan bermotor pada Jalan Kolektor di Kota Makassar dengan menggunakan aplikasi *Geographic Information System* (GIS).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa beban emisi terbesar dari parameter NO_x , SO_2 , PM_{10} dan CO adalah parameter CO yang dihasilkan oleh Jalan Hertasning, dimana peran ruas Jalan Hertasning sebagai bagian penting dari

jaringan jalan perkotaan di Kota Makassar menyebabkan tingginya intensitas pergerakan kendaraan di ruas jalan ini setiap harinya. Total beban emisi yang dihasilkan dari kendaraan bermotor di Jalan Hertasning berasal dari parameter CO yakni 104041,57 ton/tahun.

Kata Kunci : Jalan Kolektor, Kendaraan Bermotor, Beban Emisi, Tier 2

ABSTRACT

SAVIRAH NURUL AULIAH MA. *Analysis of NO_x, SO₂, PM₁₀, & CO Emission Loads from Motorized Vehicle at Collector's Road Makassar City Using Tier 2 Method (Supervised by Sumarni Hamid Aly and Nurul Masyiah Rani).*

The biggest factor in the global reduction in air quality in large cities is the transportation industry. This is due to the molecules that gasoline, the fuel used in the transportation sector, emits, including carbon monoxide (CO), nitrogen oxide (NO_x), sulfur dioxide (SO₂), and CO₂ (carbon dioxide), as well as hydrocarbons (HC), which are sources of carbon dioxide. of emissions of air pollutants An imbalance results from the rising motorized vehicle sales from year to year combined with poor traffic conditions. In urban locations, several collector roads—the hub of community activity—often encounter congestion, especially during rush hours. Because of the pollution these motorized vehicles produce, the congestion they induce has a negative effect on the environment.

This study aims to determine the daily and yearly emission loads for the parameters of NO_x, SO₂, PM₁₀, and CO produced by motor vehicles with three types of vehicles, namely motorcycles (MC), Light Vehicles (LV), which are divided into the Sedan category, Minibus, Taksi, and Angkutan kota, then Heavy Vehicles (HV), which are divided into Pick-up, Jeep, Bus kecil, Bus besar, truk 2 engkel, and truk 3 engkel categories, on Collector Street in Makassar City utilizing the Tier 2 method and show the form for mapping the distribution of NO_x, SO₂, PM₁₀, and CO emissions from motor vehicles on Collector Street in Makassar City using the Geographic Information System application.

The findings indicated that Jalan Hertasning produced the highest emission load from the NO_x, SO₂, PM₁₀, and CO parameters. This is because of the significant role that Hertasning Road plays in Makassar City's urban road network, which results in a high volume of daily vehicle traffic on this road section. The CO parameter, which accounts for 104041.57 tons of the total emission load from motor vehicles on Jalan Hertasning, per year.

Keywords: Collector's Road, Motorized Vehicle, Emission, Tier 2

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	19
A. Latar Belakang	19
B. Rumusan Masalah	21
C. Tujuan Penelitian	22
D. Ruang Lingkup.....	22
E. Manfaat Penelitian	23
F. Sistematika Penulisan	23
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	25
A. UDARA	25
B. Pencemaran Udara	25
C. Karbon Monoksida (Carbon Monoxide – CO)	26
D. Nitrogen Oksida (Nitrogen Oxides – NO _x).....	27
E. Sulfur Dioksida (Sulfur Dioxide – SO ₂)	29
F. Partikulat Berdiameter Hingga 10 Mikrometer (PM ₁₀)	31
G. Volume Lalu Lintas.....	32
H. Emisi Kendaraan Bermotor.....	35

I. Sistem Informasi Geografis dengan Analisis Spasial	38
J. Jalan Kolektor	40
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	42
A. Rancangan Penelitian	42
B. Waktu Penelitian	44
C. Lokasi Penelitian	47
D. Peralatan Yang Digunakan.....	50
E. Metode Pengambilan Data	53
F. Metode Pengolahan Data	54
G. Metode Analisis Data.....	56
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	64
A. Perhitungan Beban Emisi Menggunakan Tier 2	64
B. Prediksi Distribusi Sebaran Beban Emisi	174
BAB V PENUTUP.....	203
A. Kesimpulan	203
B. Saran.....	204
DAFTAR PUSTAKA	205
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Bagan Alir Penelitian	43
Gambar 2. Lokasi Penelitian	50
Gambar 3. Perangkat Keras.....	50
Gambar 4. Aplikasi <i>GPS Map Camera</i>	51
Gambar 5. Aplikasi <i>Microsoft Excel 2010</i>	52
Gambar 6. Aplikasi ArcGis versi 10.6.....	52
Gambar 7. Diagram Alir Pengolahan Data Volume Kendaraan	56
Gambar 8. Diagram Alir Analisis Data Perhitungan Beban Emisi.....	57
Gambar 9. Menambahkan <i>Blank Document</i> pada Aplikasi ArcGis.....	58
Gambar 10. Menambahkan Data Peta Administrasi Kota Makassar	59
Gambar 11. Menambahkan Data Peta Jalan Kota Makassar	59
Gambar 12. Memasukkan Data Beban Emisi Dalam Aplikasi ArcGis	60
Gambar 13. Menambahkan Titik Koordinat Longitude dan Latitude.....	60
Gambar 14. Pengolahan Data Beban Emisi Menggunakan Metode IDW	61
Gambar 15. Mengatur Sebaran Beban Emisi Pada <i>Layer</i> Jalan Kota Makassar ..	62
Gambar 16. Mengatur Tampilan Distribusi Beban Emisi Pada Peta.....	63
Gambar 17. <i>Layout</i> Peta Distribusi Beban Emisi pada Aplikasi ArcGis.....	63
Gambar 18. Volume Kendaraan Jl. Ir.Sutami	64
Gambar 19. Volume Kendaraan Jl. Dr. Leimena.....	66
Gambar 20. Volume Kendaraan Jl. Abdullah Daeng Sirua	68
Gambar 21. Volume Kendaraan Jl. Antang Raya	70
Gambar 22. Volume Kendaraan Jl. Tamangapa Raya	73
Gambar 23. Volume Kendaraan Jl. Syech Yusuf	75
Gambar 24. Volume Kendaraan Jl. Aroeppala	77
Gambar 25. Volume Kendaraan Jl. Letjen Hertasning	79
Gambar 26. Volume Kendaraan Jl. Dr. Ratulangi	81
Gambar 27. Volume Kendaraan Jl. Jenderal Sudirman	83
Gambar 28. VKT Jl. Ir. Sutami	88
Gambar 29. VKT Jl. Dr. Leimena.....	89

Gambar 30. VKT Jl. Abdullah Daeng Sirua	90
Gambar 31. VKT Jl. Antang Raya	91
Gambar 32. VKT Jl. Tamangapa Raya	92
Gambar 33. VKT Jl. Aroepala	93
Gambar 34. VKT Jl. Letjen Hertasning	94
Gambar 35. VKT Jl. Syech Yusuf	95
Gambar 36. VKT Jl. Dr. Ratulangi	96
Gambar 37. VKT Jl. Jenderal Sudirman	97
Gambar 38. Total Emisi Harian Jl. Ir. Sutami	103
Gambar 39. Total Emisi Harian Jl. Dr. Leimena	104
Gambar 40. Total Emisi Harian Jl. Abdullah Daeng Sirua.....	105
Gambar 41. Total Emisi Harian Jl. Antang Raya	107
Gambar 42. Total Emisi Harian Jl. Tamangapa Raya.....	108
Gambar 43. Total Emisi Harian Jl. Aroepala.....	109
Gambar 44. Total Emisi Harian Jl. Letjen Hertasning.....	110
Gambar 45. Total Emisi Harian Jl. Syech Yusuf.....	112
Gambar 46. Total Emisi Harian Jl. Dr. Ratulangi.....	113
Gambar 47. Total Emisi Harian Jl. Jenderal Sudirman.....	114
Gambar 48. Total Emisi Harian SO ₂ Jl. Ir. Sutami	120
Gambar 49. Total Emisi Harian Jl. Dr. Leimena	121
Gambar 50. Total Emisi Harian Jl. Abdullah Daeng Sirua.....	122
Gambar 51. Total Emisi Harian Jl. Antang Raya	124
Gambar 52. Total Emisi Harian Jl. Tamangapa Raya.....	125
Gambar 53. Total Emisi Harian Jl. Aroepala.....	127
Gambar 54. Total Emisi Harian Jl. Letjen Hertasning.....	128
Gambar 55. Total Emisi Harian Jl. Syech Yusuf.....	130
Gambar 56. Total Emisi Harian Jl. Dr. Ratulangi.....	131
Gambar 57. Total Emisi Harian Jl. Jenderal Sudirman.....	132
Gambar 58. Total Emisi Harian Jl. Ir. Sutami	138
Gambar 59. Total Emisi Harian Jl. Dr. Leimena	139
Gambar 60. Total Emisi Harian Jl. Abdullah Daeng Sirua.....	141

Gambar 61. Total Emisi Harian Jl. Antang Raya	142
Gambar 62. Total Emisi Harian Jl. Tamangapa Raya.....	143
Gambar 63. Total Emisi Harian Jl. Aroeppala.....	145
Gambar 64. Total Emisi Harian Jl. Letjen Hertasning.....	146
Gambar 65. Total Emisi Harian Jl. Syech Yusuf.....	147
Gambar 66. Total Emisi Harian Jl. Dr. Ratulangi.....	148
Gambar 67. Total Emisi Harian Jl. Jenderal Sudirman.....	149
Gambar 68. Total Emisi Harian Jl. Ir. Sutami	155
Gambar 69. Total Emisi Harian Jl. Dr. Leimena	156
Gambar 70. Total Emisi Harian Jl. Abdullah Daeng Sirua.....	157
Gambar 71. Total Emisi Harian Jl. Antang Raya	159
Gambar 72. Total Emisi Harian Jl. Tamangapa Raya.....	160
Gambar 73. Total Emisi Harian Jl. Aroeppala.....	161
Gambar 74. Total Emisi Harian Jl. Letjen Hertasning.....	163
Gambar 75. Total Emisi Harian Jl. Syech Yusuf.....	164
Gambar 76. Total Emisi Harian Jl. Dr. Ratulangi.....	165
Gambar 77. Total Emisi Harian Jl. Jenderal Sudirman.....	166
Gambar 78. Grafik Perbandingan Beban Emisi dengan VKT	172
Gambar 79. Peta Prediksi Distribusi Sebaran Beban Emisi NO _x	198
Gambar 80. Peta Prediksi Distribusi Sebaran Beban Emisi SO ₂	199
Gambar 81. Peta Prediksi Distribusi Sebaran Beban Emisi PM ₁₀	200
Gambar 82. Peta Prediksi Distribusi Sebaran Beban Emisi Parameter CO.....	201

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang untuk Jalan Perkotaan Terbagi atau Jalur Satu Arah/ Jalan Satu Arah.	33
Tabel 2. Nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang untuk Jalan Perkotaan yang Tidak Terbagi (tidak mempunyai median jalan)	34
Tabel 3. Faktor Emisi Kendaraan Bermotor Lama di Indonesia (Kategori Umum)	37
Tabel 4. Faktor Emisi Kendaraan Bermotor Lama di Indonesia (Kategori Tambahan).....	37
Tabel 5. Waktu Penelitian	44
Tabel 6. Karakteristik Jalan Lokasi Penelitian.....	48
Tabel 7. Kategori dan Jenis Kendaraan Bermotor	53
Tabel 8. Faktor Emisi	54
Tabel 9. Rekapitulasi Volume Kendaraan	85
Tabel 10. Rekapitulasi Total <i>Vehicle Kilometer Traveled</i> (VKT)	98
Tabel 11. Rekapitulasi Total Beban Emisi Parameter NO _x	116
Tabel 12. Rekapitulasi Total Beban Emisi Parameter SO ₂	134
Tabel 13. Rekapitulasi Total Beban Emisi Parameter PM ₁₀	151
Tabel 14. Rekapitulasi Total Beban Emisi Parameter CO	168
Tabel 15. Rekapitulasi Total Beban Emisi Parameter NO _x , SO ₂ , PM ₁₀ , dan CO	171
Tabel 16. Total Beban Emisi Tahunan Jl. Ir. Sutami	174
Tabel 17. Total Beban Emisi Tahunan Jl. Dr. Leimena.....	177
Tabel 18. Total Beban Emisi Tahunan Jl. Abdullah Daeng Sirua	180
Tabel 19. Total Beban Emisi Tahunan Jl. Antang Raya	182
Tabel 20. Total Beban Emisi Tahunan Jl. Tamangapa Raya	185
Tabel 21. Total Beban Emisi Tahunan Jl. Aroepala	187
Tabel 22. Total Beban Emisi Tahunan Jl. Letjen Hertasning	190
Tabel 23. Total Beban Emisi Tahunan Jl.Syech Yusuf	192
Tabel 24. Total Beban Emisi Tahunan Jl. Dr. Ratulangi	194
Tabel 25. Total Beban Emisi Tahunan Jl. Jenderal Sudirman	196
Tabel 26. Rekapitulasi Beban Emisi Tahunan	198

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Volume Kendaraan

Lampiran 2. Jenis Merek, Model dan Tipe Kendaraan Bermotor Kategori *Light Vehicle* dan *Heavy Vehicle*

Lampiran 3. Dokumentasi Kegiatan

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman, populasi penduduk yang semakin meningkat terutama di daerah perkotaan menyebabkan tingginya aktivitas kerja masyarakat dan meningkatnya ekonomi masyarakat. Salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya peningkatan ekonomi masyarakat adalah kebutuhan masyarakat yang semakin hari terus bertambah khususnya di bidang transportasi. Transportasi telah menjadi sarana penting bagi masyarakat untuk memudahkan dalam melakukan berbagai aktivitas. Dalam aktivitas di perkotaan yang tinggi menyebabkan masyarakat sangat bergantung pada sarana transportasi khususnya kendaraan bermotor.

Meningkatnya penjualan kendaraan bermotor dari tahun ke tahun dengan kondisi sarana lalu lintas yang tidak memadai menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan. Di beberapa jalan kolektor yang menjadi pusat aktivitas masyarakat di perkotaan sering mengalami kemacetan terutama pada waktu/jam sibuk. Tingginya volume kendaraan yang beroperasi di Jalan Kolektor tersebut sebanding dengan tingginya aktivitas masyarakat dalam menggunakan kendaraan bermotor yang mengeluarkan emisi sehingga menimbulkan pencemaran udara. Emisi yang dikeluarkan dari kendaraan bermotor dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan terjadinya pencemaran udara sehingga dapat mempengaruhi turunnya tingkat kualitas lingkungan.

Menurut Peraturan Pemerintah RI No. 22 Tahun 2021, pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lainnya ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu udara ambien yang telah ditetapkan. Berdasarkan Undang-Undang Nomor 32 tahun 2009 pasal 1 ayat 12 mengenai Pencemaran Lingkungan yaitu pencemaran yang disebabkan oleh aktivitas manusia seperti pencemaran yang

berasal dari pabrik, kendaraan bermotor, pembakaran sampah, sisa pertanian, dan peristiwa alam seperti kebakaran hutan, letusan gunung api yang mengeluarkan debu, gas, dan awan panas (Roza et al., 2017). Lebih lanjut, substansi tersebut dapat berasal dari sifat alami atau aktivitas manusia maupun campuran diantara keduanya yang dapat berdampak pada kesehatan manusia.

Pencemaran udara di daerah perkotaan diperkirakan sebesar 60-70% berasal dari sektor transportasi. Menurunnya kualitas lingkungan dapat diduga dari tingginya konsumsi bahan bakar. Di negara-negara berkembang, penyumbang emisi terbesarnya berasal dari pembakaran bahan bakar fosil (Christian et al. 2010). Penggunaan bahan bakar minyak didominasi oleh sektor transportasi sebesar 55%, diikuti oleh sektor rumah tangga sebesar 19%, industri sebesar 14%, dan listrik sebesar 12% (BPS 2007 dalam Mandra 2013). Sektor transportasi berkontribusi paling tinggi terhadap penurunan kualitas udara di berbagai kota-kota besar di dunia (Tietenberg 2003). Hal ini dikarenakan bensin yang merupakan bahan bakar yang digunakan pada sektor transportasi mengeluarkan senyawa-senyawa seperti CO (karbon monoksida), NO_x (nitrogen oksida), SO₂ (sulfur dioksida), dan CO₂ (karbon dioksida) dan hidrokarbon (HC) yang merupakan sumber besar dari emisi pencemar udara (Nurdjannah, 2015). Apabila kadar dari pencemar-pencemar tersebut melebihi baku mutu dan lama-kelamaan terakumulasi, akan mengganggu kualitas lingkungan dan kesehatan manusia. Beberapa penelitian menyatakan bahwa polusi udara mungkin berdampak akut terhadap kesehatan manusia terutama terhadap orang yang sudah tua, anak kecil, dan kaum minoritas (Swartz 1994 dalam Sovacool BK dan Brown MA 2010).

Kota Makassar sebagai pusat pengembangan kawasan strategis di kawasan timur Indonesia, cenderung mengalami pertumbuhan yang pesat di berbagai bidang termasuk sektor transportasi sebagai penunjang aktivitas masyarakat yang sangat penting dirasakan saat ini. Pertumbuhan ekonomi dan peningkatan jumlah penduduk memberi dampak pertumbuhan sektor transportasi yang meningkat sangat cepat. Jumlah kendaraan umum bermotor yang terdaftar menurut jenis kendaraan (unit) dari tahun 2019–2021 dengan

volume kendaraan pada kategori roda dua sebesar 2.126.259 unit, untuk jenis kendaraan mobil penumpang sebesar 419.464 unit dan jenis kendaraan niaga sebesar 121.305 unit (BPS Kota Makassar, 2022)

Dari hasil evaluasi Kementerian Lingkungan Hidup pada tahun 2013, Kota Makassar masuk dalam Level of Service (LOS) F dimana LOS F menjelaskan kondisi arus terhambat, kecepatan rendah, volume di atas kapasitas, banyak berhenti. Berdasarkan evaluasi tersebut dapat diketahui bagaimana tingkat kemacetan dan volume kendaraan di Kota Makassar. Kemacetan lalu lintas akan mengakibatkan berbagai macam permasalahan yang paling utama adalah masalah pencemaran udara. Jika kondisi tersebut terus terjadi maka kesehatan masyarakat akan terancam. (BLHD Kota Makassar. 2013)

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka dipandang perlu untuk diadakannya penelitian mengenai tingkat pencemaran udara dari emisi kendaraan bermotor dengan melakukan analisis untuk mengetahui besarnya beban emisi parameter NO_x , SO_2 , PM_{10} dan CO yang disebabkan oleh kendaraan bermotor pada Jalan Kolektor yang ada di Kota Makassar. Analisis yang akan dilakukan pada penelitian ini yaitu menggunakan metode Tier 2 untuk mengetahui jumlah emisi gas buang untuk parameter NO_x , SO_2 , PM_{10} dan CO dari kendaraan bermotor yang berada pada Jalan Kolektor di Kota Makassar.

Oleh karena itu, peneliti tertarik mengadakan penelitian sebagai Tugas Akhir dengan judul :

“ANALISIS BEBAN EMISI PARAMETER NO_x , SO_2 , PM_{10} & CO
KENDARAAN BERMOTOR PADA JALAN KOLEKTOR DI KOTA
MAKASSAR MENGGUNAKAN METODE TIER 2”.

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini diantaranya :

- 1) Berapa beban emisi untuk parameter NO_x , SO_2 , PM_{10} dan CO yang dihasilkan dari kendaraan bermotor pada Jalan Kolektor di Kota Makassar menggunakan metode Tier 2?

- 2) Bagaimana prediksi distribusi sebaran beban emisi parameter NO_x, SO₂, PM₁₀ dan CO dari kendaraan bermotor pada Jalan Kolektor di Kota Makassar?

C. Tujuan Penelitian

- 1) Menganalisis besarnya beban emisi parameter NO_x, SO₂, PM₁₀ dan CO yang dihasilkan dari kendaraan bermotor pada Jalan Kolektor di Kota Makassar menggunakan metode Tier 2.
- 2) Menganalisis prediksi distribusi sebaran beban emisi parameter NO_x, SO₂, PM₁₀ dan CO dari kendaraan bermotor pada Jalan Kolektor di Kota Makassar.

D. Ruang Lingkup

Adapun batasan – batasan dari penelitian ini ialah :

- 1) Parameter yang digunakan dalam analisis adalah NO_x, SO₂, PM₁₀ dan CO.
- 2) Penelitian ini menggunakan data volume kendaraan yang ada pada jalan kolektor di Kota Makassar yang terdiri dari Jalan Ir, Sutami, Jalan Abdullah Daeng Sirua, Jalan Dr. Leimena, Jalan Antang Raya, Jalan Tamangapa Raya, Jalan Aroeppala, Jalan Letjen Hertasning, Jalan Syech Yusuf, Jalan Dr. Ratulangi, dan Jalan Jenderal Sudirman.
- 3) Pengambilan data dilakukan selama 4 hari dengan 15 menit untuk mewakili 1 jam yang masing-masing dilakukan pada interval pagi, siang dan sore hari. Pengambilan data dimulai pada pukul 07.00 – 17.00 WITA.
- 4) Jenis kendaraan yang dianalisis pada penelitian ini terdiri atas tiga jenis kendaraan diantaranya kendaraan sepeda motor (MC), kendaraan *Light Vehicle* (LV) yang terbagi atas kategori Sedan, Minibus, Taksi, dan Angkutan kota, kemudian kendaraan *Heavy Vehicle* (HV) yang terbagi atas kategori Pick-up, Jeep, Bus kecil, Bus besar, truk 2 engkel, dan truk 3 engkel.

- 5) Analisis beban emisi dari kendaraan bermotor dilakukan berdasarkan metode Tier 2.

E. Manfaat Penelitian

Dari penelitian berikut, dapat diperoleh manfaat sebagai berikut:

- 1) Manfaat untuk penulis adalah sebagai esensi dalam menyelesaikan studi di perguruan tinggi khususnya Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan mendapatkan gelar S.T (Sarjana Teknik).
- 2) Manfaat untuk Universitas adalah menjadi penambah ilmu pengetahuan bagi generasi berikutnya yang berada di Departemen Teknik Lingkungan terkhusus di bidang Kualitas Udara serta di bidang serupa yang kaitannya mengenai pencemaran udara.
- 3) Manfaat untuk instansi pemerintahan adalah sebagai inventarisasi emisi yang berfungsi untuk menentukan sumber-sumber pencemar udara, sebagai landasan dalam pembuatan kebijakan publik dan digunakan untuk menetapkan strategi dan peraturan.
- 4) Manfaat untuk masyarakat adalah memberikan pengetahuan bagi masyarakat yang tinggal atau beraktivitas pada sekitar Jalan Kolektor di Kota Makassar mengenai besarnya jumlah emisi NO_x , SO_2 , PM_{10} dan CO yang dihasilkan dari kendaraan bermotor dan dampak yang ditimbulkan.

F. Sistematika Penulisan

Laporan penelitian tugas akhir disusun secara sistematis yang tersusun atas bab-bab yang menjelaskan isi dari penelitian yang dilakukan. Adapun susunan sistematika tugas akhir ini, diantaranya

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab 1 memuat penjelasan latar belakang dipilihnya judul penelitian serta urgensi penelitian ini dianggap perlu untuk dilakukan. Selain itu, bab ini juga menjelaskan mengenai rumusan masalah yang diangkat sebagai bahan penelitian, tujuan dari penelitian yang dilakukan, batasan masalah yang

digunakan serta bagaimana manfaat yang akan diberikan kepada penulis, universitas dan kepada masyarakat dengan adanya penelitian ini.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab 2 memuat hasil-hasil studi pustaka yang mendukung penelitian ini penting untuk dilakukan, selain itu bab ini juga memuat teori dan pedoman yang digunakan untuk melakukan analisis sampel penelitian.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab 3 memuat gambaran lokasi dan waktu dilakukannya penelitian, jenis data primer dan sekunder yang dibutuhkan serta alat bahan dan proses pengambilan data dari tahap persiapan hingga analisis sampel dilakukan.

BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Untuk bab 4 memuat pembahasan atas hasil analisis yang telah diteliti baik yang didapatkan secara langsung maupun yang menggunakan data sekunder. Hasil biasanya dijelaskan dengan mengaitkan antara satu variabel dengan variable lainnya.

BAB 5 PENUTUP

Bab terakhir ini memuat inti sari dari keseluruhan pembahasan hasil analisis yang tertuliskan pada sub-bab kesimpulan. Selain itu, bab ini juga terdiri atas saran yang diberikan kepada peneliti selanjutnya yang tertarik pada penelitian serupa agar kedepannya isu mengenai penelitian ini dapat terus berkembang dengan metode dan hasil yang lebih akurat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. UDARA

Udara adalah campuran beberapa macam gas yang perbandingannya tidak tetap, tergantung pada keadaan suhu udara, tekanan udara dan lingkungan sekitarnya (Wardhana, 2004). Udara sangat dibutuhkan oleh manusia, tanaman dan hewan. Menurut Wardhana (2004), dalam udara terdapat unsur oksigen (O₂) untuk bernafas, karbon dioksida (CO₂) untuk proses fotosintesis oleh klorofil pada daun dan ozon (O₃) untuk menahan sinar ultra violet. Udara bersih dan kering tersusun oleh nitrogen (N₂) 78,09 %, oksigen (O₂) 21,94 %, argon (Ar) 0,93 %, karbon dioksida 0,032 % dan gas-gas lain dalam udara antara lain gas-gas mulia, nitrogen oksida, hidrogen, metana, belerang dioksida, ammonia, dan lain-lain (Wardhana, 2004).

Udara merupakan komponen yang membentuk atmosfer bumi, yang membentuk zona kehidupan pada permukaan bumi. Udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfer (lapisan udara setebal 16 km dari permukaan bumi) yang berada di dalam wilayah yurudiksi Republik Indonesia yang memengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup, dan unsur lingkungan hidup lainnya. (Agusta, 2017). Udara dikatakan "normal" dan dapat mendukung kehidupan manusia apabila komposisinya seperti tersebut di atas. Sedangkan apabila terjadi penambahan gas-gas lain yang menimbulkan gangguan serta perubahan komposisi tersebut, maka dikatakan udara sudah tercemar/terpolusi (Kastiyowati, 2009).

B. Pencemaran Udara

Menurut Peraturan Pemerintah RI No. 22 Tahun 2021, pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lainnya ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia sehingga melampaui Baku Mutu Udara Ambien yang telah ditetapkan. Berbeda dengan proses alamiah, kegiatan

manusia yang menghasilkan zat berlebih kemudian masuk ke dalam udara mengakibatkan beban berat sehingga udara tidak dapat memenuhi fungsinya lagi. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara, sumber pencemar udara adalah setiap usaha dan/atau kegiatan yang mengeluarkan bahan pencemar ke udara yang menyebabkan udara tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya.

Sumber pencemaran dapat merupakan kegiatan yang bersifat alami (natural) dan kegiatan antropogenik. Pencemaran udara akibat aktivitas manusia (kegiatan antropogenik), secara kuantitatif sering lebih besar. Untuk kategori ini sumber-sumber pencemaran dibagi dalam pencemaran akibat aktivitas transportasi, industri, dari persampahan, baik akibat dekomposisi ataupun pembakaran, dan rumah tangga. (Soedomo, 2001)

Kadar pencemaran udara ditentukan oleh ada nya zat-zat seperti karbon monoksida, debu/partikel, sulfur dioksida (SO_2), nitrogen oksida (NO_2), hidrokarbon dan hidrogen sulfide (H_2S) serta partikel ($\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} , TSP). Zat-zat tersebut dapat mengakibatkan dampak yang merugikan bagi kesehatan manusia seperti sakit kepala, sesak nafas, iritasi mata, batuk, iritasi saluran pernafasan, rusaknya paru-paru, bronkhitis, dan menimbulkan kerentanan terhadap virus influenza. (Mukono, 2005) Selain manusia zat-zat tersebut juga dapat menimbulkan kerusakan pada tanaman, misalnya zat NO_2 dapat menimbulkan bintik-bintik pada daun sampai mengakibatkan rusaknya tulang-tulang daun. Pencemaran udara juga akan menimbulkan kerusakan pada bangunan, misalnya asam sulfat yang terbentuk sebagai hasil reaksi antara SO_3 dengan uap air yang dapat menyebabkan terjadinya hujan asam (Rahmadini, 2015).

C. Karbon Monoksida (Carbon Monoxide – CO)

CO adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau maupun berasa yang timbul akibat pembakaran tidak sempurna bahan bakar yang mengandung karbon. Gas ini tergolong kategori mudah terbakar dan beracun. Sumber CO terbagi dua, yaitu sumber alami dan sumber antropogenik. Secara alami CO dihasilkan dari aktivitas gunung berapi dan juga kebakaran hutan. Sementara CO juga dihasilkan sebagai produk sampingan aktivitas manusia, diantaranya kendaraan bermotor (lebih dari

75%). Emisi CO umumnya meningkat saat terjadi kemacetan di jalan. Selain itu CO juga dihasilkan dari aktivitas transportasi lain seperti pesawat terbang dan kereta api, proses pembakaran bahan bakar, pembakaran kayu, pembakaran sampah serta aktivitas industri (KLH, 2013).

CO tergolong gas yang beracun dan mematikan. Gas yang tidak menyebabkan iritasi ini memasuki tubuh melalui pernapasan dan kemudian diserap ke dalam peredaran darah. Gas ini juga mampu mengikat hemoglobin yang berfungsi untuk mengangkut oksigen dalam darah dengan daya ikat 240 kali lebih besar dibandingkan dengan daya ikat antara hemoglobin dan oksigen, sehingga menyebabkan berkurangnya kapasitas darah dalam mengangkut oksigen. Secara langsung kompetisi ini akan menyebabkan pasokan oksigen ke seluruh tubuh menurun, sehingga melemahkan kontraksi jantung dan menurunkan volume darah yang didistribusikan. Hal ini kemudian akan mempengaruhi fungsi organ-organ tubuh seperti otak, hati, pusat saraf dan janin. Pada konsentrasi di bawah 100 ppm, CO dapat menyebabkan pusing dan sakit kepala. Sementara konsentrasi 667 ppm dapat menyebabkan 50% hemoglobin dalam darah terikat dengan CO membentuk karboksi-hemoglobin (HbCO). Paparan pada konsentrasi ini dapat menyebabkan kematian (WHO, 1999).

Tidak ditemukan laporan mengenai dampak langsung CO terhadap ekosistem. Secara tidak langsung CO dapat mendorong percepatan produksi nitrogen dioksida (NO₂) pada rantai reaksi yang menghasilkan ozon di udara ambien (di troposfer) yang merupakan pencemar sekunder yang dapat menimbulkan dampak terhadap tumbuh-tumbuhan. Tetapi peran CO di dalam rantai reaksi yang kompleks tersebut tidak terlalu dominan dibandingkan dengan senyawa-senyawa hidrokarbon (KLH, 2013).

D. Nitrogen Oksida (Nitrogen Oxides – NO_x)

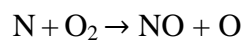
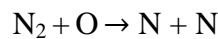
NO_x terdiri atas nitrogen oksida (nitrogen oxide – NO) dan nitrogen dioksida (nitrogen dioxide – NO₂). Mekanisme utama di dalam pembentukan NO₂ di atmosfer adalah oksidasi NO. NO_x merupakan pemicu (prekursor) terbentuknya ozon (O₃) dan hujan asam. NO_x juga dapat bereaksi dengan komponen lain di udara membentuk partikulat (particulate matter – PM). NO_x terbentuk ketika

bahan bakar terbakar pada suhu tinggi. NO_2 adalah salah satu pencemar yang timbul akibat proses pembakaran. Umumnya spesies dari NO_x merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau. Tetapi, NO_2 menjadi pengecualian dimana keberadaannya di daerah perkotaan dapat dilihat sebagai lapisan kabut kecoklatan di langit (KLH, 2013)

Sumber NO_x dapat dikategorikan ke dalam dua kelompok, yaitu:

- NO termal

NO termal adalah NO yang terbentuk melalui reaksi antara nitrogen dan oksigen di udara pada proses dengan suhu yang tinggi. Proses pembakaran selalu memproduksi NO dan NO_2 , dengan komposisi NO umumnya lebih dari 90% total oksida nitrogen yang dihasilkan. Reaksi pembentukan NO pada suhu tinggi dijelaskan melalui mekanisme Zeldovich dimana molekul nitrogen (N_2) dan oksigen (O_2) terpisah menjadi atom tunggal dan kemudian terlibat dalam beberapa reaksi yang menghasilkan molekul NO sebagaimana reaksi di bawah ini:



Produksi NO ini akan maksimum pada kondisi temperatur tertinggi di dalam ruang pembakaran (Colls, 2002).

- NO bahan bakar

NO bahan bakar adalah NO yang berasal dari kandungan nitrogen di dalam bahan bakar. Umumnya minyak bumi dan batu bara mengandung 0,5 – 1,5% nitrogen. Selama proses pembakaran, ikatan nitrogen yang terdapat dalam bahan bakar terlepas sebagai radikal bebas dan kemudian membentuk NO (Colls, 2002).

NO_x menimbulkan dampak pada kesehatan seperti gangguan pernapasan, radang paru-paru (pneumonia) bahkan kematian. Oksida nitrogen yang berada di udara dapat membentuk partikel oksida nitrogen seperti nitrat yang berukuran sangat halus sehingga dapat masuk ke jaringan sensitif paru-paru dan menyebabkan atau memperburuk penyakit pernapasan seperti bronkhitis dan emfisema. Orang yang sehat tidak akan terpengaruh pajanan NO_x dengan

konsentrasi rendah. Sementara orang berpenyakit asma atau penyakit pernapasan lainnya lebih rentan terhadap NO_x karena menyebabkan penyempitan saluran napas (KLH, 2013).

Pajanan selama 30 menit dengan konsentrasi $560 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pada penderita asma telah cukup untuk menimbulkan gangguan pernapasan, sementara pada orang dewasa yang sehat dampak baru akan teramati pada konsentrasi $560 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Harrop, 2002). Pada konsentrasi harian rerata ($84\text{--}185$) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, peningkatan rerata konsentrasi harian sebesar $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berkaitan dengan kenaikan angka kematian sebesar ($0,2\text{--}0,8$)% dan kasus gawat darurat karena serangan asma sebesar ($1,7\text{--}1,8$)% (Ackermann-Liebriech, 1996).

Dampak NO_x pada lingkungan diantaranya adalah:

- Hujan asam yang ditimbulkan dari reaksi antara NO_x dan senyawa-senyawa lain.
- Pemanasan global yang disebabkan oleh salah satu spesies NO_x yaitu nitrous oksida atau dinitrogen monoksida (N_2O)
- Eutrofikasi atau kelebihan nutrisi pada badan air yang menyebabkan timbulnya hama eceng gondok sehingga menurunkan kualitas air, juga disebabkan oleh emisi NO_x . Eutrofikasi ini akan mengurangi konsentrasi oksigen terlarut dalam air sehingga menyebabkan banyak binatang-binatang air yang mati.
- Berkurangnya jarak pandang yang disebabkan oleh partikel nitrat dan NO_2 . Partikel nitrat dan NO_2 mampu menghalangi transmisi cahaya dan membentuk kabut sehingga mengganggu pemandangan.

E. Sulfur Dioksida (Sulfur Dioxide – SO_2)

SO_2 adalah salah satu spesies dari gas-gas oksida sulfur (SO_x). Gas ini sangat mudah terlarut dalam air, memiliki bau namun tidak berwarna. Sebagaimana O_3 , pencemar sekunder yang terbentuk dari SO_2 , seperti partikel sulfat, dapat berpindah dan terdeposisi jauh dari sumbernya. SO_2 merupakan salah satu unsur pembentuk hujan asam. SO_2 juga dapat bereaksi dengan komponen lainnya di udara dan membentuk PM (KLH, 2013).

SO₂ dan gas-gas oksida sulfur lainnya terbentuk saat terjadi pembakaran bahan bakar fosil yang mengandung unsur sulfur. Sulfur sendiri terdapat dalam hampir semua material mentah yang belum diolah seperti minyak mentah, batu bara, dan bijih-bijih yang mengandung metal seperti aluminium, tembaga, seng, timbel dan besi. Di daerah perkotaan, yang menjadi sumber utama sulfur adalah kegiatan pembangkit tenaga listrik, terutama yang menggunakan batu bara ataupun minyak sebagai bahan bakarnya. Selain itu gas buang dari kendaraan yang menggunakan minyak solar, industri-industri yang menggunakan bahan bakar batu bara dan minyak bakar, juga merupakan sumber sulfur (KLH, 2013).

Gas SO₂ dikenal sebagai gas yang dapat menyebabkan iritasi pada sistem pernapasan, seperti pada selaput lendir hidung, tenggorokan dan saluran udara di paru-paru. Efek kesehatan ini menjadi lebih buruk pada penderita asma. Di samping itu SO₂ dapat terkonversi di udara menjadi pencemar sekunder seperti aerosol sulfat (KLH, 2013).

Aerosol yang dihasilkan sebagai pencemar sekunder umumnya mempunyai ukuran yang sangat halus sehingga dapat terhisap ke dalam sistem pernapasan bawah. Aerosol sulfat yang masuk ke dalam saluran pernapasan dapat menyebabkan dampak kesehatan yang lebih parah daripada partikel-partikel lainnya karena mempunyai sifat korosif dan karsinogenik. Oleh karena gas SO₂ berpotensi menghasilkan aerosol sulfat sebagai pencemar sekunder, kasus peningkatan angka kematian karena kegagalan pernapasan terutama pada orang tua dan anak-anak sering berhubungan dengan konsentrasi SO₂ dan partikulat secara bersamaan (Harrop, 2002).

SO₂ merupakan gas yang sangat mudah larut dalam air. Di udara, SO₂ dapat terlarut dalam uap air yang kemudian membentuk asam dan turun sebagai hujan asam. Jika terjadi hujan asam, maka akan terjadi kerusakan tanaman dan material. Dampak hujan asam dapat terjadi pada wilayah yang jauh dari sumber pencemar SO₂ karena adanya pengaruh meteorologi terutama angin. Selain menyebabkan hujan asam, SO₂ juga dapat mengurangi jarak pandang karena gas maupun partikel SO₂ mampu menyerap cahaya sehingga menimbulkan kabut. (KLH, 2013).

F. Partikulat Berdiameter Hingga 10 Mikrometer (PM₁₀)

Partikulat didefinisikan sebagai partikel-partikel halus yang berasal dari padatan maupun cairan yang tersuspensi di dalam gas (udara). Partikel padatan atau cairan ini umumnya merupakan campuran dari beberapa materi organik dan non-organik seperti asam (partikel nitrat atau sulfat), logam, ataupun partikel debu dan tanah. Ukuran partikel sangatlah penting untuk diketahui karena mempengaruhi dampak partikel tersebut terhadap manusia dan lingkungan. PM₁₀ adalah partikel yang berukuran 10 mikrometer atau lebih kecil. (KLH, 2013)

Sumber partikulat dapat berasal dari sumber alami maupun sumber antropogenik. Sumber alami termasuk aktivitas gunung berapi, debu, hutan, dan sebagainya. Sementara beberapa aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil pada kegiatan industri maupun aktivitas kendaraan juga berkontribusi terhadap bertambahnya pencemar partikulat di udara. Kegiatan-kegiatan seperti konstruksi, penghancuran bangunan, dan jalan yang belum diaspal, juga interaksi gas-gas seperti amoniak (NH₃), SO₂, dan hidrokarbon dengan komponen-komponen lainnya di udara akan membentuk partikulat. (KLH, 2013)

Ukuran partikel memegang peranan penting dalam menentukan lokasi menetapnya partikulat serta dampak yang ditimbulkan saat terhisap ke dalam paru-paru. Partikel yang cukup besar biasanya akan tersaring di hidung dan tenggorokan serta tidak menimbulkan efek yang berbahaya. Sementara partikel-partikel yang lebih kecil (inhalable) seperti PM₁₀ atau PM_{2,5} akan masuk lebih dalam ke sistem pernapasan manusia dan menyebabkan gangguan-gangguan pernapasan. Beberapa penelitian menghubungkan antara pajanan pencemar partikulat dan beberapa gangguan sebagai berikut:

- Meningkatnya gejala gangguan pernapasan seperti iritasi, batuk-batuk dan kesulitan bernapas
- Menurunnya fungsi paru-paru
- Memperparah penyakit asma
- Menimbulkan bronkhitis kronis
- Serangan jantung ringan

- Kematian dini bagi penderita penyakit jantung dan paru-paru

PM₁₀ dapat meningkatkan angka kematian yang disebabkan oleh penyakit jantung dan pernapasan. Pada konsentrasi 140 µg/m³, PM₁₀ dapat menurunkan fungsi paru-paru pada anak-anak, sementara pada konsentrasi 350 µg/m³ dapat memperparah kondisi penderita bronkhitis. Toksisitas dari partikel inhalable tergantung pada komposisinya. Partikel yang mengandung senyawa karbon dapat mempunyai efek karsinogenik, atau menjadi carrier pencemar toksik lain yang berupa gas atau semi-gas karena menempel pada permukaannya. (KLH, 2013)

Partikel inhalable juga dapat merupakan partikulat sekunder, yaitu partikel yang terbentuk di atmosfer dari gas-gas hasil pembakaran yang mengalami reaksi fisik-kimia di atmosfer, misalnya partikel sulfat dan nitrat yang terbentuk dari gas SO₂ dan NO_x. Partikel sulfat dan nitrat yang inhalable karena berukuran kecil serta bersifat asam akan bereaksi langsung di dalam sistem pernapasan, menimbulkan dampak yang lebih berbahaya. Termasuk ke dalam partikel inhalable adalah partikel logam timbel (Pb) yang diemisikan dari gas buang kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar mengandung Pb. Karena ukuran aerodinamisnya, partikel Pb dapat terhisap ke dalam saluran pernapasan dan akhirnya terakumulasi di dalam jaringan tubuh seperti tulang, lemak dan darah. (KLH, 2013)

G. Volume Lalu Lintas

Definisi volume lalu lintas yaitu banyaknya kendaraan yang melewati suatu titik atau garis tertentu pada suatu penampang melintang jalan. Data pencacahan volume lalu lintas adalah informasi yang diperlukan untuk fase perencanaan, desain, manajemen sampai pengoperasian jalan (Sukirman 1994). Menurut Sukirman (1994), volume lalu lintas menunjukkan jumlah kendaraan yang melintasi satu titik pengamatan dalam satu satuan waktu (hari, jam, menit). Sehubungan dengan penentuan jumlah dan lebar jalur, satuan volume lalu lintas yang umum dipergunakan adalah lalu lintas harian rata-rata, volume jam perencanaan dan kapasitas. Data jumlah kendaraan kemudian dihitung dalam kendaraan/jam untuk setiap kendaraan. Menurut (MKJI, 1997), kendaraan bermotor di jalan perkotaan dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu sepeda motor

(MC), kendaraan ringan (LV), dan kendaraan berat (HV), sedangkan kendaraan tidak bermotor dimasukkan sebagai kejadian terpisah dalam faktor penyesuaian hambatan samping. Data volume kendaraan dihitung secara terpisah berdasarkan dengan golongan atau tipenya. Maka dari itu dalam proses perhitungan, data volume tersebut perlu dikalikan dengan koefisien satuan mobil penumpang (smp). Berikut penggolongan atau klasifikasi kendaraan motor.

1. Sepeda Motor (Sepeda motor/ MC)

Kendaraan bermotor beroda dua atau tiga, contohnya seperti sepeda motor, scooter, kendaraan roda tiga klasifikasi Bina Marga)

2. Kendaraan Ringan (*Light Vehicle/ LV*)

Kendaraan bermotor beroda empat, dengan dua gandar berjarak 2,0 3,0 m (termasuk kendaraan penumpang, opelet, mikro bis, angkot, mikro bis, pick-up, dan truk kecil).

3. Kendaraan Berat (*Heavy Vehicle/ HV*)

Kendaraan bermotor dengan jarak as lebih dari 3,50 m, biasanya beroda lebih dari empat, (meliputi : bis, truk dua as, truk tiga as dan truk kombinasi sesuai sistem klasifikasi Bina Marga)

Menurut MKJI (1997), definisi dari Satuan Mobil Penumpang (SMP) adalah satuan untuk arus lalu lintas dimana arus berbagai tipe kendaraan diubah menjadi arus kendaraan ringan termasuk mobil penumpang dengan menggunakan Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP). EMP didefinisikan sebagai faktor yang menunjukkan berbagai tipe kendaraan dibandingkan kendaraan ringan sehubungan dengan pengaruh terhadap kecepatan kendaraan ringan dalam arus lalu lintas (untuk mobil penumpang dan kendaraan ringan yang sasisnya mirip, emp = 1,0). Nilai ekuivalensi mobil penumpang dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang untuk Jalan Perkotaan Terbagi atau Jalur Satu Arah/ Jalan Satu Arah.

Tipe Jalan	Arus lalu	emp
------------	-----------	-----

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

(Sumber : MKJI, 1997)

Tabel 2. Nilai Ekivalensi Mobil Penumpang untuk Jalan Perkotaan yang Tidak Terbagi (tidak mempunyai median jalan)

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

(Sumber : MKJI, 1997)

Kemudian nilai ekivalensi yang merupakan faktor satuan mobil penumpang (P) ini dimasukkan dalam rumus volume lalu lintas:

$$Q = P \times Qv \quad (1)$$

Keterangan:

Q = volume kendaraan bermotor (smp/jam).

P = Faktor satuan mobil penumpang.

Qv = Volume kendaraan bermotor (kendaraan per-jam).

H. Emisi Kendaraan Bermotor

Sektor transportasi memegang peran yang sangat besar dalam pencemaran udara. Di kota-kota besar, kontribusi gas buang kendaraan bermotor sebagai sumber polusi udara mencapai 60-70%, sementara kontribusi gas buang dari cerobong asap industri hanya berkisar 10- 15%, dan sisanya berasal dari sumber pembakaran lain seperti rumah tangga, pembakaran sampah, kebakaran hutan, dan lain-lain (BPLH DKI Jakarta, dalam Maharani, J, 2019).

Emisi diartikan sebagai suatu zat, energi atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk dan/atau dimasukkan ke dalam udara ambien yang mempunyai dan/atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar. (KLH, 1990). Emisi utama yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor meliputi prekursor (pembentuk) ozon (CO, NO_x, senyawa organik volatil non-metana), gas-gas rumah kaca diantaranya CO₂, CH₄, N₂O dan zat pengasaman (NH₃, SO₂), Particulate Matter (PM), senyawa karsinogenik (PAHs dan POPs), senyawa beracun (dioxin dan furan), serta logam-logam berat (EEA, 2019). Emisi gas buang dari transportasi pada jalan raya diproduksi dari hasil samping bahan bakar kendaraan seperti bensin dan solar serta gas alam pada mesin pembakar internal.

Pengontrolan emisi yang dilakukan untuk mereduksi gas buang yang berbahaya pada kendaraan bermotor sudah banyak dilakukan, terutama di negara-negara maju. Metode dan teknik yang dilakukan ada beberapa macam, antara lain dengan jalan melakukan pemilihan bahan bakar, pemilihan proses dan perawatan mesin. Sedangkan untuk mereduksi gas buang kendaraan bermotor, metode yang biasanya dipakai adalah modifikasi mesin, modifikasi pada saluran gas buang, modifikasi penggunaan bahan bakar atau sistem bahan bakarnya (Irawan, 2008).

1. Metode Perhitungan Beban Emisi Sumber Bergerak

Emisi dapat diestimasi dengan tingkat kompleksitas yang berbeda-beda. Dalam CORINAIR dan IPCC, tingkat kompleksitas tersebut disebut 'Tier'. Terdapat tiga Tier, yaitu Tier 1, Tier 2, dan Tier 3. Semakin tinggi angka Tier,

semakin kompleks perhitungannya dan semakin spesifik data yang diperlukan, serta semakin akurat emisinya (KLH, 2013).

Metode faktor emisi Tier 1 adalah metode paling sederhana. Metode ini menggunakan data aktivitas berupa data statistik intensitas proses, misal jumlah bahan bakar dalam satuan vol/waktu. Untuk faktor emisi yaitu menggunakan nilai default. Nilai default ini mengasumsikan hubungan linier antara intensitas proses dan emisi yang dihasilkan, dan juga mengasumsikan deskripsi proses secara rerata atau tipikal (KLH, 2013). Perhitungan emisi dengan Tier 1 berdasarkan pada konsumsi bahan bakar, perhitungannya menggunakan persamaan (2) seperti yang diuraikan sebagai berikut (Tiarani, 2016).

$$Emission = \sum a [Fuel a \times EF a] \quad (2)$$

Keterangan:

- Emission = Beban emisi polutan tertentu (kg)
- Fuel a = Konsumsi bahan bakar jenis a (TJ)
- FE a = Faktor emisi (kg/TJ)
- A = Jenis bahan bakar (seperti premium, solar)

Sumber bergerak dibagi atas on-road dan non-road. Sumber bergerak on-road meliputi seluruh kendaraan bermotor yang beroperasi di jalan raya. Sumber bergerak non-road termasuk kereta api, kapal laut, pesawat terbang, mesin-mesin pertanian, dan lain-lain. Terdapat dua metode untuk menghitung emisi sumber bergerak yaitu dengan menggunakan Tier 2 dan Tier 3. Perhitungan emisi Tier 3 dilakukan langsung dalam model emisi. Sedangkan metode Tier 2 menggunakan faktor emisi berbasis kilometer jalan kendaraan (*vehicle kilometer traveled-VKT* atau panjang perjalanan rerata kendaraan per tahun). (KLH, 2013)

Metode Tier 2 adalah perhitungan beban emisi dengan cara menghitung perjalanan rerata kendaraan, atau *Vehicle Kilometer Traveled (VKT)* dan kemudian dikalikan dengan faktor emisi masing-masing jenis pencemar untuk tiap jenis kendaraan berbeda. Faktor emisi didefinisikan sebagai laju rata-rata emisi polutan yang dikeluarkan terhadap tingkat aktivitas dari kegiatan tersebut (Cooper

dan Alley, 1994). Faktor emisi mengacu pada faktor emisi nasional (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12/2010 tentang Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah). Adapun nilai faktor emisi untuk setiap kategori kendaraan beserta parameter pencemarnya dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Faktor Emisi Kendaraan Bermotor Lama di Indonesia (Kategori Umum)

Kategori	CO	HC	NO _x	PM ₁₀	CO ₂	SO ₂
	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/kg BBM)	(g/km)
Sepeda Motor	14	5.9	0.29	0.24	3180	0.008
Mobil Penumpang (Bensin)	40	4	2	0.01	3180	0.026
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
Bis	11	1.3	11.9	1.4	3172	0.93
Truk	8.4	1.8	17.7	1.4	3172	0.82

Sumber: KLH, 2013

Tabel 4. Faktor Emisi Kendaraan Bermotor Lama di Indonesia (Kategori Tambahan)

Kategori	CO	HC	NO _x	PM ₁₀	CO ₂	SO ₂
	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/kg BBM)	(g/km)
Angkutan Kota (Minibus)	43.1	5.08	2.1	0.006	3180	0.029
Taksi	55.3	5.6	2.8	0.008	3180	0.025
Roda 3 (bajaj)	70.7	33.8	0.25	1.2	3180	0.013
Pick-up	31.8	3.5	2	0.026	3178	0.13
Jeep	36.7	3.86	2.36	0.039	3178	0.145
Van/ minibus	24	2.9	1.55	0.029	3178	0.14
Sedan	33.8	3.7	1.9	0.004	3180	0.023

Sumber: KLH, 2013

Untuk jaringan jalan utama, emisi diperlakukan sebagai sumber garis atau line source. Dalam perhitungan VKT setiap kategori kendaraan pada suatu ruas jalan diasumsikan karakteristik lalu lintasnya tetap sehingga perhitungannya dapat dilakukan seperti pada persamaan (2) dan (3) berikut (KLH, 2013):

$$VKT_{j,line} = Q_{ji} \times I_i \quad (3)$$

$$E_{cji} = VKT_{ji} \cdot FE_{ej} (100 - C)/100 \quad (4)$$

Keterangan:

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

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

I_i = Panjang ruas jalan i (km)

E_{cji} = Emisi pencemar c untuk kendaraan kategori j pada ruas jalan i

FE_{ej} = Faktor Emisi (g/Km)

C = Efisiensi peralatan pengendali emisi (%)

C = 0, jika tidak terpasang peralatan pengendali

Metode faktor emisi Tier 3 merupakan metode yang lebih rinci dari Tier 2. Data aktivitas dan faktor emisi yang digunakan yaitu nilai spesifik untuk kategori sumber sesuai dengan jenis bahan bakar, teknologi pembakaran, kondisi pengoperasian, teknologi pengendalian, pemeliharaan dan usia peralatan, faktor oksidasi. Metode Tier 3 adalah estimasi berdasarkan metoda spesifik suatu negara dengan data aktivitas yang lebih akurat (pengukuran langsung) dan faktor emisi spesifik suatu negara atau suatu pabrik (country specific/plant specific) (Mulyana, 2017). Faktor emisi mengacu pada standar EURO untuk kendaraan tipe baru yang disesuaikan dengan faktor-faktor komposisi armada termasuk usia kendaraan, teknologi kendaraan, kondisi lalu lintas, perilaku berkendara, jenis dan kualitas bahan bakar (KLH, 2013).

I. Sistem Informasi Geografis dengan Analisis Spasial

Pengolahan dengan citra adalah suatu proses-proses pengolahan dengan analisis citra yang dilakukan secara penginderaan jauh dengan proses digital. Dalam pengolahan dengan citra digital dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak. Salah satu perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah ArcGis versi 10.6. ArcGis merupakan suatu perangkat lunak yang dapat

mengelola data dan menampilkan dalam bentuk peta online (Rohim, Wahyu. dkk, 2015). Dengan perangkat tersebut dengan mudah dalam mengolah citra penginderaan dengan teknik interpolasi. Interpolasi merupakan teknik yang sering disebut sebagai resampling yang berguna untuk menambah serta mengurangi jumlah piksel dalam suatu citra digital (Pasaribu, Junita dkk, 2012). Sedangkan data spasial merupakan suatu penyajian data dengan bentuk yang berupa geografis dengan suatu lokasi yang telah ditentukan. Data spasial dengan teknik interpolasi dalam penelitian ini menggunakan metode *Inverse Distance Weighted (IDW)*. Metode IDW merupakan suatu metode dengan cara *deterministic* yang dilakukan dengan sederhana dan adanya pertimbangan dengan titik-titik disekitarnya (Pramono, 2008). *Inverse Distance Weighting (IDW)* dapat dilihat dalam persamaan (5) berikut ini (Azpurua dan Ramos, 2010):

$$Z^* = \sum_{i=1}^N w_i Z_i \quad (5)$$

Dengan keterangan Z_i ($i = 1, 2, 3, \dots, N$) adalah suatu nilai ketinggian data yang ditentukan dengan sejumlah N sebagai titik. Sedangkan dengan bobot atau *weight* w_i dapat dirumuskan dengan persamaan (6) seperti berikut:

$$w_i(x) = \frac{h_i^{-p}}{\sum_{j=0}^n h_j^{-p}} \quad (6)$$

Pada nilai p merupakan suatu nilai-nilai positif yang dapat dikatakan sebagai parameter *power*. Sedangkan untuk h_j adalah suatu jarak dengan persebaran titik ke titik suatu persebaran interpolasi dan dapat dilihat pada persamaan (7) sebagai berikut:

$$h_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (7)$$

Pada (x, y) merupakan suatu titik koordinat interpolasi. Sedangkan pada $x - x_i$ merupakan titik koordinat yang digunakan sebagai sebaran pada titik. Selain itu, adanya peubah atau yang disebut dengan *weight* yang berfungsi sebagai sebaran

titik pada data yang nilainya mendekati nol pada suatu pertambahan jarak terhadap persebaran titik. Untuk penentuan jumlah kelas warna yang akan digunakan sebagai representasi tingkatan nilai beban emisi dapat dilihat pada persamaan (8) sebagai berikut:

$$K = 1 + 3,3 \cdot \log(n) \quad (8)$$

Keterangan:

n : adalah banyaknya data yang diperoleh

J. Jalan Kolektor

Definisi jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap, dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada permukaan tanah, diatas permukaan tanah, dibawah permukaan tanah dan atau air, serta diatas permukaan air, kecuali jalan kereta api dan jalan kabel (UU No. 38 tahun 2004 tentang Jalan). Jalan umum adalah jalan yang diperuntukkan bagi lalu lintas umum, menurut fungsinya dikelompokkan kedalam jalan arteri, jalan kolektor, jalan lokal, dan jalan lingkungan. Jalan kolektor merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan pengumpul atau pembagi dengan ciri perjalanan jarak sedang kecepatan rata-rata sedang, dan jumlah jalan masuk dibatasi (Tjandra, 2017). Jalan kolektor primer adalah jalan yang menghubungkan secara berdaya guna antar pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan lokal, antar pusat kegiatan wilayah, atau antara pusat kegiatan wilayah dengan pusat kegiatan lokal, sedangkan jalan kolektor sekunder adalah jalan yang menghubungkan kawasan sekunder kedua dengan kawasan sekunder kedua, atau kawasan sekunder kedua dengan kawasan sekunder ketiga (Perda Kota Makassar No. 4 Tahun 2015).

Berdasarkan sifat dan pergerakan pada lalu lintas dan angkutan jalan, fungsi jalan dibedakan atas arteri, kolektor, lokal, dan lingkungan (PP No. 34 Tahun 2006):

- Jalan arteri merupakan jalan yang menghubungkan secara berdaya guna antarpusat kegiatan nasional atau antara pusat kegiatan nasional dengan

pusat kegiatan wilayah. Jalan arteri didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 60 (enam puluh) kilometer per jam dengan lebar badan jalan paling sedikit 11 (sebelas) meter. Jalan arteri mempunyai kapasitas yang lebih besar dari volume lalu lintas rata-rata.

- Jalan kolektor merupakan jalan yang menghubungkan secara berdaya guna antara pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan lokal, antarpusat kegiatan wilayah, atau antara pusat kegiatan wilayah dengan pusat kegiatan lokal. Jalan kolektor didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 40 (empat puluh) kilometer per jam dengan lebar badan jalan paling sedikit 9 (sembilan) meter.
- Jalan lokal merupakan jalan yang menghubungkan secara berdaya guna pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan lingkungan, pusat kegiatan wilayah dengan pusat kegiatan lingkungan, antarpusat kegiatan lokal, atau pusat kegiatan lokal dengan pusat kegiatan lingkungan, serta antarpusat kegiatan lingkungan. Jalan lokal didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 20 (dua puluh) kilometer per jam dengan lebar badan jalan paling sedikit 7,5 (tujuh koma lima) meter.
- Jalan lingkungan merupakan jalan yang menghubungkan antarpusat kegiatan di dalam kawasan perdesaan dan jalan di dalam lingkungan kawasan perdesaan. Jalan lingkungan didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 15 (lima belas) kilometer per jam dengan lebar badan jalan paling sedikit 6,5 (enam koma lima) meter.