

TUGAS AKHIR

**ANALISIS TINGKAT KONSENTRASI
KARBON MONOKSIDA (CO) DAN NITROGEN DIOKSIDA (NO₂)
KAWASAN SEKOLAH DI KOTA MAKASSAR**



ULFAH AZHAAR MAHARANY

D121 16 005

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2020

**ANALISIS TINGKAT KONSENTRASI
KARBON MONOKSIDA (CO) DAN NITROGEN DIOKSIDA (NO₂)
KAWASAN SEKOLAH DI KOTA MAKASSAR**

ULFAH AZHAAR MAHARANY

D121 16 005

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada
Fakultas Teknik



**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2020**



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

JL. POROS MALINO, KM.6 BONTOMARANNU KAB. GOWA

LEMBAR PENGESAHAN

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

Judul : Analisis Tingkat Konsentrasi Karbon Monoksida (Co) dan Nitrogen Dioksida (No₂) Kawasan Sekolah di Kota Makassar

Disusun Oleh :

Nama : Ulfah Azhaar Maharany D121 16 005

Telah diperiksa dan disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Gowa, 04 Maret 2021

Pembimbing I

Pembimbing II

Prof. Ir. Sakti Adji Adisasmita, Msi. M. Eng. SC. Ph.D.
NIP. 196404221993031001

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

Menyetujui,
Ketua Departemen Teknik Lingkungan



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

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Ulfah Azhaar Maharany, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “Analisis Tingkat Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Dioksida (NO₂) Kawasan Sekolah di Kota Makassar”, adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan 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.

Gowa, 20 Desember 2020

Yang membuat pernyataan,



Ulfah Azhaar Maharany

D121 16 005

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “**Analisis Tingkat Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Dioksida (NO₂) Kawasan Sekolah Kota Makassar**”. Shalawat dan salam semoga tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW pimpinan dan sebaik-baik teladan bagi umat yang membawa manusia dari zaman kegelapan menuju zaman yang terang benderang. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan kelulusan pada jenjang S1 Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis banyak mengalami hambatan, namun berkat bantuan, bimbingan, nasehat, dan doa dari berbagai pihak yang membuat penulis semangat dan mampu dalam menyelesaikan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya..

Terselesainya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua penulis yakni Ayahanda Imran Samidin dan Ibunda Rahmatia Rengen yang tiada hentinya memberikan dukungan, nasehat dan doa yang senantiasa mengiringi setiap langkah penulis dan yang telah mencurahkan segenap kasih sayang yang tak terbatas serta segala bentuk motivasi yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan hingga saat ini.
2. Gilang dan Fachry Weiz selaku saudara kandung penulis yang bersedia untuk selalu membantu, menemani, dan selalu siap sedia saat dibutuhkan dalam menyelesaikan tugas akhir penulis.
3. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Prof. Ir. Sakti Adji Adisasmitha, M. Si, M. Eng, Sc., Ph. D. selaku Dosen Pembimbing I dan Ibu Rasdiana Zakaria, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan dan bimbingan, meluangkan waktu di tengah kesibukannya selama penulis melaksanakan penyusunan tugas akhir ini, dan juga selalu memberikan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan penyusunan tugas akhir.
5. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Departemen Teknik Lingkungan atas bimbingan, arahan, didikan, dan motivasi yang telah diberikan selama kurang lebih empat tahun.

6. Ibu Sumiati dan Kak Olan selaku staf karyawan Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang selalu membantu setiap administrasi selama penulis melaksanakan perkuliahan.
7. Kak Nurfa dan Kak Denissa yang telah mengajarkan dan mengarahkan penulis selama pengerjaan penelitian dan penyusunan tugas akhir.
8. Teman-teman Lab. Riset Udara dan Bising 2016 yang selalu membantu dan menemani menyelesaikan kepusingan tugas akhir.
9. Teman-teman Teknik Lingkungan 2016 dan PATRON 2017 atas segala bantuan, cerita, dan momen *unforgettable* selama masa perkuliahan.
10. Andi Ratifa Nurul Muhlisah selaku teman kamar selama kurang lebih 3 tahun, yang selalu menjadi tempat berbagi tawa dan tangis, inspirasi, dan *partner* yang luar biasa sehingga memberikan warna di kehidupan kampus penulis.
11. Rizqah Nur Auliyah selaku teman kerja praktik penulis yang telah bersama-sama berjuang mengarungi lautan dan menjelajah di PT. Pupuk Kaltim.
12. Kepada rekan-rekan dan berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-satu, penulis ucapkan banya terima kasih atas setiap bantuan serta doa yang diberikan.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan kalian. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Namun, penulis berharap tugas akhir ini memberikan manfaat bagi pembaca. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan guna melengkapi segala kekurangan dan keterbatasan dalam penyusunan tugas akhir ini. Akhir kata semoga tugas akhir ini memberikan manfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan dan lingkungan.

Toraja, Juni 2020
Penulis,

Ulfah Azhaar Maharany
D121 16 005

ABSTRAK

ULFAH AZHAAR MAHARANY. *Analisis Tingkat Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Dioksida (NO₂) Kawasan Sekolah di Kota Makassar* (dibimbing oleh Sakti Adji Adisasmitha dan Rasdiana Zakaria).

Kota Makassar merupakan salah satu ibukota terpadat di Indonesia dengan jumlah kendaraan mencapai 1.563.608 unit dan terus meningkat 5-6% tiap tahunnya. Kendaraan bermotor setidaknya menghasilkan gas Karbon Monoksida (CO), Oksida Nitrogen (NO_x), Oksida Sulfur (SO_x), dan lain-lain. Meningkatnya jumlah kendaraan bermotor di kota Makassar mengakibatkan peningkatan konsentrasi polutan di udara ambien karena hasil pembakaran bahan bakar bermotor. Sekolah yang berada di tengah kota beresiko menerima dampak pencemaran udara akibat emisi dari penggunaan bahan bakar kendaraan bermotor.

Penelitian ini dilakukan pada 6 sekolah di Kota Makassar selama 11 jam. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Dioksida (NO₂) di udara ambien berdasarkan pengukuran tidak langsung menggunakan *software* Caline-4 dan menganalisis pola sebaran pada 6 sekolah. Data volume kendaraan, koordinat lokasi, dan data meteorologi dianalisis menggunakan *software* Caline-4 untuk menghasilkan konsentrasi polutan. Selanjutnya pola sebaran dipetakan menggunakan *software* Surfer 12.0.

Hasil penelitian ini menunjukkan tingkat konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Dioksida (NO₂) masih berada dibawah nilai ambang batas yang dipersyaratkan oleh Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 tahun 1999 tentang baku mutu udara ambien yaitu untuk Karbon Monoksida (CO) sebesar 30.000 µg/Nm³ dan untuk Nitrogen Dioksida (NO₂) sebesar 400 µg/Nm³ dengan waktu pengukuran satu jam. Penelitian menunjukkan nilai konsentrasi rata-rata untuk polutan Karbon Monoksida (CO) yang dihasilkan sebesar 1602,24 µg/Nm³ – 3433,36 µg/Nm³, dan untuk polutan Nitrogen Dioksida (NO₂) sebesar 114,45 µg/Nm³ – 143,58 µg/Nm³. Pola sebaran tingkat konsentrasi polutan tersebut ditunjukkan dengan pewarnaan kontur untuk nilai konsentrasi tertinggi berwarna merah, dan nilai konsentrasi terendah dengan warna biru.

Kata Kunci : Karbon Monoksida (CO), Nitrogen Dioksida (NO₂), Kawasan Sekolah, Caline-4, Surfer 12.0.

ABSTRACT

ULFAH AZHAAR MAHARANY. *Analysis of Concentration Levels of Carbon Monoxide (CO) and Nitrogen Dioxide (NO₂) of School Area in Makassar (supervised by Sakti Adji Adisasmitha and Rasdiana Zakaria).*

Makassar city is one of the most populated capital city in Indonesia with the number of vehicles reaching 1,563,608 units and keep increased by 5-6% every year. Motor vehicles produced at least Carbon Monoxide (CO), Nitrogen Oxide (NO_x), Sulfur Oxide (SO_x), and others. The increasing number of motor vehicles in the city of Makassar made an impact on increase the concentration of pollutants in ambient air due to the combustion of vehicle fuel. Schools in the middle of the city are risky of air pollution impact due to emissions from the usage of vehicle fuel.

This research was conducted in 6 different high schools in Makassar City for 11 hours. This study aims to analyze the concentration levels of Carbon Monoxide (CO) and Nitrogen Dioxide (NO₂) in ambient air based on indirect measurements using Caline-4 software and to analyze distribution patterns in 6 different high schools. Vehicle volume data, location coordinates, and meteorological data were analyzed using Caline-4 software to produce pollutant concentrations. Furthermore, the distribution pattern using Surfer 12.0 software.

The results of this study shows that concentration levels of Carbon Monoxide (CO) and Nitrogen Dioxide (NO₂) not exceeding the threshold value required by Government Regulation of Indonesia Number 41 of 1999 on Ambient Air Quality Standards, which is for Carbon Monoxide (CO) was 30,000 µg/Nm³ and for Nitrogen Dioxide (NO₂) was 400 µg/Nm³ with an hour measurement time. The study shows the average concentration value for Carbon Monoxide (CO) pollutants produced was 1602.24 µg/Nm³ – 3433.36 µg/Nm³, and for Nitrogen Dioxide (NO₂) pollutants was 114.45 µg/Nm³ – 143.58 µg/Nm³. The distribution of concentration level of the pollutant was indicated by contour coloring, for the highest concentration values in red, and the lowest concentration values in blue.

Keywords : Carbon Monoxide (CO), Nitrogen Dioxide (NO₂), High Schools Area, Caline-4, Surfer 12.0.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	4
D. Ruang Lingkup	4
E. Manfaat Penelitian	4
F. Sistematika Penulisan	5
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Udara Ambien	6
B. Pencemaran Udara	6
1. Pengertian Pencemaran Udara	6
2. Jenis Pencemaran Udara	6
3. Sumber Pencemar Udara	7
C. Emisi Kendaraan Bermotor	8
1. Pengertian Emisi	8
2. Jenis Kendaraan Bermotor	9
3. Besaran Emisi Kendaraan Bermotor	10
D. Karbon Monoksida (CO)	11
1. Pengertian Karbon Monoksida (CO)	11
2. Sumber Pencemar Karbon Monoksida (CO)	11
3. Dampak Karbon Monoksida (CO)	12
4. Baku Mutu Karbon Monoksida (CO)	13
E. Nitrogen Dioksida (NO ₂)	14
1. Pengertian Nitrogen Dioksida (NO ₂)	14

2. Sumber Pencemar Nitrogen Dioksida (NO ₂).....	14
3. Dampak Nitrogen Dioksida (NO ₂)	15
4. Baku Mutu Nitrogen Dioksida (NO ₂).....	16
F. Model Dispersi Caline-4.....	16
G. Program Golden Surfer 12.....	19
H. Wind Rose	19
I. Standar Deviasi.....	20
J. Uji Hipotesis (<i>T-Test</i>).....	21
K. Sekolah	22
BAB III	24
METODOLOGI PENELITIAN.....	24
A. Rancangan Penelitian	24
B. Waktu Penelitian	26
C. Gambaran Lokasi.....	26
D. Peralatan Yang Digunakan.....	33
E. Pengumpulan Data.....	40
F. Analisa Data	40
BAB IV	42
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	42
A. Karakteristik Sekolah	42
B. Volume Kendaraan.....	42
C. Nilai Besaran Emisi.....	50
D. Faktor Meteorologi.....	56
E. Kecepatan dan Arah Angin Dominan (WRPLOT).....	59
F. Estimasi Sebaran Polutan CO di Sekolah.....	65
G. Estimasi Sebaran Polutan NO ₂ di Sekolah	75
H. Uji Statistik (<i>T-Test</i>).....	84
I. Pemetaan Sebaran Polutan CO	89
J. Pemetaan Sebaran Polutan NO ₂	96
BAB V	103
KESIMPULAN DAN SARAN.....	103
A. Kesimpulan.....	103
B. Saran.....	104
DAFTAR PUSTAKA	105
LAMPIRAN.....	108

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Seri Elemen Yang Digunakan Caline-4.....	17
Gambar 2. Seri Elemen Yang Diwakilkan oleh Sumber Garis Terhingga yang Ekuivalen	17
Gambar 3. Representasi Elemen Sumber Garis Terbatas	18
Gambar 4. Bagan Alir Penelitian.....	25
Gambar 5. Peta Lokasi SMA Negeri 1 Makassar.....	27
Gambar 6. Peta Lokasi SMA Negeri 2 Makassar.....	28
Gambar 7. Peta Lokasi SMA Negeri 5 Makassar.....	29
Gambar 8. Peta Lokasi SMA Negeri 17 Makassar.....	30
Gambar 9. Peta Lokasi MAN 2 Model Makassar	31
Gambar 10. Peta Lokasi SMA Islam Athirah Makassar	32
Gambar 11. <i>Google Earth</i>	33
Gambar 12. <i>Interface Software WRPLOT View</i>	34
Gambar 13. <i>Flowchart</i> Pengolahan Data Angin pada <i>WRPLOT View</i>	34
Gambar 14. <i>Software Caline-4</i>	35
Gambar 15. Diagram Alir Caline-4	36
Gambar 16. Golden Surfer 12	39
Gambar 17. <i>Flowchart</i> Analisis Data	41
Gambar 18. Volume Kendaraan SMA Negeri 1 Makassar Jl. G. Bawakaraeng Tahun 2019.....	43
Gambar 19. Volume Kendaraan SMA Negeri 1 Makassar Jl. G. Bawakaraeng Tahun 2020.....	43
Gambar 20. Volume Kendaraan SMA Negeri 2 Makassar Jl. Baji Gau Tahun 2019	44
Gambar 21. Volume Kendaraan SMA Negeri 2 Makassar Jl. Baji Gau Tahun 2020	45
Gambar 22. Volume Kendaraan SMA Negeri 5 Makassar Jl. Taman Makam Pahlawan Tahun 2019	45
Gambar 23. Volume Kendaraan SMA Negeri 5 Makassar Jl. Taman Makam Pahlawan Tahun 2020	46
Gambar 24. Volume Kendaraan SMA Negeri 17 Makassar Jl. Sunu Tahun 2019	46
Gambar 25. Volume Kendaraan SMA Negeri 17 Makassar Jl. Sunu Tahun 2020	47
Gambar 26. Volume Kendaraan MAN 2 Model Makassar Jl. AP. Pettarani Tahun 2019	47
Gambar 27. Volume Kendaraan MAN 2 Model Makassar Jl. AP. Pettarani Tahun 2020	48
Gambar 28. Volume Kendaraan SMA Islam Athirah Makassar Jl. Kajaolalido Tahun 2019.....	48
Gambar 29. Volume Kendaraan SMA Islam Athirah Makassar Jl. Kajaolalido Tahun 2020.....	49
Gambar 30. <i>Wind Rose</i> SMA Negeri 1 Makassar	59
Gambar 31. Kecepatan Angin Dominan SMA Negeri 1 Makassar.....	59
Gambar 32. <i>Wind Rose</i> SMA Negeri 2 Makassar	60
Gambar 33. Kecepatan Angin Dominan SMA Negeri 2 Makassar.....	60
Gambar 34. <i>Wind Rose</i> SMA Negeri 5 Makassar	61
Gambar 35. Kecepatan Angin Dominan SMA Negeri 5 Makassar.....	61
Gambar 36. <i>Wind Rose</i> SMA Negeri 17 Makassar	62
Gambar 37. Kecepatan Angin Dominan SMA Negeri 17 Makassar.....	62
Gambar 38. <i>Wind Rose</i> MAN 2 Model Makassar	63
Gambar 39. Kecepatan Angin Dominan MAN 2 Model Makassar	63
Gambar 40. <i>Wind Rose</i> SMA Islam Athirah Makassar	64
Gambar 41. Kecepatan Angin Dominan SMA Islam Athirah Makassar	64
Gambar 42. Sebaran Polutan CO di SMA Negeri 1 Makassar.....	89
Gambar 43. <i>Wind Rose</i> di SMA Negeri 1 Makassar	89
Gambar 44. Sebaran Polutan CO di SMA Negeri 2 Makassar.....	90
Gambar 45. <i>Wind Rose</i> di SMA Negeri 2 Makassar	90

Gambar 46. Sebaran Polutan CO di SMA Negeri 5 Makassar.....	91
Gambar 47. <i>Wind Rose</i> di SMA Negeri 5 Makassar	91
Gambar 48. Sebaran Polutan CO di SMA Negeri 17 Makassar	92
Gambar 49. <i>Wind Rose</i> di SMA Negeri 17 Makassar	92
Gambar 50. Sebaran Polutan CO di MAN 2 Model Makassar	93
Gambar 51. <i>Wind Rose</i> di MAN 2 Model Makassar	93
Gambar 52. Sebaran Polutan CO di SMA Islam Athirah Makassar	94
Gambar 53. <i>Wind Rose</i> di SMA Islam Athirah Makassar	94
Gambar 54. Sebaran Polutan NO ₂ di SMA Negeri 1 Makassar	96
Gambar 55. <i>Wind Rose</i> di SMA Negeri 1 Makassar	96
Gambar 56. Sebaran Polutan NO ₂ di SMA Negeri 2 Makassar	97
Gambar 57. <i>Wind Rose</i> di SMA Negeri 2 Makassar	97
Gambar 58. Sebaran Polutan NO ₂ di SMA Negeri 5 Makassar	98
Gambar 59. <i>Wind Rose</i> di SMA Negeri 5 Makassar	98
Gambar 60. Sebaran Polutan NO ₂ di SMA Negeri 17 Makassar	99
Gambar 61. <i>Wind Rose</i> di SMA Negeri 17 Makassar	99
Gambar 62. Sebaran Polutan NO ₂ di MAN 2 Model Makassar	100
Gambar 63. <i>Wind Rose</i> di MAN 2 Model Makassar	100
Gambar 64. Sebaran Polutan NO ₂ di SMA Islam Athirah Makassar	101
Gambar 65. <i>Wind Rose</i> di SMA Islam Athirah Makassar	101

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai Faktor Emisi Kendaraan Bermotor	10
Tabel 2. Sumber Pencemar Karbon Monoksida (CO)	12
Tabel 3. Efek Konsentrasi CO dalam Darah terhadap Kesehatan Manusia	13
Tabel 4. Baku Mutu Udara Ambien Karbon Monoksida (CO)	13
Tabel 5. Baku Mutu Udara Ambien Nitrogen Oksida (NOx)	16
Tabel 6. Lebar Jalan Lokasi Penelitian	26
Tabel 7. Koordinat Link dan Reseptor SMA Negeri 1 Makassar	27
Tabel 8. Koordinat Link dan Reseptor SMA Negeri 2 Makassar	28
Tabel 9. Koordinat Link dan Reseptor SMA Negeri 5 Makassar	29
Tabel 10. Koordinat Link dan Reseptor SMA Negeri 17 Makassar	30
Tabel 11. Koordinat Link dan Reseptor MAN 2 Model Makassar	31
Tabel 12. Koordinat Link dan Reseptor SMA Islam Athirah Makassar	32
Tabel 13. Klasifikasi Kestabilan Atmosfer Berbasis Caline-4	38
Tabel 14. Karakteristik Sekolah	42
Tabel 15. Besaran Emisi CO dan NOx SMA Negeri 1 Makassar	50
Tabel 16. Besaran Emisi CO dan NOx SMA Negeri 2 Makassar	51
Tabel 17. Besaran Emisi CO dan NOx SMA Negeri 5 Makassar	52
Tabel 18. Besaran Emisi CO dan NOx SMA Negeri 17 Makassar	53
Tabel 19. Besaran Emisi CO dan NOx MAN 2 Model Makassar	54
Tabel 20. Besaran Emisi CO dan NOx SMA Islam Athirah Makassar	55
Tabel 21. Data Meteorologi SMA Negeri 1 Makassar	56
Tabel 22. Data Meteorologi SMA Negeri 2 Makassar	56
Tabel 23. Data Meteorologi SMA Negeri 5 Makassar	57
Tabel 24. Data Meteorologi SMA Negeri 17 Makassar	57
Tabel 25. Data Meteorologi MAN 2 Model Makassar	58
Tabel 26. Data Meteorologi SMA Islam Athirah Makassar	58
Tabel 27. Estimasi Konsentrasi Polutan CO di SMA Negeri 1 Makassar	65
Tabel 28. Konsentrasi Rata-Rata Polutan CO di SMA Negeri 1 Makassar	66
Tabel 29. Estimasi Konsentrasi Polutan CO di SMA Negeri 2 Makassar	67
Tabel 30. Konsentrasi Rata-Rata Polutan CO di SMA Negeri 2 Makassar	67
Tabel 31. Estimasi Konsentrasi Polutan CO di SMA Negeri 5 Makassar	68
Tabel 32. Konsentrasi Rata-Rata Polutan CO di SMA Negeri 5 Makassar	69
Tabel 33. Estimasi Konsentrasi Polutan CO di SMA Negeri 17 Makassar	70
Tabel 34. Konsentrasi Rata-Rata Polutan CO di SMA Negeri 17 Makassar	70
Tabel 35. Estimasi Konsentrasi Polutan CO di MAN 2 Model Makassar	72
Tabel 36. Konsentrasi Rata-Rata Polutan CO di MAN 2 Model Makassar	72
Tabel 37. Estimasi Konsentrasi Polutan CO di SMA Islam Athirah Makassar	73
Tabel 38. Konsentrasi Rata-Rata Polutan CO di SMA Islam Athirah Makassar	74
Tabel 39. Estimasi Konsentrasi Polutan NO ₂ di SMA Negeri 1 Makassar	75
Tabel 40. Konsentrasi Rata-Rata Polutan NO ₂ di SMA Negeri 1 Makassar	76
Tabel 41. Estimasi Konsentrasi Polutan NO ₂ di SMA Negeri 2 Makassar	77
Tabel 42. Konsentrasi Rata-Rata Polutan NO ₂ di SMA Negeri 2 Makassar	77
Tabel 43. Estimasi Konsentrasi Polutan NO ₂ di SMA Negeri 5 Makassar	78
Tabel 44. Konsentrasi Rata-Rata Polutan NO ₂ di SMA Negeri 5 Makassar	78
Tabel 45. Estimasi Konsentrasi Polutan NO ₂ di SMA Negeri 17 Makassar	79
Tabel 46. Konsentrasi Rata-Rata Polutan NO ₂ di SMA Negeri 17 Makassar	80
Tabel 47. Estimasi Konsentrasi Polutan NO ₂ di MAN 2 Model Makassar	81

Tabel 48. Konsentrasi Rata-Rata Polutan NO ₂ di MAN 2 Model Makassar	81
Tabel 49. Estimasi Konsentrasi Polutan NO ₂ di SMA Islam Athirah Makassar.....	82
Tabel 50. Konsentrasi Rata-Rata Polutan NO ₂ di SMA Islam Athirah Makassar	82
Tabel 51. Uji T-test Volume Kendaraan di SMA Negeri 1 Makassar	84
Tabel 52. Uji T-test Volume Kendaraan di SMA Negeri 2 Makassar	85
Tabel 53. Uji T-test Volume Kendaraan di SMA Negeri 5 Makassar	85
Tabel 54. Uji T-test Volume Kendaraan di SMA Negeri 17 Makassar	86
Tabel 55. Uji T-test Volume Kendaraan di MAN 2 Model Makassar	87
Tabel 56. Uji T-test Volume Kendaraan di SMA Islam Athirah Makassar	87

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pencemaran udara telah lama dan masih menjadi penyebab masalah bagi kesehatan manusia dan lingkungan, terutama di negara-negara yang banyak memiliki pabrik dan kendaraan bermotor. Sekitar 70% penduduk kota di dunia pernah menghirup udara kotor dari emisi kendaraan bermotor. Kontribusi gas buang kendaraan bermotor sebagai sumber pencemaran udara di kota-kota besar mencapai 60-70% dibandingkan dengan industri berkisar antara 10-15%, sehingga kendaraan bermotor adalah penghasil emisi terbesar.

Kota Makassar merupakan salah satu ibukota terpadat di Indonesia. Menurut data dari Samsat Makassar, angka kepemilikan kendaraan pada tahun 2016 terdapat 1.425.150 unit kendaraan, pada tahun 2017 mencapai 1.505.835 unit dan hingga Oktober 2018, kendaraan mencapai 1.563.608 unit yang dimana apabila dirata-ratakan kenaikan angka kepemilikan kendaraan di Makassar mencapai 5 hingga 6 persen tiap tahunnya. Kendaraan bermotor setidaknya menghasilkan gas Karbon Monoksida (CO), Oksida Nitrogen (NO_x), Oksida Sulfur (SO_x), dan lain-lain. Meningkatnya jumlah kendaraan bermotor di kota Makassar mengakibatkan peningkatan konsentrasi polutan di udara ambien.

Berdasarkan hasil evaluasi Kementerian Lingkungan Hidup pada tahun 2013, Kota Makassar sebagai salah satu kota metropolitan masuk dalam *Level of Service* (LOS) F yaitu kondisi arus terhambat, kecepatan rendah, volume di atas kapasitas, banyak berhenti. Dari evaluasi tersebut dapat diketahui bagaimana tingkat kemacetan dan volume kendaraan di Kota Makassar. Sehubungan dengan kondisi tersebut Kementerian Lingkungan Hidup menyatakan nilai polutan CO yang berasal dari kendaraan bermotor di Kota Makassar dari tahun 2011 ke tahun 2012 meningkat sebesar 38,46%. Jika kondisi tersebut terus terjadi maka kesehatan masyarakat akan terancam. (BLHD Kota Makassar, 2013)

Salah satu gas parameter pencemar tersebut adalah gas karbon monoksida (CO), gas CO adalah gas yang tidak berwarna, tidak berasa, tidak mengiritasi, dan tidak berbau. Gas ini dihasilkan melalui pembakaran gas, bahan bakar kendaraan bermotor, petrol dan bahan bakar padat atau kayu, dan bahaya utama dari gas CO adalah gangguan pada darah. Gas CO tidak mengiritasi tapi gas CO sangat berbahaya hingga disebut "*silent killer*". Batas pemaparan gas CO yang diperbolehkan oleh OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) adalah 35 ppm untuk waktu 8 jam/hari kerja. Kadar yang dianggap langsung berbahaya terhadap kehidupan dan kesehatan adalah 1500 ppm atau 0,15% (Pandhika, 2015).

Oksida-oksida nitrogen (NO_x) adalah senyawa gas di atmosfer yang sebagian besar terdiri atas nitrit oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO_2) serta berbagai jenis oksida dalam jumlah yang lebih sedikit. Kedua macam gas tersebut mempunyai sifat yang sangat berbeda dan keduanya sangat berbahaya bagi kesehatan. Oksida nitrogen (NO_x) merupakan salah satu polutan yang banyak dihasilkan dari kendaraan bermotor dan proses industri. EPA's National Ambient Air Quality Standard (NAAQS) menerangkan bahwa kendaraan bermotor merupakan penyumbang emisi gas NO_x terbesar. Nilai baku mutu gas NO_x yang masih diperbolehkan pada udara emisi menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup adalah pada kisaran konsentrasi 1000 mg/m^3 - 1700 mg/m^3 . Sedangkan baku mutu udara ambien sebesar $150 \text{ }\mu\text{g/m}^3$.

Semakin banyak jumlah kendaraan bermotor akan menyebabkan penggunaan bahan bakar juga meningkat dan akan menghasilkan polusi udara yang juga semakin tinggi karena hasil pembakaran tersebut. Sekolah yang berada di tengah kota beresiko menerima dampak pencemaran udara akibat emisi dari penggunaan bahan bakar kendaraan bermotor. Kepadatan transportasi yang ada di lingkungan sekolah terjadi pada jam sibuk seperti pada pagi hari, siang hari dan sore hari khususnya pada jam masuk serta jam pulang sekolah akan berpengaruh bagi siswa sekolah. Pada dasarnya sekolah harus berada di lingkungan yang sangat kondusif agar anak-anak dapat menerima pelajaran dengan baik. Lokasi sekolah yang berada di dekat jalur transportasi utama kota yang awalnya menguntungkan bagi sekolah karena lokasinya mudah dijangkau. Dari lokasi sekolah yang dinilai cukup strategis namun tidak cocok dengan kenyamanan belajar siswa di sekolah, maka timbullah permasalahan bahwa lokasi yang dekat dengan jalan utama cenderung memiliki tingkat pencemaran udara yang lebih tinggi dan berujung pada dampak diterima oleh siswa-siswi di sekolah (Arnita, 2015).

Untuk mengetahui sebaran konsentrasi CO dan NO_2 dapat dilakukan dengan menggunakan *software*. Salah satu *software* untuk melihat prediksi polutan di suatu titik adalah *software* Caline-4. Caline-4 adalah program untuk memodelkan dispersi emisi udara dari sumber garis yang dikembangkan oleh *California Departement of Transportation (Caltrans)*. Program ini menggunakan konsep zona pencampuran untuk membuat perkiraan dispersi polutan di sekitar jalan raya. Program ini memperkirakan sebaran polutan yang berada dekat dengan jalan raya dengan memasukkan beberapa parameter seperti, volume lalu lintas per link, faktor emisi kendaraan, meteorologi, dan geometri lokasi. Caline-4 dapat mendeteksi polutan di titik reseptor hingga 500 meter dari sumber. Polutan yang diprediksi

adalah polutan yang relatif bersifat inerf (tidak mudah bereaksi dengan senyawa kimia lain) seperti CO, NO_x, dan PM₁₀ (Benson, 1989).

Konsentrasi *background* adalah konsentrasi gas di udara ambien pada suhu tertentu dengan kondisi tertentu di daerah yang belum dipengaruhi oleh polutan dari kendaraan bermotor. Adapun konsentrasi *background* CO, menurut Flagon dan Seinfeld tahun 1988 bahwa nilai rata-rata konsentrasi *background* CO di 0,1 ppm. Selain itu, berdasarkan data kualitas udara ambien dari BPLHD DKI Jakarta tahun 2005, nilai konsentrasi *background* CO untuk parameter CO sebesar 1,4 ppm. Sedangkan untuk NO₂ dibutuhkan konsentrasi *background* O₃, NO, dan NO₂, rasio NO₂/NO_x, serta laju fotolisis NO₂. Konsentrasi *background* O₃ sebesar 0,20 ppm; konsentrasi *background* NO sebesar 0,02 ppm; dan konsentrasi *background* NO₂ sebesar 0,10 ppm. Nilai konstanta laju fotolisis NO₂ adalah sebesar 0.004 det⁻¹ untuk *standard run* (Benson, 1984). Adapun penelitian Vera Surtia tahun 2016 menyatakan bahwa konsentrasi NO₂ hasil pengukuran lapangan dan hasil *output* Caline-4 memiliki hubungan berbanding lurus, artinya ketika *output* Caline-4 menghasilkan angka yang tinggi pengukuran di lapangan juga didapati memiliki hasil dengan *output* yang tinggi.

Adapun penelitian terdahulu yakni Analisis Kuantitas Emisi Di Kawasan Sekolah Berbasis Caline-4 oleh Denissa Yuliana Winardhy tahun 2018 hasil dari penelitian tersebut memberi kesimpulan bahwa konsentrasi polutan Karbon Monoksida (CO) tertinggi kawasan sekolah berada pada jam puncak pagi dan sore secara berurutan yaitu, di MAN 2 Model Makassar pada pukul 17.00 WITA sebesar 9 ppm, SMP Negeri 4 Makassar pada pukul 06.00 WITA sebesar 3,1 ppm, dan SMA Negeri 11 Makassar pada pukul 07.00 WITA sebesar 2,2 ppm.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan untuk mengetahui pola sebaran serta estimasi dampak polutan yang diterima pada kawasan sekolah. Melihat dari kondisi tersebut maka peneliti mengadakan penelitian sebagai Tugas Akhir dengan judul “*Analisis Tingkat Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Dioksida (NO₂) Kawasan Sekolah di Kota Makassar*”.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan diantaranya:

- 1) Berapa tingkat konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Dioksida (NO₂) di Kawasan Sekolah dengan menggunakan *software* Caline-4.

- 2) Bagaimana pola sebaran emisi kendaraan di Kawasan Sekolah dengan menggunakan *software* Caline-4.

C. Tujuan Penelitian

Adapun beberapa tujuan penelitian ini sebagai berikut:

- 1) Mengetahui besaran tingkat konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Dioksida (NO₂) di Kawasan Sekolah dengan menggunakan *software* Caline-4.
- 2) Mengetahui pola sebaran emisi Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Dioksida (NO₂) di Kawasan Sekolah dengan menggunakan *software* Caline-4.

D. Ruang Lingkup

Adapun batasan-batasan dari penelitian ini yaitu:

- 1) Parameter pencemar yang digunakan dalam pemodelan dan pemantauan adalah Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Dioksida (NO₂)
- 2) Lokasi penelitian yaitu SMA Negeri 1 Makassar, SMA Negeri 2 Makassar, SMA Negeri 5 Makassar, SMA Negeri 17 Makassar, MAN 2 Model Makassar, dan SMA Islam Athirah Makassar
- 3) Penelitian ini dilakukan selama 5 hari yaitu pada 25 - 26 Maret, 9, 15, dan 25 April 2020 dari pukul 07.00 – 17.00 WITA.
- 4) Volume kendaraan diasumsikan sama sepanjang jalan tersebut tanpa mempertimbangkan setiap persimpangan / belokan yang ada (volume kendaraan yang masuk sama besar dengan volume kendaraan saat keluar dari jalan tersebut)
- 5) Untuk parameter CO digunakan konsentrasi *background* yaitu CO sebesar 1,4 ppm, sedangkan untuk parameter NO₂ digunakan konsentrasi *background* yaitu NO sebesar 0,02 ppm, NO₂ sebesar 0,10 ppm, O₃ sebesar 0,20 ppm, Laju fotolisis NO sebesar 0,004 det⁻¹, dan rasio NO₂/NO_x sebesar 0,02.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu:

- 1) Bagi Penulis
Sebagai syarat untuk menyelesaikan studi dan mendapat gelar ST (Sarjana Teknik) di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- 2) Bagi Universitas

Dapat dijadikan sebagai referensi bagi generasi-generasi selanjutnya yang berada di Departemen Teknik Lingkungan khususnya yang mengambil konsentrasi di bidang Kualitas Udara atau sejenisnya dalam pengerjaan tugas, pembuatan laporan praktikum, atau dalam tahap penyusunan tugas akhir.

3) Bagi Masyarakat

Memberikan pengetahuan bagi pengguna jalan raya terutama bagi orang yang berada di lingkungan sekolah di lokasi penelitian mengenai pencemaran polutan CO dan NO yang telah dihasilkan kendaraan bermotor yang melintasi SMA Negeri 1 Makassar, SMA Negeri 2 Makassar, SMA Negeri 5 Makassar, SMA Negeri 17 Makassar, MAN 2 Model Makassar, dan SMA Islam Athirah Makassar.

F. Sistematika Penulisan

Penulisan laporan penelitian tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab dimana masing-masing bab membahas masalah tersendiri, selanjutnya sistematika laporan ini sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, identifikasi permasalahan objek tugas akhir, maksud dan tujuan, batasan masalah, dan bagaimana sistematika penulisan.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Bab ini menjelaskan suatu landasan teori dari suatu penelitian tertentu atau karya ilmiah sering disebut juga sebagai studi literatur atau tinjauan pustaka.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan mengenai langkah-langkah atau prosedur pengambilan dan pengolahan data hasil penelitian.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Menyajikan data-data hasil penelitian yang telah dikumpulkan, analisis data, hasil analisis data dan pembahasannya.

BAB 5 PENUTUP

Dalam bab ini berisi kesimpulan dari hasil analisis data yang telah dilakukan serta saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Udara Ambien

Udara adalah atmosfer yang ada di sekeliling bumi yang fungsinya sangat penting untuk kehidupan di muka bumi ini, dalam udara terdapat oksigen (O₂) untuk bernafas, karbon dioksida (CO₂) untuk proses fotosintesis oleh khlorofil daun, dan ozon (O₃) untuk menahan sinar *ultraviolet* dari matahari (Kamal, 2015).

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PPRI) No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, udara ambien adalah udara bebas dipermukaan bumi pada lapisan troposfir yang berada di dalam wilayah yurisdiksi Republik Indonesia yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup dan unsur lingkungan hidup lainnya.

B. Pencemaran Udara

1. Pengertian Pencemaran Udara

Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) Republik Indonesia No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya.

Pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam udara oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan atau mempengaruhi kesehatan manusia (Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1407/MENKES/SK/XI/2002).

2. Jenis Pencemaran Udara

Ada beberapa jenis pencemaran udara, yaitu (Kamal, 2015) :

a. Berdasarkan Bentuk

- 1) Gas, adalah uap yang dihasilkan dari zat padat atau zat cair karena dipanaskan atau menguap sendiri. Contohnya: CO₂, CO, SO_x, NO_x.
- 2) Partikel, adalah suatu bentuk pencemaran udara yang berasal dari zarah-zarah kecil yang terdispersi ke udara, baik berupa padatan, cairan, maupun padatan dan cairan secara bersama-sama. Contohnya: debu, asap, kabut, dan lain - lain.

- b. Berdasarkan Tempat
 - 1) Pencemaran udara dalam ruang (*indoor air pollution*) yang disebut juga udara tidak bebas seperti di rumah, pabrik, bioskop, sekolah, rumah sakit, dan bangunan lainnya. Biasanya zat pencemarnya adalah asap rokok, asap yang terjadi di dapur tradisional ketika memasak, dan lain - lain.
 - 2) Pencemaran udara luar ruang (*outdoor air pollution*) yang disebut juga udara bebas seperti asap dari industri maupun kendaraan bermotor.
- c. Berdasarkan Gangguan atau Efeknya Terhadap Kesehatan
 - 1) Iritansia, adalah zat pencemar yang dapat menimbulkan iritasi jaringan tubuh, seperti SO₂, O₃, dan NO₂.
 - 2) Aspeksia, adalah keadaan dimana darah kekurangan oksigen dan tidak mampu melepas Karbon Dioksida. Gas penyebab tersebut seperti CO, H₂S, NH₃, dan CH₄.
 - 3) Anestesia, adalah zat yang mempunyai efek membius dan biasanya merupakan pencemaran udara dalam ruang. Contohnya; *Formaldehyde* dan Alkohol.
 - 4) Toksis, adalah zat pencemar yang menyebabkan keracunan. Zat penyebabnya seperti Timbal, Cadmium, Fluor, dan Insektisida.
- d. Berdasarkan Susunan Kimia
 - 1) Anorganik, adalah zat pencemar yang tidak mengandung karbon seperti asbestos, ammonia, asam sulfat, dan lain - lain.
 - 2) Organik, adalah zat pencemar yang mengandung karbon seperti pestisida, herbisida, beberapa jenis alkohol, dan lain – lain.
- e. Berdasarkan asalnya
 - 1) Primer, adalah suatu bahan kimia yang ditambahkan langsung ke udara yang menyebabkan konsentrasinya meningkat dan membahayakan. Contohnya : CO₂, yang meningkat diatas konsentrasi normal.
 - 2) Sekunder, adalah senyawa kimia berbahaya yang timbul dari hasil reaksi antara zat polutan primer dengan komponen alamiah. Contohnya : *Peroxy Acetil Nitrat* (PAN)

3. Sumber Pencemar Udara

Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) Republik Indonesia No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, Sumber pencemar adalah setiap usaha dan/atau kegiatan yang mengeluarkan bahan pencemar ke udara yang menyebabkan udara tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya.

Menurut Ratnani (2008), sumber pencemaran dapat merupakan kegiatan yang bersifat alami dan kegiatan antropogenik. Contoh sumber alami adalah akibat letusan gunung berapi, kebakaran hutan, dekomposisi biotik, debu, spora tumbuhan dan lain sebagainya. Pencemaran akibat kegiatan manusia secara kuantitatif sering lebih besar, misalnya sumber pencemar akibat aktivitas transportasi, industri, persampahan baik akibat proses dekomposisi ataupun pembakaran dan rumah tangga.

Pencemaran udara akibat kegiatan transportasi yang sangat penting adalah akibat kendaraan bermotor di darat yang menghasilkan gas CO, NO_x, hidrokarbon, SO₂ dan *Tetraethyl lead*, yang merupakan bahan logam timah yang ditambahkan kedalam bensin berkualitas rendah untuk meningkatkan nilai oktan guna mencegah terjadinya letupan pada mesin. Parameter penting akibat aktivitas ini adalah CO, Partikulat, NO_x, HC, Pb, dan SO_x (Ratnani, 2008). Sumber pencemaran partikel akibat ulah manusia sebagian besar berasal dari pembakaran batu bara, proses industri, kebakaran hutan dan gas buangan alat transportasi (Pohan, 2002).

C. Emisi Kendaraan Bermotor

1. Pengertian Emisi

Menurut PP No. 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara yang dimaksud dengan emisi adalah zat, energi dan/atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk dan/atau dimasukkannya ke dalam udara ambien yang mempunyai dan/atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar. Sumber emisi adalah setiap usaha dan/atau kegiatan yang mengeluarkan emisi dari sumber bergerak, sumber bergerak spesifik, sumber tidak bergerak maupun sumber tidak bergerak spesifik.

Emisi gas buang kendaraan adalah sisa hasil pembakaran bahan bakar didalam mesin kendaraan yang dikeluarkan melalui sistem pembuangan mesin, sedangkan proses pembakaran adalah reaksi kimia antara oksigen di dalam udara dengan senyawa hidrokarbon di dalam bahan bakar untuk menghasilkan tenaga dalam reaksi yang sempurna, maka sisa hasil pembakaran adalah berupa gas buang yang mengandung karbon dioksida (CO₂), uap air (H₂O), Oksigen (O₂) dan Nitrogen (N₂). Dalam prakteknya, pembakaran yang terjadi di dalam mesin kendaraan tidak selalu berjalan sempurna sehingga di dalam gas buang mengandung senyawa berbahaya seperti karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), Nitrogen oksida (NO_x) dan partikulat. Di samping itu untuk bahan bakar yang mengandung

timbal dan sulfur, hasil pembakaran di dalam mesin kendaraan juga akan menghasilkan gas buang yang mengandung sulphur dioksida (SO₂) dan logam berat (Pb) (Abdullah, 2018).

Pengertian uji emisi kendaraan bermotor berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup nomor 5 tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama adalah uji emisi gas buang yang wajib dilakukan untuk kendaraan bermotor secara berkala. Di dalam peraturan tersebut juga dijelaskan bahwa pelaksanaan uji emisi di suatu daerah dievaluasi oleh Bupati atau Walikota minimal 6 bulan sekali.

2. Jenis Kendaraan Bermotor

Berdasarkan UU RI No. 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, Kendaraan bermotor adalah setiap kendaraan yang digerakkan oleh peralatan mekanik berupa mesin selain kendaraan yang berjalan di atas rel. Jenis kendaraan bermotor yang tercantum dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 55 Tahun 2012 tentang Kendaraan dikelompokkan dalam:

a. Sepeda motor

Sepeda motor didefinisikan sebagai kendaraan bermotor roda dua dengan atau tanpa rumah-rumah dan dengan atau tanpa kereta samping atau kendaraan bermotor roda tiga tanpa rumah-rumah. Rodanya sebaris dan pada kecepatan tinggi sepeda motor tetap tidak terbalik dan stabil disebabkan oleh gaya giroskopik; pada kecepatan rendah pengaturan berkelanjutan setangnya oleh pengendara memberikan kestabilan.

b. Mobil penumpang

Mobil penumpang yang di maksud yaitu kendaraan bermotor yang memiliki tempat duduk maksimal delapan orang.

c. Mobil bus

Mobil bus yang di maksud yaitu kendaraan bermotor angkutan orang yang memiliki tempat duduk lebih dari 8 (delapan) orang, termasuk untuk Pengemudi atau yang beratnya lebih dari 3.500 (tiga ribu lima ratus) kilogram

d. Mobil barang

Mobil barang yang di maksud adalah kendaraan bermotor yang digunakan untuk angkutan barang.

e. Kendaraan khusus

Kendaraan khusus yang di maksud adalah kendaraan bermotor yang dirancang khusus yang memiliki fungsi dan rancang bangun tertentu

3. Besaran Emisi Kendaraan Bermotor

Nilai faktor emisi yang digunakan adalah faktor emisi gas buang kendaraan untuk kota metropolitan dan kota besar di Indonesia yang ditetapkan berdasarkan kategori kendaraan berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah. Nilai faktor emisi dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 1. Nilai Faktor Emisi Kendaraan Bermotor

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

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2010

Besaran emisi dapat ditentukan melalui persamaan berikut :

$$q = \frac{\sum_{i=1}^n (EF_i \times V_i)}{T} \quad (1)$$

Dimana :

- q = Besaran emisi (gram/km)
- EF = Faktor emisi kendaraan (gram/km)
- V = Volume kendaraan (kendaraan/jam)
- I = Tipe/Jenis Kendaraan
- T = Total Kendaraan

Adapun nilai besaran emisi, apabila nilai satuannya dalam gram/km, maka dapat dikonversi ke gram/mil. Dengan ketentuan 1 gram/km = 0,621 gram/mil (Winardhy, 2018).

D. Karbon Monoksida (CO)

1. Pengertian Karbon Monoksida (CO)

Karbon Monoksida (CO) adalah suatu gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa dengan jumlah sedikit di udara sekitar 0,1 ppm yang berada di lapisan atmosfer, oleh karena itu lingkungan yang tercemar oleh gas Karbon Monoksida (CO) tidak dapat dilihat oleh mata. Gas karbon monoksida (CO) diproduksi oleh proses pembakaran yang tidak sempurna dari bahan-bahan yang mengandung karbon. Gas CO sebagian besar berasal dari pembakaran bahan bakar fosil dengan udara berupa gas buangan (Wardhana, 2001).

Menurut Nevers (2000) tiga perempat dari CO yang masuk ke udara berasal dari aktivitas manusia terutama dari kendaraan bermotor yang menggunakan mesin internal engine, internal engine merupakan sebuah mesin yang sumber tenaganya berasal dari pengembangan gas-gas panas bertekanan tinggi hasil campuran bahan bakar dan udara yang berlangsung di dalam ruang bakar. Konsentrasi ambien CO yang paling tinggi berasal dari kota-kota besar, dimana hampir semua konsentrasi CO berasal dari kendaraan bermotor. Pengendalian yang paling efektif dari CO adalah dengan cara mengurangi emisi dari kendaraan bermotor. CO juga dihasilkan dalam jumlah yang sedikit berasal dari proses pembakaran, contohnya adalah dari kebakaran hutan dan proses perindustrian.

2. Sumber Pencemar Karbon Monoksida (CO)

Asap kendaraan merupakan sumber utama bagi karbon monoksida di berbagai perkotaan. Data mengungkapkan bahwa 60% pencemaran udara di Jakarta disebabkan karena benda bergerak atau transportasi umum yang berbahan bakar solar terutama berasal dari angkutan umum. Formasi CO merupakan fungsi dari rasio kebutuhan udara dan bahan bakar dalam proses pembakaran di dalam ruang bakar mesin diesel. Percampuran yang baik antara udara dan bahan bakar terutama yang terjadi pada mesin-mesin yang menggunakan *turbocharge* merupakan salah satu strategi untuk meminimalkan emisi CO (Wahyu, 2012).

Sumber pencemar gas CO yang terbesar, berdasarkan hasil penelitian di negara-negara industri berasal dari pemakaian bahan bakar fosil (minyak dan batu bara) pada mesin-mesin penggerak transportasi. Hal ini dapat dilihat pada tabel berikut ini

Tabel 2. Sumber Pencemar Karbon Monoksida (CO)

Sumber Pencemar Karbon Monoksida (CO)	Jumlah Persentase (%)
Transportasi	63,8 %
Pembakaran Stasioner	1,9 %
Proses Industri	9,6 %
Pembuangan Limbah Padat	7,8 %

Sumber : Muchtar, 2018

3. Dampak Karbon Monoksida (CO)

Keberadaan gas CO akan sangat berbahaya jika terhirup oleh manusia karena gas itu akan menggantikan posisi oksigen yang berkaitan dengan haemoglobin dalam darah. Bahaya utama terhadap kesehatan adalah mengakibatkan gangguan pada darah, Batas paparan karbon monoksida yang diperbolehkan oleh OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) adalah 35 ppm untuk waktu 8 jam/hari kerja, sedangkan yang diperbolehkan oleh ACGIH TLV-TWV adalah 25 ppm untuk waktu 8 jam. Kadar yang dianggap langsung berbahaya terhadap kehidupan atau kesehatan adalah 1500 ppm (0,15%). Paparan dari 1000 ppm (0,1%) selama beberapa menit dapat menyebabkan 50% kejenuhan dari karboksi hemoglobin dan dapat berakibat fatal.

Keracunan gas karbon monoksida gejala didahului dengan sakit kepala, mual, muntah, rasa lelah, berkeringat banyak, *pyrexia*, pernafasan meningkat, confusion, gangguan penglihatan, kebingangan, hipotensi, takikardi, kehilangan kesadaran dan sakit dada mendadak juga dapat muncul pada orang yang menderita nyeri dada. Kematian kemungkinan disebabkan karena sukar bernafas dan edema paru. Kematian akibat keracunan karbon monoksida disebabkan oleh kurangnya oksigen pada tingkat seluler (seluler *hypoxia*). Sel darah tidak hanya mengikat oksigen melainkan juga gas lain. Kemampuan atau daya ikat ini berbeda untuk satu gas dengan gas lain. Sel darah merah mempunyai ikatan yang lebih kuat terhadap karbon monoksida (CO) dari pada oksigen (O₂). Sehingga kalau terdapat CO dan O₂, sel darah merah akan cenderung berikatan dengan CO.

Efek paparan CO dapat menyebabkan kumpulan gejala terhadap kesehatan manusia, efek CO dalam darah dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 3. Efek Konsentrasi CO dalam Darah terhadap Kesehatan Manusia

Konsentrasi CO dalam Darah	Gejala
2,5 – 5%	Tidak ada gejala
5 – 10%	Aliran darah meningkat dan sakit kepala ringan
10 – 20%	Tegang daerah dahi, sakit kepala, dan penglihatan terganggu
20 – 30%	Sakit kepala sedang, berdenyut-denyut, dahi (<i>Throbbing Temple</i>), wajah merah, dan mual
30 – 50%	Sakit kepala berat, vertigo, mual, muntah, lemas, dan mudah pingsan bahkan terjatuh saat beraktifitas
50 – 60%	Koma, hipotensi, kadang disertai kejang, dan pernafasan <i>Cheyne-Stokes</i>
60 – 70%	Koma dengan kejang, penekanan pernafasan dan fungsi jantung, kematian
70 – 80%	Denyut nadi lemah, pernafasan lambat, gagal hemodinamik, dan kematian

Sumber : Pandhika, 2015.

4. Baku Mutu Karbon Monoksida (CO)

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 untuk baku mutu udara ambien adalah ukuran batas atau kadar zat, energi, dan/atau komponen yang ada atau yang seharusnya ada dan/atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam udara ambien, Udara yang melebihi baku mutu dapat merusak lingkungan sekitarnya dan berpotensi mengganggu kesehatan masyarakat sekitarnya. Berikut baku mutu udara ambien untuk Karbon Monoksida (CO) dapat dilihat pada tabel berikut ini

Tabel 4. Baku Mutu Udara Ambien Karbon Monoksida (CO)

Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu	Metode Analisis	Peralatan
CO (Karbon Monoksida)	1 jam	30.000 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	NDIR	NDIR Analyzer
	24 jam	10.000 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$		
	1 tahun	-		

Sumber : Peraturan Pemerintah No.41 Tahun 1999

Adapun nilai baku mutu, apabila nilai satuannya dalam ppm, maka perlu dikonversi ke $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ agar dapat langsung dibandingkan ke standar baku mutu udara ambien. Perhitungan yang digunakan yaitu rumus pada persamaan 2 berikut ini

$$\mu\text{g}/\text{Nm}^3 = \text{ppm} \times 1000 \times \left(\frac{P \times M}{R \times T} \right) \quad (2)$$

Dimana :

P	=	Tekanan udara (1 atm)
M	=	Berat molekul/senyawa
R	=	Konstanta gas universal (0,0821)
T	=	Temperatur absolut (°K)

E. Nitrogen Dioksida (NO₂)

1. Pengertian Nitrogen Dioksida (NO₂)

Nitrogen Dioksida (NO₂) adalah kelompok gas nitrogen yang terdapat di atmosfer yang membentuk nitrogen oksida (NO_x) bersama dengan nitrogen monoksida (NO). Walaupun ada bentuk nitrogen oksida lainnya, tetapi kedua gas tersebut yang paling banyak diketahui sebagai bahan pencemar udara. Nitrogen monoksida (NO) merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau sebaliknya nitrogen dioksida (NO₂) berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam. Selain itu, kadar NO_x di udara dalam suatu kota bervariasi sepanjang hari tergantung dari intensitas sinar matahari dan aktivitas kendaraan bermotor (Muchtar, 2018).

Kadar NO_x di udara perkotaan biasanya 10–100 kali lebih tinggi dari pada di udara pedesaan. Kadar emisi NO_x dipengaruhi oleh kepadatan penduduk karena sumber utama NO_x yang diproduksi manusia adalah dari pembakaran dan kebanyakan pembakaran disebabkan oleh kendaraan bermotor, produksi energi, dan pembuangan sampah. Sebagian besar emisi NO_x buatan manusia berasal dari pembakaran arang, minyak, gas, dan bensin

2. Sumber Pencemar Nitrogen Dioksida (NO₂)

Sumber utama nitrogen oksida adalah pembakaran, dan kebanyakan pembakaran disebabkan oleh kendaraan, produksi energi dan pengelolaan sampah. Bahkan, atmosfer adalah sumber nitrogen terbesar yang mengarah ke pembentukan Nitrogen Oksida (NO_x). Molekul Nitrogen (N₂) merupakan gas terbesar di bumi (79% berdasarkan volume). Karena N₂ tidak reaktif dalam kondisi atmosfer maka jarang masuk ke dalam reaksi kimia. Namun saat dibawah tekanan dan suhu sangat tinggi akan bereaksi dengan Oksigen (O₂) (Constantya, 2017).

Kira-kira, 90-95% dari nitrogen oksida yang dihasilkan dalam proses pembakaran adalah dalam bentuk Oksida nitrat (NO), oksida nitrogen lainnya dapat terbentuk, terutama

Nitrogen dioksida (NO_2). Sehingga para ahli polusi udara merujuk untuk NO dan NO_2 sebagai NO_x . Kondisi suhu tinggi atau tekanan tinggi ada dalam mesin pembakaran internal seperti yang ada di kendaraan bermotor. Dengan demikian, NO_x adalah salah satu polutan udara sumber kendaraan bermotor. Selain nitrogen atmosfer, sumber lainnya adalah bahan bakar fosil. Karena NO_x akan terbentuk saat nitrogen atmosfer terkena suhu tinggi yaitu di dekat api burner di ruang pembakaran. Sumber NO_x lainnya adalah pabrik pengolahan asam nitrat dan jenis lain karena proses industri yang melibatkan generasi dan atau penggunaan asam nitrat (HNO_3) (Constantya, 2017).

3. Dampak Nitrogen Dioksida (NO_2)

Gas nitrogen oksida (NO_x) terdiri dari dua macam yaitu gas nitrogen monoksida (NO) dan gas nitrogen dioksida (NO_2). Kedua macam gas tersebut mempunyai sifat yang sangat berbeda dan keduanya sangat berbahaya bagi kesehatan. Gas NO yang mencemari udara secara visual sulit diamati karena gas tersebut tidak berwarna dan tidak berbau. Sedangkan gas NO_2 bila mencemari udara mudah diamati dari baunya yang sangat menyengat dan warnanya coklat kemerahan.

Di antara berbagai jenis oksida nitrogen yang ada di udara, nitrogen dioksida (NO_2) merupakan gas yang paling beracun. Karena larutan NO_2 dalam air yang lebih rendah dibandingkan dengan SO_2 , maka NO_2 akan dapat menembus ke dalam saluran pernafasan lebih dalam. Karena data epidemiologi tentang resiko pengaruh NO_2 terhadap kesehatan manusia sampai saat ini belum lengkap, maka evaluasinya banyak didasarkan pada hasil studi eksperimental. Berdasarkan studi menggunakan binatang percobaan, pengaruh yang membahayakan seperti meningkatnya kepekaan terhadap radang saluran pernafasan, dapat terjadi setelah mendapat pajanan sebesar $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Percobaan pada manusia menyatakan bahwa kadar NO_2 sebesar $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dapat mengganggu fungsi saluran pernafasan pada penderita asma dan orang sehat (Tugaswati, 2007).

Sifat racun (toksisitas) gas NO_2 empat kali lebih kuat daripada toksisitas gas NO. Organ tubuh yang paling peka terhadap pencemaran gas NO_2 adalah paru-paru. Paru-paru yang terkontaminasi oleh gas NO_2 akan membengkak sehingga penderita sulit bernafas yang dapat mengakibatkan kematiannya (Fardiaz, 1992).

Gas NO_2 ini sangat berbahaya bagi kesehatan manusia karena dapat menyebabkan gangguan pernapasan (penurunan kapasitas difusi paru-paru), juga dapat merusak tanaman. Selain itu juga mengurangi jarak pandang dan resistansi di udara (Huboyo dkk, 2006).

4. Baku Mutu Nitrogen Dioksida (NO₂)

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 untuk baku mutu udara ambien adalah ukuran batas atau kadar zat, energi, dan/atau komponen yang ada atau yang seharusnya ada dan/atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam udara ambien, Udara yang melebihi baku mutu dapat merusak lingkungan sekitarnya dan berpotensi mengganggu kesehatan masyarakat sekitarnya. Berikut baku mutu udara ambien untuk Nitrogen Oksida (NO_x) dapat dilihat pada tabel berikut ini

Tabel 5. Baku Mutu Udara Ambien Nitrogen Oksida (NO_x)

Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu	Metode Analisis	Peralatan
NO ₂	1 jam	400 µg/Nm ³	Griess Saltzman	Spektrofotometer UV-Vis
(Nitrogen	24 jam	150 µg/Nm ³		
Dioksida)	1 tahun	100 µg/Nm ³		

Sumber : Peraturan Pemerintah No.41 Tahun 1999

Adapun nilai baku mutu, apabila nilai satuannya dalam ppm, maka perlu dikonversi ke µg/Nm³ agar dapat langsung dibandingkan ke standar baku mutu udara ambien. Perhitungan yang digunakan yaitu rumus pada persamaan 2 berikut ini

$$\mu\text{g}/\text{Nm}^3 = \text{ppm} \times 1000 \times \left(\frac{P \times M}{R \times T} \right) \quad (2)$$

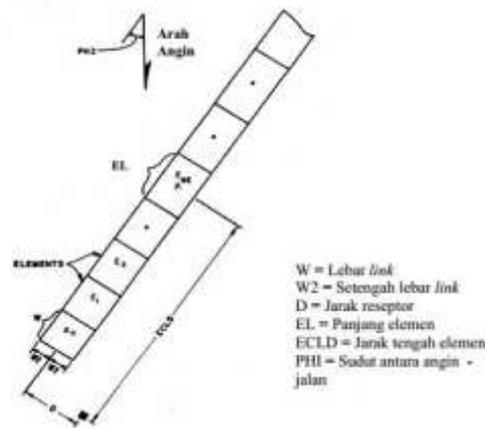
Dimana :

- P = Tekanan udara (1 atm)
- M = Berat molekul/senyawa
- R = Konstanta gas universal (0,0821)
- T = Temperatur absolut (°K)

F. Model Dispersi Caline-4

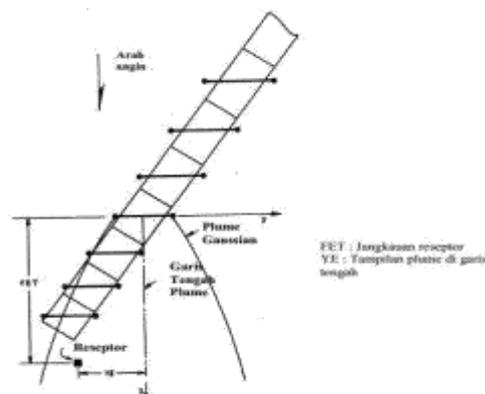
Caline-4 adalah program untuk memodelkan dispersi emisi udara dari sumber garis yang dikembangkan oleh *California Departemen of Transportation (Caltrans)*. Program ini menggunakan konsep zona pencampuran untuk membuat perkiraan dispersi polutan di sekitar jalan raya. Program ini memperkirakan sebaran polutan yang berada dekat dengan jalan raya dengan memasukkan beberapa parameter seperti, volume lalu lintas per link, faktor emisi kendaraan, meteorologi, dan geometri lokasi. Caline-4 dapat memprediksi polutan di titik reseptor hingga 500 meter dari sumber. Polutan yang diprediksi adalah polutan yang relatif bersifat *inert* (tidak mudah bereaksi dengan senyawa kimia lain) seperti NO_x, CO, dan PM₁₀ (Benson, 1989).

Caline-4 membagi jaringan kota yang berisi sejumlah jalan menjadi link-link, dimana setiap link merupakan garis lurus dari suatu jalan yang memiliki karakteristik emisi yang bervariasi. Link tersebut diperlakukan sebagai sumber garis (*line source*) dalam perhitungan konsentrasi pada reseptor dengan konsentrasi total berupa penjumlahan kontribusi berdasarkan link individual dan konsentrasi ambien akibat gambaran dispersi tertentu yang tidak terakomodasi oleh metode *Gaussian* sederhana (Colls, 2002). Gambar 1 memperlihatkan seri elemen yang didasarkan pada sudut antara jalan dan arah angin.



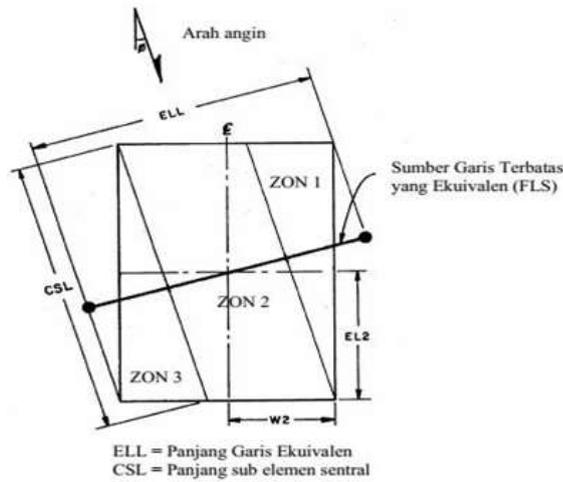
Gambar 1. Seri Elemen Yang Digunakan Caline-4
Sumber : Colls (2002)

Tiap elemen dimodelkan sebagai sumber garis terhingga (*Finite Line Source* - FLS) ekuivalen yang diposisikan normal (tegak lurus) terhadap arah angin dan berpusat di titik tengah elemen. Sistem koordinat x-y dapat disejajarkan dengan arah angin dan berpusat di tengah elemen. Tingkat emisi yang terjadi di setiap elemen bersumber dari sepanjang FLS yang terdispersi secara Gaussian dari elemen-elemen tersebut. Panjang dan orientasi FLS merupakan fungsi dari ukuran elemen dan sudut antara angin – jalan (Benson, 1989).



Gambar 2. Seri Elemen Yang Diwakilkan oleh Sumber Garis Terhingga yang Ekuivalen
Sumber : Benson, 1989

Untuk mendistribusikan emisi ke dalam bentuk yang dapat dirumuskan maka tiap elemen dibagi menjadi 3 sub elemen, yakni sub elemen pusat dan 2 sub elemen tambahan (ZON1, ZON2, dan ZON3). Geometri sub elemen merupakan fungsi dari ukuran elemen dan sudut angin – jalan. Tingkat rata-rata emisi diasumsikan sama pada semua elemen agar dapat dikomputasi. Emisi untuk sub elemen tambahan dimodelkan berkurang secara linier (menuju nol) pada titik akhir FLS (Benson, 1989).



Gambar 3. Representasi Elemen Sumber Garis Terbatas
Sumber : Benson, 1989

G. Program Golden Surfer 12

Surfer merupakan salah satu perangkat lunak produk *Golden Software, Inc.* Untuk pembuatan peta kontur dan pemodelan tiga dimensi yang didasarkan atas *grid*. Perangkat lunak ini berperan besar dalam pemetaan kawasan. Surfer digunakan secara luas untuk pemodelan medan, “isualisasi landscape, analisis permukaan, pemetaan kontur, pemetaan permukaan, *gridding*, “*olumetrics*” (Elizabeth, 2015).

Surfer adalah satu perangkat lunak yang digunakan untuk pembuatan peta kontur dan pemodelan tiga dimensi dengan mendasarkan pada *grid*. Perangkat lunak ini melakukan *plotting* data tabular XYZ tak menjadi lembar titik-titik segi empat (*grid*) yang beraturan. Grid adalah serangkaian garis vertikal dan horizontal yang dalam surfer berbentuk segi empat (Elizabeth, 2015).

Surfer membantu dalam analisis kelerengan, ataupun morfologi lahan dari suatu foto udara atau citra satelit yang telah dimiliki datum ketinggian aplikasi lain yang sering menggunakan surfer adalah analisis special untuk mitigasi bencana alam yang berkaitan dengan faktor topografi dan morfologi lahan. Surfer dapat memberikan gambaran secara spasial letak potensial bencana (Elizabeth, 2015).

Pada penelitian atau pun studi mengenai kualitas udara, aplikasi surfer dapat dimanfaatkan untuk mengetahui pola penyebaran suatu zat pencemar atau polutan pada suatu kawasan yakni lokasi penelitian atau studi. Variabel utama yang dimasukkan untuk mengetahui pola sebaran polutan ialah variabel arah angin dan kecepatan angin sehingga pada koordinat X dan Y merupakan koordinat untuk arah angin dan kecepatan angin sedangkan Z merupakan tingkat konsentrasi polutan sehingga dapat menunjukkan pemetaan sebaran polutan atau zat pencemar pada suatu wilayah (Abdullah, 2018).

H. Wind Rose

Angin adalah gerak udara yang sejajar dengan permukaan bumi. Udara bergerak dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Angin diberi nama sesuai dengan dari arah mana angin datang, misalnya angin timur adalah angin yang datang dari arah timur, angin laut adalah angin dari laut ke darat, dan angin lembah adalah angin yang datang dari lembah menaiki gunung. Arah angin adalah arah darimana angin berhembus atau darimana arus angin datang dan dinyatakan dalam derajat yang ditentukan dengan arah perputaran jarum jam dan dimulai dari titik utara bumi dengan kata lain sesuai dengan titik kompas.

Umumnya arus angin diberi nama dengan arah darimana angin tersebut bertiup, misalnya angin yang berhembus dari utara maka angin utara.

Kecepatan angin adalah kecepatan dari menjalarnya arus angin dan dinyatakan dalam knot atau kilometer per jam maupun dalam meter per detik (Soepangkat, 1994). Karena kecepatan angin umumnya berubah-ubah, maka dalam menentukan kecepatan angin diambil kecepatan rata-ratanya dalam periode waktu selama sepuluh menit dengan dibulatkan dalam harga satuan knot yang terdekat. Keadaan ditentukan sebagai angin teduh (*calm*) jika kecepatan kurang dari satu knot.

Wind rose adalah sebuah grafik yang memberikan gambaran tentang bagaimana arah dan kecepatan angin terdistribusikan di sebuah lokasi dalam periode tertentu. *Wind rose* merupakan representasi yang sangat bermanfaat karena memberikan gambaran ringkas namun sarat akan informasi tentang bagaimana arah dan kecepatan angin terdistribusi pada sebuah lokasi atau area. Ditampilkan dalam format sirkular, *wind rose* menampilkan frekuensi dari arah mana angin berhembus. Panjang dari masing-masing kriteria yang mengelilingi lingkaran diasumsikan sebagai frekuensi waktu dimana angin berhembus dari arah tertentu.

Menurut *lakes environmental* 2013, *WRPLOT View* adalah *wind rose* program untuk data meteorologi. Software ini menyediakan tampilan diagram *wind rose*, analisis frekuensi, dan diagram untuk beberapa format data meteorologi. *Wind rose* menggambarkan frekuensi kejadian dari angin untuk setiap sektor angin spesifik dan kelas-kelas kecepatan angin untuk setiap tempat pada periode tertentu (Fadholi, 2013).

I. Standar Deviasi

Standar deviasi arah angin atau disebut juga sebagai *sigma theta* disebabkan karena adanya arah angin yang tidak selalu kontinu. Hal tersebut dibuktikan oleh Yamartino dengan penggunaan algoritma berupa metode *single-pass* dalam menghitung standar deviasi arah angin. Saat *single pass* melewati nilai n dari perhitungan arah angin (θ), nilai-nilainya akan dihitung sehingga diperoleh nilai rata-rata $\sin\theta$ dengan menggunakan persamaan berikut (Melissa, 2007) :

$$S_a = n^{-1} \sum_{i=1}^n \sin \theta_i \quad (3)$$

Dan rata-rata $\cos\theta$:

$$C_a = n^{-1} \sum_{i=1}^n \cos \theta_i \quad (4)$$

Arah angin rata-rata menjadi :

$$\theta a = \tan^{-1}(sa/ca) \quad (5)$$

Dari Sekitar 20 persamaan yang berbeda untuk mendapatkan θ menggunakan suatu variabel untuk memperoleh data arah angin *single-pass*, Yamartino akhirnya menemukan persamaan :

$$\sigma\theta = \sin^{-1}(\epsilon) [1.0 + 0.1547 \epsilon^3] \quad (6)$$

Dimana:

$$\epsilon = \sqrt{1 - Sa^2 + Ca^2} \quad (7)$$

Standar deviasi arah angin (*sigma theta*) akan mempengaruhi nilai prediksi konsentrasi pada titik reseptor sebab standar deviasi merupakan salah satu faktor meteorologi dalam model Caline4 (Melissa, 2007).

J. Uji Hipotesis (*T-Test*)

Hipotesis merupakan dugaan atau asumsi sementara yang masih harus diuji kebenarannya. Jika asumsi atau dugaan itu dikhususkan mengenai parameter populasi, maka hipotesis itu disebut hipotesis statistis atau hipotesis kerja. Ada dua hipotesis kerja yang selalu dirumuskan, yaitu hipotesis nol (H_0) dan hipotesis alternatif (H_1). H_0 adalah pernyataan yang menjadi dasar suatu teori yang digunakan dalam mengembangkan statistik uji, sedangkan H_1 dirumuskan sebagai komplemen atau ingkaran dari H_0 (Muchtar, 2018).

Pengujian statistik dapat dilakukan berbagai macam uji salah satunya adalah uji t yang digunakan untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan dari data yang diperoleh. Pengujian hipotesis menggunakan uji kesamaan dua rata - rata satu pihak dengan statistik yaitu menggunakan Uji-t (Muchtar, 2018).

Uji t terbagi menjadi dua yaitu uji satu pihak (*one tail test*) dan uji dua pihak (*two tail test*). Uji satu pihak digunakan ketika hipotesis nol (H_0) berbunyi lebih besar atau sama dengan dan hipotesis alternatifnya (H_a) berbunyi lebih kecil. Sedangkan uji dua pihak digunakan ketika hipotesis nol (H_0) berbunyi sama dengan dan hipotesis alternatifnya (H_a) berbunyi tidak sama dengan. Dalam pengujian hipotesis dua pihak, bila *t - stat* berada pada daerah *t - critical*, maka hipotesis nol (H_0) diterima dan hipotesis alternatif (H_a) ditolak. Sebaliknya, jika *t - stat* tidak berada pada daerah *t - critical*, maka hipotesis alternative (H_a) diterima dan hipotesis nol (H_0) ditolak (Muchtar, 2018).

Uji hipotesis *t-test* menggunakan program aplikasi *Microsoft excel* dengan cara sebagai berikut:

- 1) Buka program *Microsoft excel*

- 2) Masukkan data yang telah didapat ke dalam *Worksheet Excel*
- 3) Di menu Bar klik “Data”
- 4) Klik “*Data Analysis*” pada menu Bar Data, maka akan muncul Window “*Data Analysis*”
- 5) Pilih “*t-test : Paired Two Sample for Means*”
- 6) Klik “Ok” maka akan muncul Window “*t-test : Paired Two Sample for Means*”
- 7) Pada kotak *variable 1 range*, klik tombol “*selection*” untuk seleksi atau blok data 1 yang akan dianalisis
- 8) Pada kotak *variable 2 range*, klik tombol “*selection*” untuk seleksi atau blok data 2 yang akan dianalisis
- 9) Klik “Ok”
- 10) Maka hasil analisis statistik uji hipotesis *t-test* akan muncul di *Worksheet* baru.

K. Sekolah

Mengutip E. Mulyasa (2009) dalam Umar (2019), “Sekolah adalah tempat untuk belajar. Belajar mengenai berbagai mata pelajaran, belajar mengenai kehidupan sosial, dan belajar mengenai hidup. Sekolah adalah tempat untuk memperoleh ilmu dan pengetahuan baru. Sekolah harus mampu mencermati kebutuhan peserta didik yang bervariasi, keinginan tenaga kependidikan yang berbeda, kondisi lingkungan yang beragam, harapan masyarakat yang menitipkan anaknya pada sekolah agar kelak bisa mandiri, serta tuntutan dunia kerja untuk memperoleh tenaga yang produktif, potensial, dan berkualitas.” Lingkungan sekolah merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi motivasi belajar peserta didik. Lingkungan sekolah seperti para guru, staf administrasi, dan teman-teman sekelas dapat mempengaruhi motivasi belajar peserta didik. Lingkungan sekolah secara fisik meliputi keadaan fisik sekolah, sarana dan prasarana di dalam kelas, keadaan gedung sekolah dan sebagainya.

Menurut Ulina Shabrina (2017) dalam Umar (2019), Lingkungan pendidikan adalah lingkungan yang akan mempengaruhi proses belajar mengajar. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal. Pertama, lingkungan pendidikan adalah lingkungan dimana peserta didik menghabiskan banyak waktunya disana. Lingkungan pendidikan ini bisa dikatakan adalah sebagian besar lingkungan bagi peserta didik. Oleh karena itu, ketika peserta didik nyaman dengan lingkungan sekolah, maka, dia akan nyaman juga dalam belajar.

Pengaruh kualitas udara di sekolah yang buruk mampu mengganggu kenyamanan, keamanan dan kesehatan para penggunanya. Kategori yang rentan terserang dampak dari

buruknya kualitas udara adalah anak - anak, orang lanjut usia (lansia), orang dengan gangguan pernafasan (asma), orang dengan sistem imun yang lemah, dan perokok. Jika siswa berada dalam ruangan belajar lebih dari 8 jam setiap hari, kualitas udara yang buruk dapat mempengaruhi kesehatan, kinerja, dan prestasi siswa (Stevani dkk, 2016).