

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KUALITAS UDARA UNTUK PARAMETER NO₂ PADA
JALAN ARTERI BERMEDIAN DI KOTA MAKASSAR**



HARVIANTI ILHAM

D131 17 1511

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2021

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KUALITAS UDARA UNTUK PARAMETER NO₂ PADA
JALAN ARTERI BERMEDIAN DI KOTA MAKASSAR**

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



HARVIANTI ILHAM

D131 17 1511

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

2021



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
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 Kualitas Udara Untuk Parameter NO₂ Pada Jalan Arteri Bermedian di Kota Makassar**

Disusun Oleh :

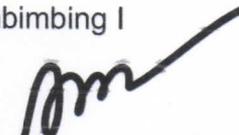
Nama : Harvianti Ilham

D131171511

Telah diperiksa dan disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Gowa, 22 Oktober 2021

Pembimbing I


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

Pembimbing II


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

Menyetujui,
Ketua Departemen Teknik Lingkungan



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

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Harvianti Ilham, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “**Analisis Kualitas Udara Untuk Parameter NO₂ Pada Jalan Arteri Bermedian 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 penulisan 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 skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, 04 November 2021

Yang membuat pernyataan



Harvianti Ilham

D131 17 1511

KATA PENGANTAR

Tiada kata yang paling indah selain puji dan rasa syukur kepada Allah SWT, yang telah menentukan segala sesuatu berada di tangan-Nya, sehingga tidak ada setetes embun pun dan segelintir jiwa manusia yang lepas dari ketentuan dan ketetapan-Nya. Alhamdulillah atas hidayah dan inayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini yang berjudul **“Analisis Kualitas Udara Untuk Parameter NO₂ Pada Jalan Arteri Bermedian Di Kota Makassar”** yang merupakan syarat dalam rangka menyelesaikan studi di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan serta rintangan yang penulis hadapi namun pada akhirnya penulis dapat melaluinya berkat adanya bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak baik secara moril maupun materil. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua, Ayahanda Ilham Ramli S.Ag dan Ibunda Nurhayati, serta saudara dan saudari saya Siti Hardianti Ilham, Hilmayanti Ilham, Muhammad Anis Ilham, yang telah memberikan segala kasih sayangnya kepada penulis, berupa besarnya perhatian, pengorbanan, bimbingan, doa yang tulus, selalu memberi semangat dan telah menjadi alasan penulis untuk menempuh pendidikan sampai pada tingkat perguruan tinggi.
2. Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu M.A., selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Prof. Baharuddin Hamzah, S.T.,M.Arch.,Ph.D., selaku Wakil Dekan dan Pembantu Dekan I Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Ibu Prof. Dr. Ir. Hj. Sumarni Hamid Aly, M.T., selaku Dosen Pembimbing I dan Ibu Rasdiana Zakaria, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah

meluangkan waktu di tengah kesibukannya untuk memberikan arahan dan masukan, serta semangat selama penulis melaksanakan penelitian dan penyusunan tugas akhir.

7. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T. dan Ibu Nurul Masyiah Rani, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji pada ujian seminar tugas akhir.
8. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas bimbingan, arahan, didikan, dan motivasi yang telah diberikan selama kurang lebih empat tahun.
9. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya selama penulis menempuh perkuliahan. Terkhusus kepada staf S1 Teknik Lingkungan Ibu Sumiati dan Kak Olan yang telah banyak membantu penulis dalam hal administrasi.
10. Teman-teman UKB Halu (Firdha Nurhikmah, Dinah Khairia, Angreni, Nurazizah, Fitriani, Reski OP Sitti Fatimah) yang telah menjadi *support system* penulis selama menempuh perkuliahan. Terima kasih telah menjadi teman terbaik dengan tingkat kehaluannya yang tinggi melewati nilai ambang batas kehaluan, terima kasih selalu memberi semangat jika penulis lelah menghadapi tugas akhir, terima kasih selalu ada dalam suka maupun duka.
11. Teman-teman Teknik Lingkungan 2017 dan PLASTIS 2018 atas segala momen dan bantuannya selama perkuliahan.
12. Teman-teman masa kecil (Siti Nurhidayah, Rahmadani Mukhsin, dan Rian Hidayat) yang telah sama-sama saling memberi semangat menyelesaikan perkuliahan. Terima kasih telah menjadi teman cerita penulis.
13. Teruntuk Firwana Nasrun, satu-satunya teman seperjuangan dari bangku SMA sampai sekarang yang telah menjadi saksi perjalanan penulis. Terima kasih telah menjadi teman baik yang ada dalam suka maupun duka.
14. Teruntuk Mutiah Putri yang telah menjadi teman cerita dan membantu penulis selama penelitian. Terima kasih atas semangat yang diberikan kepada penulis.

15. Teruntuk Kak Hermanto Dwigianto yang telah banyak memberi bantuan dan terus memberi semangat kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir. Terima kasih sudah menjadi ahjussi dalam keluarga Coki-coki.
16. Teruntuk Irsyaad Caesar Ramadhan yang telah banyak membantu penulis selama penelitian di Laboratorium Kualitas Air. Terima kasih atas segala bantuan yang diberikan dan selalu setia mendengar keluh kesah penulis selama di Laboratorium.
17. Teruntuk Aulia Rizqi yang telah menjadi partner penulis selama dimulainya penelitian sampai menyusun laporan tugas akhir, terima kasih telah sama-sama memberi semangat untuk menyelesaikan tugas akhir.
18. Kepada keluarga besar, teman-teman dan berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-satu, penulis ucapkan banyak terima kasih atas setiap bantuan serta doa yang diberikan.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa penelitian ini jauh dari kesempurnaan. Oleh sebab itu, kritik maupun saran yang membangun selalu penulis harapkan demi kesempurnaan penelitian ini. Besar harapan penulis, semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat sekaligus menambah pengetahuan untuk berbagai pihak. Aamiin Allahumma Aamiin.

Gowa, 07 Agustus 2021

Penulis,

HARVIANTI ILHAM

D131 17 1511

ABSTRAK

HARVIANTI ILHAM, *Analisis Kualitas Udara Untuk Parameter Nitrogen Dioksida (NO₂) Pada Jalan Arteri Bermedian Di Kota Makassar* (dibimbing oleh **Sumarni Hamid Aly** dan **Rasdiana Zakaria**)

Pencemaran udara merupakan masalah yang dihadapi kota-kota besar di Indonesia. Adapun sumber utama pencemaran udara ini berasal dari transportasi yang menyumbang sekitar 60-80% pencemaran udara akibat emisi gas buang kendaraan bermotor. Terdapat beberapa parameter pencemaran udara, salah satunya adalah NO₂. NO₂ adalah kelompok gas nitrogen yang terdapat di atmosfer yang membentuk gas nitrogen oksida (NO_x) bersama dengan gas nitrogen monoksida (NO). Penelitian ini bertujuan mengukur kualitas udara NO₂, menganalisis besaran emisi NO₂ dan pola sebaran tingkat konsentrasi NO₂. Penelitian ini diambil dari 6 lokasi dengan menggunakan alat *Impinger*. Waktu pengukuran dilakukan selama 1 jam yang mewakili tiap interval waktu, dimana interval waktu terbagi atas interval pagi (09:00-10:00 WITA), interval siang (12:00-13:00 WITA), dan interval sore (16:00-17:00 WITA). Untuk mengetahui pola penyebaran polusi udara digunakan aplikasi *Surfer 13.0*

Hasil analisis besaran emisi polutan Nitrogen Dioksida (NO₂) tertinggi ialah di Jalan Sultan Alauddin yaitu 0,83 g/mil pada interval waktu siang sedangkan yang terendah di Jalan Veteran Selatan ialah 0,60 g/mil pada interval waktu pagi. Hasil analisis konsentrasi polutan Nitrogen Dioksida (NO₂) tertinggi berada di Jalan Perintis Kemerdekaan yang tertinggi ialah 32,20 µg/Nm³ pada interval waktu sore sedangkan yang terendah berada di Jalan Veteran Utara ialah 2,85 µg/Nm³ pada interval waktu sore. Konsentrasi tertinggi dari hasil pemodelan yaitu di Jalan Andi Pangeran Pettarani 60,30 µg/Nm³ pada interval pagi dimana besaran konsentrasi yang dihasilkan tidak melebihi nilai baku mutu untuk pengukuran 1 jam sesuai Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.22 Tahun 2021 ialah 200 µg/Nm³. Pola sebaran tingkat konsentrasi polutan tersebut ditunjukkan dengan pewarnaan kontur untuk nilai konsentrasi tertinggi berwarna merah, dan nilai konsentrasi terendah dengan warna ungu.

Kata Kunci : Nitrogen Dioksida (NO₂), Jalan Arteri, *Impinger*, Caline-4, *Surfer 13.0*

ABSTRACT

HARVIANTI ILHAM, *Air Quality Analysis for Nitrogen Dioxide (NO₂) Parameters on the Median Arterial Road in Makassar Cit.* (supervised by **Sumarni Hamid Aly** and **Rasdiana Zakaria**).

Air pollution is a problem faced by big cities in Indonesia. The main source of air pollution comes from transportation which contributes about 60-80% of air pollution due to motor vehicle exhaust emissions. There are several parameters of air pollution, one of which is NO₂. NO₂ is a group of nitrogen gases found in the atmosphere that form nitrogen oxides (NO_x) together with nitrogen monoxide (NO). This study aims to measure NO₂ air quality, analyze the amount of NO₂ emissions and the distribution pattern of NO₂ concentration levels. This study was taken from 6 locations using the Impinger tool. The measurement time is carried out for 1 hour representing each time interval, where the time interval is divided into the morning interval (09:00-10:00 WITA), the afternoon interval (12:00-13:00 WITA), and the afternoon interval (16:00 WITA -17:00 WITA). To find out the pattern of the spread of air pollution, the Surfer 13.0 application is used.

The results of the analysis of the amount of pollutant emission of Nitrogen Dioxide (NO₂) were the highest on Jalan Sultan Alauddin, which was 0,83 g/mile at noon time interval, while the lowest was on Jalan Veteran Selatan was 0,60 g/mile in the morning interval. The results of the analysis of the highest concentration of Nitrogen Dioxide (NO₂) were on Jalan Perintis Kemerdekaan, the highest was 32,20 µg/Nm³ at the afternoon time interval, while the lowest was on Jalan Veteran Utara at 2,85 µg/Nm³ at the afternoon time interval. The highest concentration from the modeling results is on Jalan Andi Pangeran Pettarani 60,30 µg/Nm³ at the morning interval where the amount of concentration produced does not exceed the quality standard value for 1 hour measurement according to Government Regulation of the Republic of Indonesia No.22 of 2021 is 200 µg/Nm³. The distribution pattern of the pollutant concentration level is indicated by contour coloring for the highest concentration value in red, and the lowest concentration value in purple.

Keywords : Nitrogen Dioxide (NO₂), Arterial Road, Impinger, Caline-4, Surfer 13.0

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	v
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	4
E. Ruang Lingkup.....	4
F. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Udara Ambien	7
B. Pencemaran Udara	8
C. Emisi Kendaraan Bermotor.....	12
D. Nitrogen Dioksida	16
E. Indeks Standar Pencemaran Udara.....	21
F. Dispersi Polutan	23
G. Model Dispersi Caline-4	25
H. Program Golden Sufer 13.0.....	27
I. Wind Rose	28

J. Uji Hipotesis.....	29
K. Jalan Arteri	31
BAB III.....	33
METODE PENELITIAN	33
A. Rancangan Penelitian	33
B. Waktu Penelitian	35
C. Gambaran Lokasi	35
D. Peralatan Yang Digunakan.....	41
E. Metode Pengambilan Data	53
F. Metode Pengolahan Data	57
BAB IV	64
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	64
A. Gambaran Umum	64
B. Volume Kendaraan.....	64
C. Nilai Besaran Emisi.....	74
D. Pengukuran Kualitas Udara.....	82
E. Faktor Metereologi.....	87
F. Kecepatan dan Arah Angin Dominan (WRPLOT)	89
G. Estimasi Sebaran Polutan NO ₂	95
H. Pola sebaran Polutan NO ₂	104
H. Uji Statistik (<i>T Test</i>).....	117
BAB V.....	126
PENUTUP	126
A. Kesimpulan	126
B. Saran.....	127
DAFTAR PUSTAKA	128
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Seri Elemen Yang Digunakan Caline-4	26
Gambar 2. Seri Elemen Yang Diwakilkan Sumber Garis Terhingga Ekuivalen	27
Gambar 3. Representasi Elemen Sumber Garis Terbatas	27
Gambar 4. Bagan Alir Penelitian	34
Gambar 5. Peta Lokasi Titik Pengamatan.....	36
Gambar 6. Peta Lokasi Pengukuran 1	37
Gambar 7. Peta Lokasi Pengukuran 2	38
Gambar 8. Peta Lokasi Pengukuran 3	39
Gambar 9. Peta Lokasi Pengukuran 4	39
Gambar 10. Peta Lokasi Pengukuran 5	40
Gambar 11. Peta Lokasi Pengukuran 6.....	41
Gambar 12. Perangkat Laboratorium	41
Gambar 13. Perangkat Pengambilan Data	43
Gambar 14. Aplikasi <i>Google Earth</i>	45
Gambar 15. Aplikasi <i>WRPLOT View</i>	46
Gambar 16. <i>Flowchart</i> Pengolahan Data Angin Pada <i>WRPLOT</i>	45
Gambar 17. <i>Software Caline-4</i>	47
Gambar 18. Diagram Alir <i>Caline-4</i>	48
Gambar 19. Golden Surfer 13.0	52
Gambar 20. <i>Flowchart</i> Pembuatan Larutan Penjerap NO_2	54
Gambar 21. <i>Flowchart</i> Pengambilan Contoh Uji	56
Gambar 22. <i>Flowchart</i> Pembuatan Kurva Kalibrasi.....	58
Gambar 23. Kurva Kalibrasi Nitrogen Dioksida (NO_2)	59
Gambar 24. <i>Flowchart</i> Pengujian Contoh Uji.....	60
Gambar 25. Tahapan Analisis Data Pola Sebaran	62
Gambar 26. Tahapan Pengolahan Analisis Data.....	63
Gambar 27. Volume Kendaraan Jl. Perintis Kemerdekaan Tahun 2021	65
Gambar 28. Volume Kendaraan Jl. Sultan Alauddin Tahun 2021.....	67
Gambar 29. Volume Kendaraan Jl. Andi Pangeran Pettarani Tahun 2021.....	68

Gambar 30. Volume Kendaraan Jl. Urip Sumoharjo Tahun 2021	70
Gambar 31. Volume Kendaraan Jl. Veteran Selatan Tahun 2021	71
Gambar 32. Volume Kendaraan Jl. Veteran Utara Tahun 2021	72
Gambar 33. Besaran Konsentrasi NO ₂ Jl. Arteri Kota Makassar Tahun 2021	86
Gambar 34. <i>Wind Rose</i> Jl. Perintis Kemerdekaan.....	90
Gambar 35. Kecepatan Angin dominan Jl. Perintis Kemerdekaan	90
Gambar 36. <i>Wind Rose</i> Jl. Sultan Alauddin.....	91
Gambar 37. Kecepatan Angin dominan Jl. Sultan Alauddin	91
Gambar 38. <i>Wind Rose</i> Jl. Andi Pangeran Pettarani	92
Gambar 39. Kecepatan Angin dominan Jl. Andi Pangeran Pettarani	92
Gambar 40. <i>Wind Rose</i> Jl. Urip Sumoharjo	93
Gambar 41. Kecepatan Angin dominan Jl. Urip Sumoharjo	93
Gambar 42. <i>Wind Rose</i> Jl. Veteran Selatan.....	94
Gambar 43. Kecepatan Angin dominan Jl. Veteran Selatan	94
Gambar 44. <i>Wind Rose</i> Jl. Veteran Utara	95
Gambar 45. Kecepatan Angin dominan Jl. Veteran Utara.....	95
Gambar 46. Estimasi Polutan NO ₂ Jl. Arteri Kota Makassar Tahun 2021	102
Gambar 47. Sebaran Polutan NO ₂ Interval Pagi di Jl. Perintis Kemerdekaan....	105
Gambar 48. Sebaran Polutan NO ₂ Interval Siang di Jl. Perintis Kemerdekaan..	106
Gambar 49. Sebaran Polutan NO ₂ Interval Sore di Jl. Perintis Kemerdekaan....	106
Gambar 50. Sebaran Polutan NO ₂ Interval Pagi di Jl. Sultan Alauddin	107
Gambar 51. Sebaran Polutan NO ₂ Interval Siang di Jl. Sultan Alauddin	108
Gambar 52. Sebaran Polutan NO ₂ Interval Sore di Jl. Sultan Alauddin.....	108
Gambar 53. Sebaran Polutan NO ₂ Interval Pagi di Jl. Andi Pangeran Pettarani	109
Gambar 54. Sebaran Polutan NO ₂ Interval Siang di Jl. A. Pangeran Pettarani ..	110
Gambar 55. Sebaran Polutan NO ₂ Interval Sore di Jl. Andi Pangeran Pettarani	110
Gambar 56. Sebaran Polutan NO ₂ Interval Pagi di Jl. Urip Sumoharjo	111
Gambar 57. Sebaran Polutan NO ₂ Interval Siang di Jl. Urip Sumoharjo	112
Gambar 58. Sebaran Polutan NO ₂ Interval Sore di Jl. Urip Sumoharjo	112
Gambar 59. Sebaran Polutan NO ₂ Interval Pagi di Jl. Veteran Selatan.....	113
Gambar 60. Sebaran Polutan NO ₂ Interval Siang di Jl. Veteran Selatan	114

Gambar 61. Sebaran Polutan NO ₂ Interval Sore di Jl. Veteran Selatan.....	114
Gambar 62. Sebaran Polutan NO ₂ Interval Pagi di Jl. Veteran Utara.....	115
Gambar 63. Sebaran Polutan NO ₂ Interval Siang di Jl. Veteran Utara.....	116
Gambar 64. Sebaran Polutan NO ₂ Interval Sore di Jl. Veteran Utara.....	116

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai Faktor Emisi Kendaraan Bermotor	15
Tabel 2. Baku Mutu Udara Ambien Nitrogen Dioksida (NO ₂).....	19
Tabel 3. Parameter NOx Menurut ISPU dan Periode Waktu Pengukuran	22
Tabel 4. Kategori ISPU	23
Tabel 5. Tingkat Hubungan Uji Korelasi	31
Tabel 6. Lebar Jalan dan Panjang Jalan Lokasi Penelitian	37
Tabel 7. Klasifikasi Kestabilan Atmosfer Berbasis Caline-4.....	50
Tabel 8. Kurva Kalibrasi Nitrogen Dioksida (NO ₂).....	59
Tabel 9. Rekapitulasi Volume Kendaraan Pada Jalan Arteri di Kota Makassar...	73
Tabel 10. Besaran Emisi Nitrogen Dioksida (NO ₂) Jl. Perintis Kemerdekaan.....	75
Tabel 11. Besaran Emisi Nitrogen Dioksida (NO ₂) Jl.Sultan Alauddin	76
Tabel 12. Besaran Emisi Nitrogen Dioksida (NO ₂) Jl.Andi Pangeran Pettarani ..	77
Tabel 13. Besaran Emisi Nitrogen Dioksida (NO ₂) Jl.Urip Sumoharjo	78
Tabel 14. Besaran Emisi Nitrogen Dioksida (NO ₂) Jl.Veteran Selatan.....	79
Tabel 15. Besaran Emisi Nitrogen Dioksida (NO ₂) Jl.Veteran Utara.....	80
Tabel 16. Rekapitulasi Besaran Emisi Pada Jalan Arteri di Kota Makassar.....	81
Tabel 17. Besaran Konsentrasi Polutan (NO ₂) Jl. Perintis Kemerdekaan.....	82
Tabel 18. Besaran Konsentrasi Polutan (NO ₂) Jl. Sultan Alauddin.....	83
Tabel 19. Besaran Konsentrasi Polutan (NO ₂) Jl. Andi Pangeran Pettarani	84
Tabel 20. Besaran Konsentrasi Polutan (NO ₂) Jl. Urip Sumoharjo	84
Tabel 21. Besaran Konsentrasi Polutan (NO ₂) Jl. Veteran Selatan.....	85
Tabel 22. Besaran Konsentrasi Polutan (NO ₂) Jl. Veteran Utara	85
Tabel 23. Rekapitulasi Konsentrasi NO ₂ Pada Jalan Arteri di Kota Makassar.....	87
Tabel 24. Data Meteorologi Jl. Perintis Kemerdekaan	88
Tabel 25. Data Meteorologi Jl.Sultan Alauddin.....	88
Tabel 26. Data Meteorologi Jl.Andi Pangeran Pettarani.....	88
Tabel 27. Data Meteorologi Jl.Urip Sumoharjo.....	88
Tabel 28. Data Meteorologi Jl.Veteran Selatan	89
Tabel 29. Data Meteorologi Jl.Veteran Utara	89

Tabel 30. Estimasi Konsentrasi Polutan NO ₂ di Jl. Perintis Kemerdekaan	96
Tabel 31. Estimasi Konsentrasi Polutan NO ₂ di Jl.Sultan Alauddin	97
Tabel 32. Estimasi Konsentrasi Polutan NO ₂ di Jl.Andi Pangeran Pettarani.	98
Tabel 33. Estimasi Konsentrasi Polutan NO ₂ di Jl.Urip Sumoharjo.....	99
Tabel 34. Estimasi Konsentrasi Polutan NO ₂ di Jl.Veteran Selatan	100
Tabel 35. Estimasi Konsentrasi Polutan NO ₂ di Jl.Veteran Utara	101
Tabel 36. Variasi Estimasi Konsentrasi Background.....	103
Tabel 37. Rekapitulasi Estimasi Polutan NO ₂ Jalan Arteri di Kota Makassar....	103
Tabel 38. Uji T Volume Kendaraan Pagi-Siang di Jl. Perintis Kemerdekaan ...	117
Tabel 39. Uji T Volume Kendaraan Pagi-Sore di Jl. Perintis Kemerdekaan.....	118
Tabel 40. Uji T Volume Kendaraan Siang-Sore di Jl. Perintis Kemerdekaan...	118
Tabel 41. Uji T Volume Kendaraan Pagi-Siang di Sultan Alauddin	119
Tabel 42. Uji T Volume Kendaraan Pagi-Sore di Sultan Alauddin.....	119
Tabel 43. Uji T Volume Kendaraan Siang-Sore di Sultan Alauddin.....	119
Tabel 44. Uji T Volume Kendaraan Pagi-Siang di A.P. Pettarani.....	120
Tabel 45. Uji T Volume Kendaraan Pagi-Sore di A.P. Pettarani.....	120
Tabel 46. Uji T Volume Kendaraan Siang-Sore di A.P. Pettarani.....	121
Tabel 47. Uji T Volume Kendaraan Pagi-Siang di Urip Sumoharjo	121
Tabel 48. Uji T Volume Kendaraan Pagi-Sore di Urip Sumoharjo	122
Tabel 49. Uji T Volume Kendaraan Siang-Sore di Urip Sumoharjo	122
Tabel 50. Uji T Volume Kendaraan Pagi-Siang di Veteran Selatan.....	123
Tabel 51. Uji T Volume Kendaraan Pagi-Sore di Veteran Selatan.....	123
Tabel 52. Uji T Volume Kendaraan Siang-Sore di Veteran Selatan.....	123
Tabel 53. Uji T Volume Kendaraan Pagi-Siang di Veteran Utara.....	124
Tabel 54. Uji T Volume Kendaraan Pagi-Sore di Veteran Utara	124
Tabel 55. Uji T Volume Kendaraan Siang-Sore di Veteran Utara	124
Tabel 62. Uji T Hubungan Volume Kendaraan dengan Beban Emisi	125

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian

Lampiran 2. Data Titik Koordinat Reseptor

Lampiran 3. *Tutorial* Penggunaan Caline-4

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Udara merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi semua makhluk hidup yang ada di bumi. Tanpa adanya udara, makhluk hidup tidak akan bisa bertahan hidup lama bahkan hanya beberapa menit saja. Hal ini karena udara yang ada di bumi ini mengandung gas-gas yang dibutuhkan untuk keberlangsungan hidup. Polusi atau pencemaran udara merupakan masalah yang sangat serius saat ini. Apabila udara tercemar maka akan menimbulkan banyak dampak buruk karena kualitas udara sangat berpengaruh bagi kesehatan manusia. Kendaraan bermotor yang semakin banyak menggunakan bahan bakar akan berpotensi menyebabkan pencemaran udara. Dalam hal ini berarti transportasi merupakan faktor utama pencemaran udara, dimana transportasi menyumbang sekitar 60-80% pencemaran udara akibat emisi gas buang kendaraan bermotor.

BPLH DKI Jakarta (dalam Yunita & Kiswandono, 2017) menyatakan bahwa udara merupakan faktor yang penting dalam hidup dan kehidupan. Namun, sejalan dengan perkembangan pembangunan fisik kota dan pusat-pusat industri, serta berkembangnya transportasi menyebabkan kualitas udara mengalami perubahan karena terjadinya pencemaran udara. Pencemaran udara yaitu masuknya zat pencemar (berbentuk gas-gas dan partikel kecil/aerosol) ke dalam udara dalam jumlah tertentu untuk jangka waktu yang cukup lama, sehingga dapat mengganggu kehidupan manusia, hewan, dan tanaman.

Pencemaran udara merupakan masalah yang dihadapi kota-kota besar di dunia. Tingginya pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor di kota-kota besar di Indonesia tiap tahunnya mencapai angka 8.24 % dari total kendaraan yang ada. Hal ini berdampak pada meningkatnya gas-gas hasil pembakaran bahan bakar kendaraan yang juga ikut mencemarkan udara. Kontribusi pencemaran udara

yang berasal dari sektor transportasi mencapai 60%. Tingginya angka ini menimbulkan masalah dalam pemeliharaan kualitas udara (Kusuma, 2013).

Terdapat delapan parameter pencemar udara yaitu, debu, NH₃, Pb, CO, SO₂, hidrokarbon, NO_x, dan H₂S. Parameter tersebut secara bersamaan maupun sendiri-sendiri memiliki potensi bahaya bagi lingkungan yaitu kesehatan masyarakat, hewan, tanaman maupun bagi material (benda) seperti bangunan, logam dan lain-lain (Wiharja, 2002).

Kota Makassar merupakan salah satu ibukota terpadat yang ada di Indonesia. Pertumbuhan kendaraan bermotor di Kota Makassar, Sulawesi Selatan, sangat signifikan dalam satu dekade terakhir. Namun, hal tersebut tidak dibarengi pertumbuhan jalan. Imbasnya, kemacetan terjadi di mana-mana mulai dari jalan besar hingga lorong. Samsat (Sistem Administrasi Manunggal Satu Atap) Makassar mencatat jumlah kendaraan bermotor terhitung Juni 2017 menembus 1.463.056 unit dan hingga Oktober 2018, kendaraan mencapai 1.563.608 unit. Kenaikannya lebih dari seratus persen dibandingkan data pada 2007 yang hanya 613.315 unit (Kurniawan, 2017).

Menurut Badan Pusat Statistik Kota Makassar Tahun 2021, jumlah penduduk Kota Makassar meningkat di tahun 2020 hingga 1.423.877 jiwa. Peningkatan jumlah penduduk menyebabkan peningkatan penggunaan kendaraan bermotor, sehingga gas buang kendaraan menjadi pencemar udara yang dominan. Gas buang kendaraan bermotor mengandung senyawa berbahaya yang berasal dari hasil pembakaran tidak sempurna seperti timbal (Pb), PM₁₀, oksida nitrogen (NO_x), oksida sulfur (SO₂), hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), dan oksida fotokimia (Ox) (Rahadi, 2019).

Dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk yang ada di kota Makassar maka tingkat pemakaian kendaraan juga semakin meningkat, dimana hal tersebut memicu terjadinya kepadatan dan kemacetan lalu lintas. Kepadatan dan kemacetan lalu lintas menyebabkan kendaraan tidak dapat beroperasi pada kecepatan optimum, sehingga udara dari gas buang kendaraan akan mengumpul dan menghasilkan emisi . Oleh sebab itu, adanya kemacetan di suatu kota dapat meningkatkan terjadinya pencemaran udara di kota tersebut (Salatin dkk, 2019).

Nitrogen Oksida (NO_x) adalah kelompok gas nitrogen yang terdapat di atmosfer yang terdiri dari nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO₂). Kedua macam gas tersebut mempunyai sifat yang berbeda dan keduanya sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. (Putri, 2016). Salah satu jenis polutan dari kendaraan bermotor dan memiliki dampak yang sangat berbahaya terhadap kesehatan adalah Nitrogen Oksida (NO_x). Saat ini kadar NO₂ di udara ambien setiap tahunnya semakin meningkat. Apabila kadar NO₂ melebihi standar baku mutu maka akan berdampak buruk bagi lingkungan maupun kesehatan manusia (Salatin dkk, 2019).

Berdasarkan latar belakang diatas, maka pada penelitian ini akan membahas mengenai kaitan pencemaran udara yang terjadi di jalan arteri di Kota Makassar. Melihat dari kondisi tersebut, maka saya tertarik mengadakan penelitian sebagai Tugas Akhir dengan judul : “ **Analisis Kualitas Udara Untuk Parameter Nitrogen Dioksida (NO₂) Pada Jalan Arteri Bermedian Di Kota Makassar.**”

B. Rumusan Masalah

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

1. Berapa besaran emisi Nitrogen Dioksida (NO₂) yang bersumber dari kendaraan bermotor di Kota Makassar.
2. Berapa tingkat konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO₂) menggunakan *impinger* pada Jalan Arteri di Kota Makassar.
3. Bagaimana pola sebaran tingkat konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO₂) di Jalan Arteri di Kota Makassar dengan menggunakan *software* Caline-4.

C. Tujuan Penelitian

Setelah peneliti menguraikan latar belakang dan rumusan masalah maka tujuan penulisan ini untuk:

1. Menganalisis besaran emisi Nitrogen Dioksida (NO₂) pada Jalan Arteri di Kota Makassar.
4. Menganalisis tingkat konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO₂) menggunakan *impinger* pada Jalan Arteri di Kota Makassar.
3. Membuat pemetaan pola sebaran tingkat konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO₂) di Jalan Arteri di Kota Makassar dengan menggunakan *software* Caline-4

D. 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 untuk generasi-generasi selanjutnya yang ada di Departemen Teknik Lingkungan khususnya yang mengambil konsentrasi di bidang Kualitas Udara maupun sejenisnya dalam pengerjaan pembuatan laporan praktikum, pengerjaan tugas, atau dalam tahap penyusunan tugas akhir.

3. Bagi Masyarakat

Memberikan pengetahuan dan kewaspadaan masyarakat terhadap pengaruh pencemaran udara saat berada di jalan khususnya jalan arteri sehingga dapat menghindari atau mencegah terjadinya penyebaran.

E. Ruang Lingkup

Adapun batasan-batasan dari penelitian ini yaitu:

1. Penelitian ini dilakukan di 6 Jalan Arteri di Kota Makassar meliputi Jalan Perintis Kemerdekaan, Jalan Sultan Alauddin, Jalan A.P. Pettarani, Jalan Urip Sumaharjo, Jalan Veteran Selatan, dan Jalan Veteran Utara
2. Parameter yang diukur dalam penelitian adalah Nitrogen Dioksida (NO₂)
3. Penelitian ini dilakukan selama 6 hari pada hari kerja (*weekdays*) yaitu pada 27-28 Mei, 31 Mei, dan 9-10 Juni 2021 selama 1 jam pada tiap interval waktu pagi, siang dan sore.
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. Pengambilan sampel udara dilakukan di satu titik impinger pada setiap ruas jalan.

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 penulisannya.

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 METODELOGI PENELITIAN

Menjelaskan mengenai langkah-langkah atau prosedur pengambilan dan pengolahan data hasil peneliti

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 sebagai komponen lingkungan yang penting dalam kehidupan perlu dipelihara dan ditingkatkan kualitasnya sehingga dapat memberikan daya dukung bagi kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Udara ambien merupakan udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfer yang berada di wilayah yuridis Republik Indonesia yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup dan unsur lingkungan hidup lainnya. Perwujudan kualitas lingkungan yang sehat merupakan bagian pokok di bidang kesehatan (Zakaria, 2013).

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PPRI) No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, udara ambien adalah udara bebas di permukaan 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.

Menurut Maulana (2012) dalam Kemala Nanda (2019), Konsentrasi udara ambien merupakan polutan dari sumber pencemar yang terdiri dari partikel-partikel dan gas-gas kemudian di atmosfer mendapat pengaruh dari antara lain faktor meteorologis seperti curah hujan, arah dan kecepatan angin, kelembaban udara, dan temperatur serta secara bersamaan mengalami reaksi kimia. Perubahan kualitas udara dapat berupa perubahan sifat-sifat fisis ataupun sifat-sifat kimiawi.

B. Pencemaran Udara

1. Pengertian Pencemaran Udara

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).

Menurut Peraturan Pemerintah RI nomor 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dari komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya.

Menurut Mukono (2008) dalam Putri Iriyanti Dwi (2016), pencemaran udara adalah adanya bahan polutan di atmosfer yang dalam konsentrasi tertentu akan mengganggu keseimbangan dinamik atmosfer dan mempunyai efek pada manusia dan lingkungannya

2. Sumber-Sumber Pencemaran 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.

Sumber-sumber pencemar udara dapat bersifat alami maupun akibat aktivitas manusia. Pencemaran udara terjadi akibat dilepaskannya zat pencemar dari berbagai sumber ke udara. Ada lima jenis polutan di udara yaitu partikulat dengan diameter kurang dari 10 μm (PM_{10}), Sulfur dioksida (SO_2), nitrogen dioksida (NO_2), karbon monoksida (CO) dan timbal (Putri, 2016).

Sumber pencemaran partikel akibat ulah manusia sebagian besar berasal dari pembakaran batu bara, proses industri, kebakaran hutan dan gas buangan alat transportasi (Pohan, 2002). 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-sumber pencemar di udara dapat digolongkan menjadi 2, yaitu (Kamal, 2015):

a. Kegiatan yang bersifat alami

Contoh sumber alami adalah letusan gunung berapi, Salah satu gas pencemar yang dihasilkan oleh gunung berapi adalah SO_x. Dan kebakaran hutan, ada beberapa bahan polutan dari pembakaran yang dapat mencemari udara, diantaranya adalah bahan polutan primer, seperti: hidrokarbon dan karbon oksida, karbon dioksida, senyawa sulphur oksida, senyawa nitrogen oksida dan nitrogen dioksida. Adapun polutan berbentuk partikel adalah asap berupa partikel karbon yang sangat halus bercampur dengan debu hasil dari proses pemecahan suatu bahan.

b. Pencemaran Antropogenik

Antropogenik berhubungan dengan proses pembakaran berbagai jenis bahan bakar, diantaranya:

- 1) Sumber tidak bergerak (*stationary source*), termasuk asap dari industri manufaktur, hasil pembakaran insinerator, furnace, dan berbagai tipe peralatan pembakaran dengan bahan bakar.
- 2) Sumber bergerak (*mobile source*), termasuk kendaraan bermotor, pesawat, dan/atau kapal laut.
- 3) Asap dari penggunaan cat, *hair spray*, dan jenis pelarut lainnya; Berikut gambar contoh kondisi asap penggunaan *hair spray*.
- 4) Gas yang dihasilkan dari proses pembuangan akhir di TPA, yang umumnya adalah gas Metan. Gas metan ini memang tidak bersifat racun (*toksik*), tetapi gas ini termasuk gas yang mudah menyala

(*flammable*) dan dapat membentuk senyawa yang bersifat eksplosive (mudah meledak) jika bereaksi dengan udara.

- 5) Militer, seperti senjata nuklir, gas beracun, senjata biologis, maupun roket. Contoh kondisi emisi gas pencemar yang dihasilkan oleh bom atom di Jepang.

3. Jenis Pencemaran Udara

Menurut Sunu (2001) dalam Kamal (2015), ada beberapa jenis pencemaran udara yaitu:

- 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 asap dari industri maupun kendaraan bermotor.
- c. Berdasarkan Gangguan atau Efeknya Terhadap Kesehatan
 - 1) Irritansia, adalah zat pencemar yang dapat menimbulkan iritasi jaringan tubuh, seperti SO₂, Ozon, dan Nitrogen Oksida.
 - 2) Aspekisia, 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; Formaldehide dan Alkohol.
 - 4) Toksis, adalah zat pencemar yang menyebabkan keracunan. Zat penyebabnya seperti Timbal, Cadmium, Fluor, dan Insektisida.
- d. 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).

4. Sifat-sifat Pencemaran Udara

- a. Yang bersifat kualitatif, yaitu terdiri dari unsur-unsur yang secara alamiah telah terdapat dalam alam tetapi jumlahnya bertambah sedemikian banyaknya sehingga mengadakan pencemaran lingkungan. Hal ini bisa terjadi akibat bencana alam, perbuatan manusia dan lain-lain. Contoh polutan misalnya unsur karbon, nitrogen, fosfor dan lain-lain.
- b. Yang bersifat kuantitatif, Terdiri dari unsur-unsur yang terjadi akibat berlangsungnya persenyawaan yang dibuat secara sintesis seperti: pestisida, detergen dan lain-lain. Umumnya polusi lingkungan ditujukan kepada faktor-faktor fisik seperti polusi suara, radiasi, suhu, penerangan, dan faktor-faktor kimia melalui debu, uap, gas, larutan, awan, kabut (Supardi, 2003).

Standar tentang batas-batas pencemar udara secara kuantitatif diatur dalam baku mutu udara ambien dan baku mutu emisi. Baku mutu udara ambien mengatur batas kadar yang diperbolehkan bagi zat atau bahan pencemar terdapat

di udara namun tidak menimbulkan gangguan terhadap makhluk hidup, tumbuh-tumbuhan atau benda (Surbakti, 2015).

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.

Menurut Abdullah (2018) dalam Maharany (2020), 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 (CO_2), uap air (H_2O), Oksigen (O_2) dan Nitrogen (N_2). 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 (SO_2) dan logam berat (Pb).

Emisi gas buang kendaraan bermotor diukur dalam gram per kendaraan per km dari suatu perjalanan dan terkait dengan beberapa faktor seperti tipe kendaraan, umur kendaraan, ambang temperatur dan ketinggian. Kendaraan dengan usia dan jenis bahan bakar yang berbeda akan menghasilkan kadar emisi yang berbeda juga (Yuliasuti, 2008).

2. Kendaraan Bermotor

Kendaraan bermotor merupakan sumber pencemaran udara yaitu dengan dihasilkannya gas NO_x, CO, HC yang merupakan bahan logam timah yang ditambahkan ke dalam bensin berkualitas rendah untuk meningkatkan nilai oktan guna mencegah terjadinya letupan pada bensin.

Sumber pengeluaran polutan motor bahan bakar, yaitu (Munazar, 2012):

- a. Pipa gas buang (knalpot) merupakan sumber emisi yang paling utama sekitar 65-85 persen yaitu mengeluarkan hidrokarbon (HC) yang terbakar maupun tidak terbakar, nitrogen oksida (NO_x), karbon monoksida (CO) yang paling banyak dan campuran alkohol, aldehida, keton, penol, asam, ester, ether, peroksida, dan oksigenat yang lain.
- b. Bak oli adalah sumber kedua emisi sekitar 20 persen yang mengeluarkan hidrokarbon yang terbakar maupun tidak yang dikarenakan *blow-by gas*.
- c. Tangki bahan bakar sekitar 5 persen berasal dari bensin yang menguap karena cuaca panas.
- d. Karburator adalah faktor lainnya, terutama ketika mengendarai pada kondisi *stop and go* (kondisi macet) dengan cuaca panas. Kerugian penguapan dan bahan bakar mentah sekitar 5-10 persen.

3. 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 antara lain :

- 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. Berdasarkan siklus langkah kerjanya, sepeda motor dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis :

- 1) Motor dua langkah yaitu motor pada dua langkah piston (satu putaran) akan menghasilkan satu tenaga kerja.
- 2) Motor empat langkah yaitu motor empat langkah piston (satu putaran) akan menghasilkan satu tenaga kerja.

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 dimaksud adalah kendaraan bermotor yang dirancang khusus yang memiliki fungsi dan rancang bangun tertentu, antara lain:

- 1) Kendaraan Bermotor Tentara Nasional Indonesia
- 2) Kendaraan Bermotor Kepolisian Negara Republik Indonesia
- 3) Alat Berat antara lain, *bulldozer, traktor, mesin gilas (stoomwartz), forklift, loader, excavator, dan crane*
- 4) Kendaraan khusus penyandang cacat.

4. Besaran Emisi Kendaraan Bermotor

Emisi kendaraan bermotor mengandung berbagai senyawa kimia. Komposisi dari kandungan senyawa kimianya tergantung dari kondisi mengemudi, jenis mesin, alat pengendali emisi bahan bakar, suhu operasi dan faktor lain yang semuanya ini membuat pola emisi menjadi rumit (Kusuma dkk, 2017). Jenis bahan bakar pencemar yang dikeluarkan oleh mesin dengan bahan bakar bensin maupun bahan bakar solar sebenarnya sama saja, hanya berbeda proporsinya karena perbedaan cara operasi mesin (Muziansyah dkk, 2015).

Berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Udara di Daerah, nilai faktor emisi yang digunakan adalah faktor emisi gas buang kendaraan untuk kota metropolitan dan kota besar di Indonesia yang ditetapkan berdasarkan kategori kendaraan. 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 (MC)	14	5,9	0,29	0,24	3180	0,008
2	Mobil (LV Bensin)	40	4	2	0,01	3180	0,024
3	Mobil (LV Solar)	2,0	0,2	3,5	0,01	3172	0,44
4	Bis (HV)	11	1,3	11,9	1,4	3172	0,93
5	Truk (HV)	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 yakni :

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

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 $1 \text{ gram/km} = 0,621 \text{ gram/mil}$ (Winardhy, 2018).

D. Nitrogen Dioksida (NO₂)

1. Pengertian Nitrogen Dioksida (NO₂)

Menurut Muchtar (2018) dalam jurnal Maharany (2020). Nitrogen Dioksida (NO₂) adalah kelompok gas nitrogen yang terdapat di atmosfer yang membentuk gas nitrogen oksida (NO_x) bersama dengan gas 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.

Pembentukan NO₂ sangat dipengaruhi oleh suhu dan konsentrasi NO_x sedangkan pembentukan NO dirangsang hanya pada suhu tinggi. Dalam proses pembakaran, suhu yang digunakan biasanya mencapai $1210 - 1.765 \text{ }^\circ\text{C}$, oleh karena itu reaksi ini merupakan hasil samping dari proses pembakaran.

Kadar NO_x di udara perkotaan biasanya 10-100 kali lebih tinggi dari pada di udara pedesaan. Kadar NO_x di udara daerah perkotaan dapat mencapai 0,5 ppm. Seperti halnya CO, 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 arang minyak, gas, dan bensin.

Kendaraan bermotor memproduksi nitrogen oksida dalam bentuk NO sebanyak 98 persen. Di dalam udara NO ini akan berubah menjadi NO₂. Kedua bentuk nitrogen monoksida, yaitu NO dan NO₂ berbahaya terhadap manusia,

penelitian aktivitas mortalitas kedua komponen tersebut menunjukkan bahwa NO₂ empat kali lebih beracun daripada NO (Fardiaz, 1992).

Menurut Soemirat (2009) dalam Putri (2016) NO₂ adalah gas yang toksik bagi manusia. Efek yang terjadi tergantung pada dosis serta lamanya paparan yang diterima oleh seseorang. Konsentrasi NO₂ yang berkisar antara 50-100 ppm yang dapat menyebabkan peradangan paru-paru bila seseorang terpapar selama beberapa menit saja.

2. Sumber Pencemar Nitrogen Dioksida (NO₂)

Gas nitrogen dioksida (NO₂) merupakan polutan udara ambien bersama unsur nitrogen monoksida (NO) yang biasanya dihasilkan dari kegiatan manusia seperti pembakaran bahan bakar mesin kendaraan, pembakaran sampah, pembakaran batubara dan industri (Suyono, 2014).

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) (Constantya, 2017).

Menurut Constantya (2017) dalam Maharany (2020), kira-kira 90-95 persen dari nitrogen oksida yang dihasilkan dalam proses pembakaran adalah dalam bentuk oksida nitrat (NO), oksida nitrogen lain dapat terbentuk, terutama nitrogen dioksida (NO₂). Sehingga para ahli udara merujuk untuk NO dan NO₂ sebagai NO_x. Kondisi suhu tinggi atau tekanan tinggi ada dalam mesin pembakaran internal seperti yang ada di kendaraan bermotor. Selain nitrogen atmosfer, sumber lainnya yaitu 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 yang lain adalah pabrik pengolahan asam nitrat dan jenis lain karena proses industri yang melibatkan generasi dan penggunaan asam nitrat.

3. Dampak Nitrogen Dioksida (NO₂)

Nitrogen Dioksida (NO₂) adalah kelompok gas nitrogen yang terdapat di atmosfer yang membentuk gas nitrogen oksida (NO_x) bersama dengan gas nitrogen monoksida (NO). Kedua macam gas tersebut mempunyai sifat yang sangat berbeda dan keduanya sangat berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan. Gas NO₂ bila mencemari udara mudah diamati dari baunya yang sangat menyengat dan warnanya coklat kemerahan.

Berbagai jenis oksida nitrogen yang ada di udara, nitrogen dioksida (NO₂) merupakan gas yang paling beracun. Karena larutan NO₂ dalam air yang lebih rendah, maka NO₂ akan dapat menembus ke dalam saluran pernafasan lebih dalam. Karena data epidemiologi tentang resiko pengaruh NO₂ 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 µg/m³. Percobaan pada manusia menyatakan bahwa kadar NO₂ sebesar 250 µg/m³ dan 500 µg/m³ dapat mengganggu fungsi saluran pernafasan pada penderita asma dan orang sehat (Tugaswati, 2007).

Berdasarkan informasi Material Safety Data Sheet, pajanan gas NO₂ dapat menyebabkan iritasi lendir, sinus, faring, respirasi tidak teratur, bahkan edema paru (Nitrogen dioxide MSDS, 2016). Efek terhadap gas toksik ini bergantung pada dosis serta lamanya pajanan. Bertambahnya jumlah kendaraan bermotor tiap tahun dapat berdampak pada peningkatan NO₂ dan akan memberi efek negatif pada kesehatan manusia (Wijayanti, 2012).

Sifat racun (toksisitas) gas NO₂ empat kali lebih kuat daripada toksisitas gas NO. Organ tubuh yang paling peka terhadap pencemaran gas NO₂ adalah paru-paru. Paru-paru yang terkontaminasi oleh gas NO₂ akan membengkak sehingga penderita sulit bernafas yang dapat mengakibatkan kematiannya (Fardiaz, 1992). Gas NO₂ 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 Oksida (NO₂)

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.22 Tahun 2021 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, 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. Baku mutu emisi sumber tidak bergerak adalah batas kadar maksimum dan/atau beban emisi maksimum yang diperbolehkan masuk atau dimasukkan ke dalam udara ambien. Baku mutu dibutuhkan, sebagai acuan untuk menetapkan seberapa banyak polutan yang dapat di buang ke udara ambien. Perlindungan mutu udara ambien adalah upaya yang dilakukan agar udara ambien dapat memenuhi fungsi sebagaimana mestinya. Udara yang melebihi baku mutu dapat merusak lingkungan sekitarnya dan berpotensi mengganggu kesehatan masyarakat sekitarnya. Berikut baku mutu udara ambien untuk Nitrogen Dioksida (NO₂) dapat dilihat pada tabel berikut ini

Tabel 2. Baku Mutu Udara Ambien Nitrogen Dioksida (NO₂)

Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu	Metode Analisis	Peralatan
(Nitrogen Dioksida)	1 jam	200 µg/Nm ³		
	24 jam	65 µg/Nm ³	Griess	Spektrofotometer
	1 tahun	50 µg/Nm ³	Saltzman	UV-Vis

Sumber : Peraturan Pemerintah RI No.22 Tahun 2021

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 :

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

Dimana :

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

5. Pengukuran Konsentrasi NO₂ menggunakan *Air Sampling Impinger*

Pada pengukuran kualitas udara ambien umumnya dilakukan dengan menggunakan *Air Sampling Impinger* dan dilakukan berdasarkan prosedur masing-masing sesuai SNI yang telah ditetapkan. Cara penentuan gas nitrogen dioksida (NO₂) di udara ambien dilakukan dengan metode Griess Saltzman menggunakan spektrofotometer. Prinsip pengukuran kualitas udara untuk parameter nitrogen dioksida (NO₂) adalah gas nitrogen dioksida dijerap dalam larutan Griess Saltzman sehingga membentuk suatu senyawa azo dye berwarna merah muda yang stabil setelah 15 menit. Konsentrasi larutan ditentukan secara spektrofotometri pada panjang gelombang 550 nm.

Setelah diukur menggunakan spektrofotometer akan keluar nilai absorbansi yang digunakan dalam perhitungan konsentrasi. Volum contoh uji gas yang diambil, dikoreksi pada kondisi normal (25°C, 760 mmHg) dengan menggunakan rumus pada persamaan 3

$$V = \frac{F_1 + F_2}{2} \times t \times \frac{P_a}{T_a} \times \frac{298}{760} \quad (3)$$

Dimana:

- V = volum udara yang dihisap dikoreksi pada kondisi normal 25°C, 760 mmHg
F₁ = laju alir awal (L/menit)
F₂ = laju alir akhir (L/menit)
t = waktu pengambilan contoh uji (menit)
P_a = tekanan barometer rata-rata selama pengambilan contoh uji (mmHg)

- T_a = temperature rata-rata selama pengambilan contoh uji ($^{\circ}\text{K}$)
 298 = temperature pada kondisi normal 25°C ($^{\circ}\text{K}$)
 760 = tekanan pada kondisi normal 1 atm (mmHg)

Perhitungan konsentrasi NO_2 di udara ambien dihitung dengan rumus pada persamaan 4

$$C = \frac{b}{V} \times \frac{10}{25} \times 1000 \quad (4)$$

Dimana:

- C = konsentrasi NO_2 di udara ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)
 b = jumlah NO_2 dari contoh uji hasil perhitungan kurva kalibrasi (μg)
 V = volum udara yang dihisap dikoreksi pada kondisi normal 25°C , 760 mmHg
 $10/25$ = faktor pengenceran
 1000 = konversi dari liter ke m^3

E. Indeks Standar Pencemar Udara

Kualitas udara disampaikan kepada masyarakat dalam bentuk indeks standar pencemar udara atau disingkat ISPU. ISPU adalah laporan kualitas udara kepada masyarakat untuk menerangkan seberapa bersih atau tercemarnya udara kita dan bagaimana dampaknya terhadap kesehatan kita setelah menghirup udara tersebut selama beberapa jam atau hari. Penetapan ISPU ini mempertimbangkan tingkat mutu udara terhadap kesehatan manusia, hewan, tumbuhan, bangunan dan nilai estetika (Sianipar, 2017).

Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 45 Tahun 1997 tentang Indeks Standar Pencemaran Udara, Indeks Standar Pencemar Udara

adalah angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi kualitas udara ambien di lokasi dan waktu tertentu.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, Indeks Standar Pencemar Udara dapat digunakan sebagai:

- a. Bahan informasi kepada masyarakat tentang kualitas udara ambien di lokasi dan waktu tertentu
- b. Bahan pertimbangan Pemerintah Pusat dan Pemerintah Daerah dalam melaksanakan pengelolaan dan pengendalian pencemaran udara.

Parameter-parameter dasar untuk Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) dan Periode Waktu Pengukuran menurut Keputusan KABAPEDAL No. 107 Tahun 1997 tentang Pedoman Teknis Perhitungan dan Pelaporan Serta Informasi Indeks Standar Pencemar Udara dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Parameter NOx Menurut ISPU dan Periode Waktu pengukuran

Parameter	Waktu Pengukuran
Nitrogen Oksida (NOx)	1 jam (Periode pengukuran rata-rata)

Sumber : Keputusan BAPEDAL No.107 Tahun 1997

Pembagian kategori Indeks Standar Pencemaran Udara dari baik hingga berbahaya, warna, serta penjelasannya juga diatur dalam KEPMENLH No. 45 Tahun 1997 tentang Indeks Standar Pencemar Udara dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. Kategori ISPU

Kategori	Rentang	Penjelasan
Baik	0 – 50	Tingkat kualitas udara yang tidak memberikan efek bagi kesehatan manusia atau hewan dan tidak berpengaruh pada tumbuhan, bangunan ataupun nilai estetika
Sedang	51 – 100	Tingkat kualitas udara yang tidak berpengaruh pada kesehatan manusia ataupun hewan tetapi berpengaruh pada tumbuhan yang sensitif, dan nilai estetika
Tidak Sehat	101 – 199	Tingkat kualitas udara yang bersifat merugikan pada manusia ataupun kelompok hewan yang sensitif atau bisa menimbulkan kerusakan pada tumbuhan ataupun nilai estetika
Sangat Tidak Sehat	200 – 299	Tingkat kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar
Berbahaya	300 – lebih	Tingkat kualitas udara berbahaya yang secara umum dapat merugikan kesehatan yang serius pada populasi

Sumber : KEPMENLH No.45 Tahun 1997

F. Dispersi Polutan

Polusi udara yang dihasilkan dari aktivitas industri/pabrik, pembangkit listrik, kebakaran hutan dan kendaraan bermotor menyebar ke lingkungan sehingga lingkungan terkontaminasi zat dari polutan tersebut. Penyebaran polutan di atmosfer melibatkan tiga mekanisme utama yaitu gerakan udara secara global, fluktuasi kecepatan turbulensi yang akan menyebabkan polutan ke seluruh arah, dan difusi masa akibat perbedaan konsentrasi. Penyebaran cemaran dari suatu sumber emisi selain dipengaruhi oleh karakteristik sumber emisi juga dipengaruhi oleh karakteristik meteorologi dan topografi setempat.

Ketika polutan diemisikan ke dalam udara, atmosfer berperan dalam perpindahan, difusi, reaksi kimia dan pengangkutan polutan tersebut. Empat proses di atmosfer tersebut selanjutnya disebut dispersi. Dispersi adalah proses perpindahan, difusi, reaksi kimia dan pengangkutan polutan yang telah diemisikan ke udara oleh atmosfer.

Proses dispersi polutan di atmosfer dipengaruhi oleh kondisi fisik meteorologi setempat seperti radiasi cahaya matahari, suhu dan stabilitas atmosfer, distribusi angin, kelembaban udara serta dipengaruhi oleh gejala cuaca seperti presipitasi. Sedangkan bila proses pendispersian polutan tersebut telah mengalami interaksi dengan objek di bumi atau permukaan bumi maka topografi memainkan peranan hal yang penting dalam proses pendispersian polutan. Topografi wilayah setempat akan mempengaruhi keadaan kondisi meteorologi tersebut, yang selanjutnya mempengaruhi pola pendispersian polutan yang terjadi (Supriyadi dalam Pujaardana, 2016). Kondisi meteorologi yang dapat memengaruhi dispersi polutan di udara adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan dan Arah Angin

Angin menjadi faktor utama dalam dispersi polutan di udara karena dapat mengakibatkan perpindahan suatu zat. Arah angin dapat digunakan untuk menentukan daerah penerima dispersi zat, sedangkan kecepatan angin dapat digunakan untuk menentukan jangkauan daerah penerima. Dalam klimatologi, kecepatan angin merupakan jarak yang ditempuh oleh angin per satuan waktu yang dinyatakan dalam satuan knot, km/jam dan m/s. Kecepatan udara bergerak secara horizontal pada ketinggian dua meter di atas tanah. Kecepatan angin dipengaruhi oleh tekanan udara dan asal dari arah kecepatan angin tersebut sebagai faktor pendorong (Lakitan, 1994 dalam Ancilla, 2014). Kecepatan angin dapat digunakan dalam menentukan jangkauan daerah penerima. Kecepatan angin yang lebih tinggi pada suatu tempat dekat pembuangan polutan udara lebih cepat membawa polutan tersebut jauh dari sumbernya, sebaliknya bila kecepatan angin yang rendah akan menyebabkan terkonsentrasinya polutan di sekitar sumber pencemaran dan dapat berlangsung lebih lama pada daerah yang bersangkutan.

Sedangkan arah angin dapat digunakan untuk menentukan daerah penerima dispersi zat (Rahmawati, 1999 dalam Puspita, 2011).

2. Suhu Udara

Suhu udara yang rendah menyebabkan densitas udara di dekat permukaan bumi hampir sama dengan densitas udara yang berada di atasnya, akibatnya aliran konveksi udara bergerak lambat sehingga konsentrasi NO_2 menjadi tinggi karena terakumulasi di permukaan begitupun sebaliknya (Syech, dkk, 2014).

3. Kelembaban

Apabila kelembaban udara rendah maka konsentrasi udara rendah dan apabila kelembaban udara tinggi maka konsentrasi udara akan tinggi. Kelembaban udara yang rendah berarti jumlah uap air yang dikandung udara rendah, pada saat itu dispersi udara akan terjadi lebih cepat karena udara dapat bergerak tanpa terhambat oleh uap air sehingga konsentrasi NO_2 disekitar lokasi pengambilan sampel menjadi rendah, begitu pula sebaliknya (Noviani, 2013).

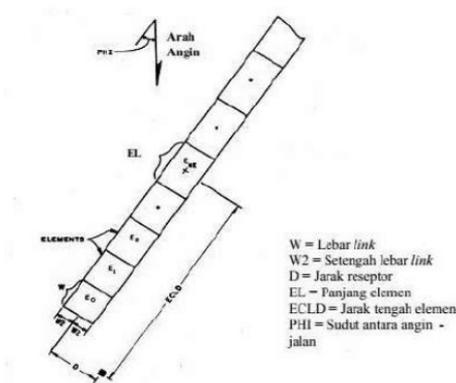
Kelembaban udara yang rendah berarti uap air yang dikandung udara jumlahnya sedikit, pada saat itu dispersi udara akan terjadi lebih cepat karena udara dapat bergerak tanpa terhambat oleh uap air sehingga konsentrasi NO_2 di sekitar lokasi penelitian menjadi rendah. Kelembaban udara yang tinggi menyebabkan dispersi udara lambat karena uap air di udara akan memperlambat aliran udara baik secara horizontal maupun vertical sehingga konsentrasi NO_2 menjadi tinggi (Syech, dkk, 2014).

G. 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).

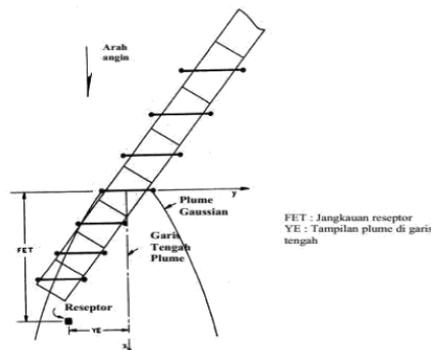
Caline-4 membagi jaringan kota yang berisi sejumlah jalan menjadi link-link, dimana setiap link merupakan garis lurus dari suatu jalan yang memiliki karakteristik emisi yang bervariasi. Link tersebut diperlakukan sebagai sumber garis (line source) dalam perhitungan konsentrasi pada reseptor dengan konsentrasi 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)

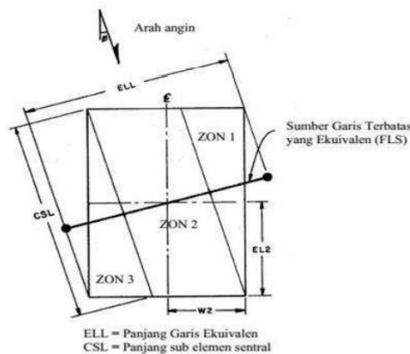
Tiap elemen dimodelkan sebagai sumber garis terhingga (Finite Line Source - FLS) ekuivalen yang diposisikan normal (tegak lurus) terhadap arah angin dan berpusat di titik tengah elemen. Sistem koordinat x-y dapat disejajarkan dengan arah angin dan berpusat di tengah elemen. Tingkat emisi yang terjadi 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 Sumber Garis Terhingga 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)

H. Program Golden Surfer 13.0

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).

I. 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).

J. Uji Hipotesis

a. Uji T-Test (*Paired Sample Test*)

Pengujian hipotesis dapat dilakukan berbagai macam uji salah satunya adalah *Paired Sample T-Test* yang digunakan untuk mengetahui apakah terdapat

perbedaan rata-rata dua sampel (dua kelompok) yang berpasangan atau berhubungan. Metode ini mengasumsikan bahwa data yang digunakan harus berdistribusi normal dan skala pengukuran yang digunakan minimal skala interval. Adapun pedoman pengambilan keputusan dalam uji *Paired Sample T-Test* berdasarkan nilai signifikan yaitu (Arifin, 2020) :

1. Jika nilai Signifikansi (Sig) < 0,05 maka ada perbedaan yang signifikan, yang artinya terdapat pengaruh.
2. Jika nilai Signifikansi (Sig) > 0,05 maka tidak ada perbedaan yang signifikan, yang berarti tidak adanya pengaruh.

b. Uji T-Test (Uji Korelasi)

Suatu teknik statistik yang mengukur derajat hubungan antara 2 variabel atau lebih serta menunjukkan besarnya (kuat/lemah) hubungan dari variabel tersebut (Marheni, 2017).

- Ada dua variabel :
 - a. Variabel X (variabel bebas/independent variable): variabel yang mempengaruhi variabel lain
 - b. Variabel Y (variabel terikat/dependent variable): variabel yang dipengaruhi oleh variabel lain
- Dasar Pengambilan Keputusan
 - a. Jika nilai signifikansi < 0,05 maka berkorelasi
 - b. Jika nilai signifikansi > 0,05 maka tidak berkorelasi
- Pedoman derajat hubungan

Menurut Sugiyono (2007) dalam jurnal Putri (2017). Hasil uji korelasi *Pearson* akan menghasilkan nilai korelasi (r), dimana nilai tersebut akan menunjukkan ada tidaknya atau seberapa kuat hubungan antara kedua variabel yang diuji :

Tabel 5. Tingkat Hubungan Uji Korelasi

Interval koefisien	Tingkat Hubungan
0,00-0,19	Sangat Lemah
0,20-0,39	Lemah
0,40-0,59	Sedang
0,60-0,79	Kuat
0,80-1,00	Sangat Kuat

K. Jalan Arteri

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan menyatakan bahwa jalan arteri merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan utama dengan ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara berdaya guna. Jalan arteri dibagi menjadi dua yakni jalan arteri primer adalah jalan yang menghubungkan secara berdaya guna antar pusat kegiatan nasional atau antara pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan wilayah. Sedangkan jalan arteri sekunder adalah jalan yang menghubungkan kawasan primer dengan kawasan sekunder kesatu, kawasan sekunder kesatu dengan kawasan sekunder kesatu, atau kawasan sekunder kesatu dengan kawasan sekunder kedua (Aulia, 2011).

Geometrik jalan merupakan bagian dari perencanaan jalan yang meliputi perencanaan bentuk fisik agar dapat memenuhi fungsi dasar dari jalan. Geometrik jalan juga dapat didefinisikan sebagai perencanaan dari ruas jalan secara lengkap yang meliputi beberapa elemen yang disesuaikan dengan kelengkapan dan data dasar yang ada atau tersedia dari hasil tinjauan langsung di lapangan dan telah dianalisis dengan suatu standar perencanaan.

Jalan perkotaan biasanya terdiri atas jalan terbagi (*divided*) dan jalan tak terbagi (*un-divided*). Tipe jalan pada penelitian ini dibagi dalam 2 jenis yaitu:

1. Jalan empat lajur dua arah terbagi, dengan median (4/2 D)

Kondisi dasar tipe jalan ini didefinisikan sebagai berikut:

- a) Lebar lajur 3,5 meter (lebar jalur lalu lintas total 14,0 meter)

- b) Kereb (tanpa bahu)
- c) Jarak antara kereb dan penghalang terdekat pada trotoar ≥ 2 meter
- d) Ada median
- e) Pemisahan arah lalulintas 50 – 50
- f) Hambatan samping rendah
- g) Ukuran kota 1,0 – 3,0 juta
- h) Tipe alinyemen datar

2. Jalan enam lajur dua arah terbagi (6/2 D)

Tipe jalan ini meliputi semua jalan dua arah dengan lebar jalur lalulintas antara 18 meter sampai dengan 24 meter.

- a) Lebar lajur 3,5 meter (lebar jalur lalu lintas total 21,0 meter)
- b) Kereb (tanpa bahu)
- c) Jarak antara kereb dan penghalang terdekat pada trotoar ≥ 2 meter
- d) Ada median
- e) Pemisahan arah lalulintas 50 – 50
- f) Hambatan samping rendah
- g) Tipe alinyemen datar