

TUGAS AKHIR

“Analisis Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) Dan Nitrogen Dioksida (NO₂) Pada Jalan Raya Di Kota Makassar”



NUR MASITA

D121 16 003

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2021



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 syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.

Judul : **Analisis Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Dioksida (NO₂) pada Jalan Raya di Kota Makassar**

Disusun Oleh :

Nama : Nur Masita

D121 16 003

Telah diperiksa dan disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Gowa, 03 Maret 2021

Pembimbing I


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

Pembimbing II


Rasdiana Zakaria, S.T., M.T.
NIP. 198604092019043001

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 Nur Masita, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “**Analisis Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Dioksida (NO₂) pada Jalan Raya 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 dan 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, 05 Maret 2021

Yang membuat
pernyataan,



Nur Masita

D121 16 003

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Tugas akhir ini saya susun guna memenuhi salah satu persyaratan akademik untuk menyelesaikan studi program Strata I Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Saya menyadari sepenuhnya bahwa selesainya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, saya ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Keluarga tercinta, kedua orang tua saya ayahanda tercinta Syaparuddin dan ibunda Nuraini yang tak pernah lelah dalam memberikan kasih sayang, doa, perhatian dan pengertian serta dorongan, motivasi maupun materi, serta saudara tercinta adik saya Muh. Ilham .S, Muhammad Rayhan dan Muh. Aqif atas dukungan dan juga doanya.
2. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Ibu 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 memberikan arahan dan masukan, meluangkan waktu di tengah kesibukannya selama penulis melaksanakan penelitian dan penyusunan tugas akhir ini, dan juga selalu memberikan semangat selama penulis melaksanakan penelitian dan penyusunan tugas akhir.
4. Bapak Dr. Eng. M. Isran Ramli, S.T.,M.T. dan Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan arahan dan masukan pada penyusunan tugas akhir saya.
5. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Departemen Teknik Lingkungan atas bimbingan, arahan, didikan, dan motivasi yang telah diberikan selama kurang lebih empat tahun.

6. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya selama penulis menempuh perkuliahan terutama kepada staf administrasi S1 Departemen Teknik Lingkungan Ibu Sumiati dan Kak Olan.
7. Teman-teman konsentasi Laboratorium Riset Kualitas Udara dan Kebisingan ES Te 12 (Riswan, Aslam, Afief, Nando, Iqo, Ema, Arikah, Sahnaz, Ghina, Nia, Ulfah, Tifa dan Melin) yang selalu mendukung dan memberi semangat.
8. Teman-teman D'CancuBel (Riswan, Nadiah, Aslam, Iwa, Afief dan Nando) yang selalu mendoakan dan memberikan semangat.
9. Sahabat tercinta (Nadiah Auliah, Ika Setianingrum, Lyoni Sanda, Ryski Wahyuni, Nadia Adum, Luvitaliani dan Mutiah Rayhana) sudah menjadi bagian dari cerita perjuangan penyusunan tugas akhir ini dan membantu penulis disaat susah maupun senang.
10. Andi Muhammad Riswanda yang selalu meluangkan waktunya menemani suka dan duka, serta menjadi *support system* bagi penulis.
11. Dan kepada seluruh keluarga besar saya, rekan, sahabat, saudara dan berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, penulis ucapkan banyak terimakasih atas setiap bantuan dan doa yang diberikan.

Dalam penulisan tugas akhir ini saya menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan dengan adanya kekurangan-kekurangan mengingat keterbatasan kemampuan yang penulis miliki. Oleh karena itu, saya sangat mengharapkan segala kritik dan saran yang bersifat membangun sebagai masukan demi penyempurnaan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat.

Gowa, 24 Januari 2021

Nur Masita

ANALISIS KONSENTRASI KARBON MONOKSIDA (CO) DAN NITROGEN DIOKSIDA (NO₂) PADA JALAN RAYA DI KOTA MAKASSAR

Nur Masita¹⁾, **Sumarni Hamid Aly**²⁾, dan **Rasdiana Zakaria**³⁾
Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jl. Poros Malino KM 6, Bontomarannu (92172) Gowa, Sulawesi Selatan
Telp. (0411) 586015 Fax (0411)586015
Email : masita.nur997@gmail.com

ABSTRAK

Jalan raya adalah jalur perlintasan utama yang menghubungkan satu kawasan dengan kawasan yang lain, yang dilewati oleh berbagai macam kendaraan. Kepadatan lalu lintas terjadi bila pada kondisi lalu lintas di jalan raya mulai tidak stabil, mengakibatkan pada beberapa ruas jalan yang menjadi jalur utama kendaraan umum di kota-kota mengalami kemacetan, terutama pada jam - jam sibuk serta dengan bertambahnya jumlah kendaraan akan menimbulkan efek beban pencemar di udara. Penelitian ini dilakukan di 10 titik pada jalan raya selama 1 jam. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Dioksida (NO₂) udara ambien berdasarkan pengukuran tidak langsung menggunakan CALINE 4 pada Jalan Raya di Kota Makassar dan menganalisis pola sebaran Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Dioksida (NO₂) pada Jalan Raya di Kota Makassar. Data volume kendaraan, koordinat, dan data meteorology dianalisis menggunakan *software* CALINE 4 untuk menghasilkan konsentrasi polutan. Selanjutnya pola sebaran menggunakan *software* Surfer. Hasil analisis konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Dioksida (NO₂) masih berada pada nilai ambang batas yang dipersyaratkan oleh Peraturan Pemerintah No. 41 tahun 1999 tentang baku mutu udara ambien sebesar 30.000 µg/Nm³ dan 400 µg/Nm³ dengan waktu pengukuran 1 jam. Penelitian menunjukkan konsentrasi polutan dari *software* CALINE 4 yang diterima reseptor bermacam-macam, dari 10 jalan nilai konsentrasi CO yang paling tinggi di Jalan. AP. Pettarani, Jalan Sam Ratulangi dan Jalan Ahmad Yani sebesar 3318 µg/Nm³ dan nilai konsentrasi NO₂ yang paling tinggi di jalan A P Pettarani 226 µg/Nm³.

Kata Kunci : CO dan NO₂, CALINE 4, Surfer, Jalan Raya.

CONCENTRATION ANALYSIS OF CARBON MONOXIDE (CO) AND NITROGEN DIOXIDE (NO₂) ON RAYA ROAD IN MAKASSAR CITY

Nur Masita¹⁾, Sumarni Hamid Aly²⁾, dan Rasdiana Zakaria³⁾

Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Jl. Poros Malino KM 6, Bontomarannu (92172) Gowa, Sulawesi Selatan

Telp. (0411) 586015 Fax (0411)586015

Email : masita.nur997@gmail.com

ABSTRACK

The highway is the main crossing that connects one area to another, which is passed by various kinds of vehicles. Traffic congestion occurs when traffic conditions on the highway start to become unstable, resulting in congestion on several roads that are the main routes for public transportation in cities, especially during rush hours and the increasing number of vehicles will cause a pollutant load effect. in the air. This research was conducted at 10 points on the highway for 1 hour. This study aims to analyze the concentration of carbon monoxide (CO) and nitrogen dioxide (NO₂) in ambient air based on indirect measurements using CALINE 4 on a highway in Makassar City and analyze the distribution patterns of carbon monoxide (CO) and nitrogen dioxide (NO₂) on highways. in Makassar City. Vehicle volume data, coordinates, and meteorological data were analyzed using CALINE 4 software to produce pollutant concentrations. Furthermore, the distribution pattern uses the Surfer software. The results of the analysis of the concentration of Carbon Monoxide (CO) and Nitrogen Dioxide (NO₂) are still at the threshold value required by Government Regulation No. 41 of 1999 concerning ambient air quality standards of 30,000 µg / Nm³ and 400 µg / Nm³ with a measurement time of 1 hour. The study showed that the concentration of pollutants from the CALINE 4 software received by the receptor varied, from 10 roads the value of CO concentrations was the highest on AP. Pettarani St., Sam Ratulangi St., and Ahmad Yani St., at 3318 µg / Nm³ and the highest NO₂ concentration values were on AP Pettarani St. 226 µg / Nm³.

Keywords : CO and NO₂, CALINE 4, Surfer, Highway.

DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Ruang Lingkup Wilayah	4
E. Manfaat Penelitian	4
F. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Udara Ambien	6
B. Pencemaran Udara	6

C. Emisi Kendaraan Bermotor	9
D. Besaran Emisi Kendaraan Bermotor	11
E. Karbon Monoksida (CO)	13
F. Nitrogen Dioksida (NO ₂)	15
G. Baku Mutu Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Dioksida (NO ₂)	17
H. Jalan Raya	18
I. Definisi Dispersi	19
J. Model Dispersi Caline4	20
K. <i>Software</i> Surfer	22
L. <i>Wind Rose</i> Arah Angin	23
BAB III METODE PENELITIAN	
A. Rancangan penelitian	25
B. Waktu Penelitian	27
C. Gambaran Lokasi Studi	27
D. Peralatan Yang Digunakan	37
E. Pengumpulan Data	45
F. Teknik Analisa Data	45
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
A. Volume Kendaraan	47
B. Nilai Besaran Emisi	50
C. Faktor Meteorologi	51
D. Nilai Konsentrasi Polutan CO dan NO ₂	53
E. Sebaran Polutan CO dan NO ₂	60

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan	72
B. Saran	73

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai Faktor Emisi Kendaraan Bermotor	11
Tabel 2. Sumber Pencemar Karbon Monoksida (CO)	14
Tabel 3. Pengaruh Konsentrasi CO dalam Darah terhadap Kesehatan Manusia	15
Tabel 4. Kategori kualitas udara berdasarkan nilai ISPU sesuai dengan lampiran Keputusan Kepala Bapedal No. 107 Tahun 1997	17
Tabel 5. Baku Mutu Udara Ambien Karbon Monoksida (CO)	18
Tabel 6. Karakteristik Jalan	28
Tabel 7. Lokasi Reseptor Berdasarkan Gambar Detail Lokasi Jalan	36
Tabel 8. Klasifikasi Kestabilan Atmosfer Berbasis Caline 4	43
Tabel 9. Besaran Emisi (q) Kendaraan untuk Parameter CO	50
Tabel 10. Besaran Emisi (q) Kendaraan untuk Parameter NO ₂	51
Tabel 11. Data Meteorologi	52
Tabel 12. Nilai Konsentrasi Polutan CO dan NO ₂ Jalan A.P Pettarani	53
Tabel 13. Nilai Konsentrasi Polutan CO dan NO ₂ Jalan Sultan Alauddin	54
Tabel 14. Nilai Konsentrasi Polutan CO dan NO ₂ Jalan Vetran Selatan	55
Tabel 15. Nilai Konsentrasi Polutan CO dan NO ₂ Jalan Ahmad Yani	55
Tabel 16. Nilai Konsentrasi Polutan CO dan NO ₂ Jalan Bandang	56
Tabel 17. Nilai Konsentrasi Polutan CO dan NO ₂ Jalan Cakalang	57
Tabel 18. Nilai Konsentrasi Polutan CO dan NO ₂ Jalan Cendrawasih	58
Tabel 19. Nilai Konsentrasi Polutan CO dan NO ₂ Jalan Kakatua	58
Tabel 20. Nilai Konsentrasi Polutan CO dan NO ₂ Jalan Rajawali	59
Tabel 21. Nilai Konsentrasi Polutan CO dan NO ₂ Jalan Sam Ratulangi	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Seri elemen yang digunakan CALINE 4	21
Gambar 2. Seri elemen yang diwakilkan oleh sumber garis terhingga yang ekivalen	22
Gambar 3. Representasi elemen sumber garis terbatas	22
Gambar 4. Kerangka penelitian	26
Gambar 5. Lokasi survey jalan pada jalan raya di Kota Makassar	29
Gambar 6. Detail Lokasi Jalan A.P Pettarani	30
Gambar 7. Detail Lokasi Jalan Ahmad Yani	30
Gambar 8. Detail Lokasi Jalan Bandang	31
Gambar 9. Detail Lokasi Jalan Cakalang	31
Gambar 10. Detail Lokasi Jalan Cendrawasih	32
Gambar 11. Detail Lokasi Jalan Kakatua	32
Gambar 12. Detail Lokasi Jalan Rajawali	33
Gambar 13. Detail Lokasi Jalan Sam Ratulangi	33
Gambar 14. Detail Lokasi Jalan Sultan Alauddin	34
Gambar 15. Detail Lokasi Jalan Vetran Selatan	34
Gambar 16. <i>Google Earth</i>	37
Gambar 17. <i>Interface Software WRPLOT View</i>	38
Gambar 18. <i>Flowchart</i> Pengolahan Data Angin pada WRPLOT	39
Gambar 19. <i>Software Caline4</i>	40
Gambar 20. Diagram Alir Caline4	41
Gambar 21. <i>Software Surfer</i>	44
Gambar 22. Tahapan Analisis Data	46
Gambar 23. Volume Kendaraan Jalan A.P Pettarani , Jalan Sultan Alauddin dan Jalan Vetran Selatan Berdasarkan Jenis Kendaraan	47
Gambar 24. Volume Kendaraan Jalan Ahmad Yani , Jalan Cakalang dan Jalan Bandang Berdasarkan Jenis Kendaraan	48
Gambar 25. Volume Kendaraan Jalan Sam Ratulangi, Jalan Kakatua, Jalan	

Rajawali dan Jalan Cendrawasih Berdasarkan Jenis Kendaraan	49
Gambar 26. Sebaran Polutan CO dan NO ₂ di Jalan A.P Pettarani	61
Gambar 27. <i>Wind Rose</i> di Jalan A.P Pettarani	61
Gambar 28. Sebaran Polutan CO dan NO ₂ di Jalan Sultan Alauddin	62
Gambar 29. <i>Wind Rose</i> di Jalan Sultan Alauddin	62
Gambar 30. Sebaran Polutan CO dan NO ₂ di Jalan Vetran Selatan	63
Gambar 31. <i>Wind Rose</i> di Jalan Vetran Selatan	63
Gambar 32. Sebaran Polutan CO dan NO ₂ di Jalan Ahmad Yani	64
Gambar 33. <i>Wind Rose</i> di Jalan Ahmad Yani	64
Gambar 34. Sebaran Polutan CO dan NO ₂ di Jalan Bandang	65
Gambar 35. <i>Wind Rose</i> di Jalan Bandang	65
Gambar 36. Sebaran Polutan CO dan NO ₂ di Jalan Cakalang	66
Gambar 37. <i>Wind Rose</i> di Jalan Cakalang	67
Gambar 38. Sebaran Polutan CO dan NO ₂ di Jalan Cendrawasih	67
Gambar 39. <i>Wind Rose</i> di Jalan Cendrawasih	68
Gambar 40. Sebaran Polutan CO dan NO ₂ di Jalan Kakatua	68
Gambar 41. <i>Wind Rose</i> di Jalan Kakatua	69
Gambar 42. Sebaran Polutan CO dan NO ₂ di Jalan Rajawali	69
Gambar 43. <i>Wind Rose</i> di Jalan Rajawali	70
Gambar 44. Sebaran Polutan CO dan NO ₂ di Jalan Sam Ratulangi	70
Gambar 45. <i>Wind Rose</i> di Jalan Sam Ratulangi	71

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A Data – Data Volume Kendaraan Jam 07:00 – 19:00
- Lampiran B *Tutorial Penggunaan Software CALINE-4*
- Lampiran C *Result CALINE4*

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pencemaran udara di Indonesia disumbangkan oleh gas buangan kendaraan bermotor sebesar 60 - 70%, oleh industri sebesar 10 - 15%, dan sisanya berasal dari rumah tangga, pembakaran sampah, kebakaran hutan, dan lain-lain (Ismiyati et al. 2014 dalam Anisah, 2019). Sumber pencemaran udara yang paling banyak menyumbang gas-gas pencemar adalah emisi dari kendaraan bermotor. Berdasarkan data Badan Pusat Statistika (BPS) tahun 2018 menunjukkan bahwa, jumlah kendaraan yang terdapat di Indonesia adalah sebanyak 146.858.759 unit, meningkat sebesar 6-7% per tahun. Dengan asumsi penambahan kendaraan berdasarkan data tersebut, pada tahun 2020 jumlah kendaraan bermotor di Indonesia dapat mencapai angka 156.507.379 unit. Untuk peningkatan jenis kendaraan motor sebesar 7%, kendaraan ringan sebesar 6% dan kendaraan berat sebesar 5%. Hal ini menunjukkan, secara tidak langsung pencemaran udara di Indonesia akan semakin meningkat seiring dengan peningkatan jumlah kendaraan bermotor tersebut.

Kota Makassar sebagai salah satu kota besar di Indonesia tercatat memiliki jumlah kendaraan yang sangat besar, dan dilansir dari data Badan Pusat Statistik (BPS) jumlah kendaraan di Kota Makassar mencapai angka 1.338.142 unit pada tahun 2015. Sementara itu, menurut data base Polda Sulsel Oktober 2018, jumlah kendaraan mencapai 1.563.608 unit meningkat hingga 6% pertahun. Meningkatnya jumlah kendaraan bermotor di kota Makassar mengakibatkan peningkatan konsentrasi polutan di udara ambien.

Dari hasil evaluasi Kementerian Lingkungan Hidup pada tahun 2013, Kota Makassar masuk dalam *Level of Service* (LOS) F dimana LOS F menjelaskan kondisi arus terhambat, kecepatan rendah, volume di atas kapasitas, banyak

berhenti. Berdasarkan evaluasi tersebut dapat diketahui bagaimana tingkat kemacetan dan volume kendaraan di Kota Makassar.

Jalan raya adalah jalur perlintasan utama yang menghubungkan satu kawasan dengan kawasan yang lain, yang dilewati oleh berbagai macam kendaraan. Kepadatan lalu lintas terjadi bila pada kondisi lalu lintas di jalan raya mulai tidak stabil, kecepatan operasi menurun relatif cepat akibat adanya hambatan yang timbul dan kebebasan bergerak relatif kecil (Putri, 2018). Lalu lintas tergantung pada kapasitas jalan, dimana banyaknya kendaraan yang ingin bergerak tetapi kalau kapasitas jalannya tidak bisa menampung maka lalu lintas yang ada akan terhambat (Putri, 2018). Tidak seimbanginya pertambahan jumlah kendaraan dengan sarana jalan yang tersedia, mengakibatkan pada beberapa ruas jalan yang menjadi jalur utama kendaraan umum di kota-kota terjadi kemacetan, terutama pada jam - jam sibuk serta dengan bertambahnya jumlah kendaraan akan menimbulkan efek beban pencemar di udara.

Efek beban pencemar udara yang disebabkan oleh kendaraan bermotor merupakan sumber utama CO dan NO₂ terutama pada kendaraan yang sudah tua. NO₂ bila mencemari udara mudah diamati dari baunya yang sangat menyengat dan warnanya merah kecoklatan. Sifat racun (toksisitas) gas NO₂ empat kali lebih kuat dari pada toksisitas gas NO. NO₂ yang tinggi dapat mengganggu saluran pernafasan pada sistem pernafasan manusia (Vera, 2016). Sementara itu, CO dapat menimbulkan keracunan bagi manusia dalam bentuk COHb (karboksihemoglobin) pada darah. CO juga dapat menyebabkan kejang yang berlanjut kepada ketidaksadaran dan kematian (Sandri, 2011).

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka perlu adanya penelitian untuk menganalisis besar konsentrasi CO dan NO₂ udara ambien di sekitar jalan raya kota Makassar berdasarkan kondisi volume kendaraan dilapangan. Menurut Benson (1989) dalam Vera (2016), Caline-4 adalah program untuk memodelkan dispersi emisi udara dari sumber garis yang dikembangkan oleh *California Department 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 konsentrasi polutan di titik reseptor (titik estimasi/ perkiraan konsentrasi tersebut diterima) yang berlokasi 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. Menurut Colls (2002) 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.

Melihat kondisi di atas peneliti tertarik untuk melakukan penelitian sebagai Tugas Akhir dengan judul :

“Analisis Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) Dan Nitrogen Dioksida (NO₂) pada Jalan Raya Di Kota Makassar”

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan diantaranya :

1. Berapakah konsentrasi CO dan NO₂ udara ambien berdasarkan pengukuran tidak langsung menggunakan CALINE 4 pada jalan raya di Kota Makassar ?
2. Bagaimanakah pola sebaran CO dan NO₂ pada jalan raya di Kota Makassar ?

C. Tujuan Penelitian

Adapun beberapa tujuan penelitian ini sebagai berikut :

1. Menganalisis konsentrasi CO dan NO₂ pada jalan raya di Kota Makassar.
2. Menganalisis pola sebaran CO dan NO₂ pada jalan raya di Kota Makassar.

D. Ruang Lingkup Wilayah

Adapun batasan – batasan dari penelitian ini yaitu :

1. Parameter pencemar yang dianalisis adalah CO dan NO₂.
2. Lokasi penelitian dilakukan pada 10 jalan raya di Kota Makassar yaitu jalan A.P.Pettarani, Ahmad Yani, Bandang, Cakalang, Cendrawasih, Kakatua, Rajawali, Sam Ratulangi, Sultan Alauddin dan Vetran Selatan.
3. Penelitian menggunakan data sekunder volume kendaraan yang diambil dari Laporan Praktikum kebisingan tahun 2018.
4. Prediksi pencemaran dimodelkan menggunakan aplikasi komputer Caline-4 versi 2.1.

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 dibidang Kualitas Udara atau sejenisnya dalam pengerjaan tugas, pembuatan laporan praktikum, atau dalam tahap penyusunan tugas akhir.
3. Bagi Masyarakat
Memberikan pengetahuan bagi masyarakat serta pengunjung pada kawasan pusat perbelanjaan mengenai besaran pencemaran polutan CO dan NO₂ yang telah dihasilkan oleh kendaraan .

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 TEORITIS

Bab ini menjelaskan suatu landasan teori dari suatu penelitian tertentu atau karya ilmiah sering juga disebut 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 merupakan komponen yang membentuk atmosfer bumi, yang membentuk zona kehidupan pada permukaan bumi. Udara terdiri dari berbagai gas dalam kadar yang tetap pada permukaan bumi, kecuali gas metana, ammonia, hidrogen sulfida, karbon monoksida dan nitrogen oksida mempunyai kadar yang berbeda - beda tergantung daerah/lokasi (Febriyanti, 2018).

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.

Udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi yang berada pada lapisan troposfir yang dibutuhkan dan dapat mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup serta unsur lingkungan hidup lainnya. Kualitas udara ambien ini sendiri merupakan tahap awal dalam memahami dampak negatif dari cemaran udara terhadap lingkungan (Azizah, 2011).

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 ketinggian 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).

Pencemaran udara adalah bahan-bahan atau zat-zat asing di dalam udara yang menyebabkan perubahan susunan (komposisi) udara dari keadaan normalnya. Kehadiran bahan atau zat asing di dalam udara dalam jumlah tertentu serta berada di udara dalam waktu yang cukup lama, akan dapat mengganggu kehidupan manusia. Bila keadaan seperti itu terjadi maka dapat dikatakan udara telah tercemar (Prabowo, 2018).

2. Jenis Pencemaran Udara

Menurut Sunu (2001) dalam Febriyanti (2018), 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 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, O₃, dan NO₂.
 - 2) *Aspeksia*, adalah keadaan dimana darah kekurangan oksigen dan tidak mampu melepas CO₂. 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 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 A.Elfini (2013) dalam Gita (2016), sumber pencemaran udara terbagi 2 berdasarkan sumber dan distribusi ruang yaitu :

1. Berdasarkan Sumber

- a) Sumber Pencemar Alami seperti letusan gunung berapi, kebakaran hutan, banyaknya rawa atau hutan bakau yang dapat mengakibatkan tingginya konsentrasi metana. dan proses fermentasi anaerob.
 - b) Sumber Antropogenik seperti kendaraan bermotor, kegiatan perindustrian, kegiatan rumah tangga seperti pembakaran sampah, kegiatan pertanian dan peternakan yang menghasilkan gas metana., pertambangan dan penggalian, seperti tambang mineral dan logam, dan proses pembangunan yang menghasilkan polutan berupa asap dan debu.
2. Berdasarkan Distribusi Ruang
- a) Sumber titik (Point Sources) seperti polutan yang berasal dari cerobong asap industri dan pembangkit listrik.
 - b) Sumber garis (Line Sources) contohnya sumber dari kendaraan bermotor.
 - c) Sumber area (Area Sources) misalnya kebakaran hutan.

4. Dampak Pencemaran Udara

Dampak terhadap kesehatan yang disebabkan oleh pencemaran udara akan terakumulasi dari hari ke hari. Pemaparan dalam jangka waktu lama akan berakibat pada berbagai gangguan kesehatan, seperti bronchitis, emphysema, dan kanker paru-paru. Dampak kesehatan yang diakibatkan oleh pencemaran udara berbeda-beda antarindividu. Populasi yang paling rentan adalah kelompok individu berusia lanjut dan balita. Menurut penelitian di Amerika Serikat, kelompok balita mempunyai kerentanan enam kali lebih besar jika dibandingkan dengan orang dewasa. Kelompok balita lebih rentan karena mereka lebih aktif dan dengan demikian menghirup udara lebih banyak, sehingga mereka lebih banyak menghirup zat-zat pencemar (Farida, 2004).

C. Emisi Kendaraan Bermotor

Menurut Hickman (1999) dalam Vera (2016), Emisi dari berbagai gas dan partikel dari kegiatan transportasi ke dalam atmosfer menimbulkan berbagai

masalah yaitu menurunnya mutu lingkungan. Umumnya pertambahan jumlah kendaraan akan mengakibatkan pertambahan dampak lingkungan negatif. Peningkatan jumlah kendaraan sebanding dengan peningkatan jumlah emisi yang dihasilkan, sehingga dapat mengancam kesehatan manusia khususnya pada paruparu.

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) (Abdullah, 2018).

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

D. 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 1 berikut.

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

Menurut Sidjabat (2017), bahwa besaran emisi dapat ditentukan melalui **persamaan 1** 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 di konversi ke gram/mil. Dengan ketentuan 1 gram/km = 0,621gram/mil. Menurut Supranto (2000), untuk memprediksi volume kendaraan beberapa tahun kedepan diperlukan analisis jumlah kendaraan saat ini dengan menggunakan metode analisis geometrik dengan bentuk **persamaan 2** sebagai berikut:

$$P_n = P_o (1 + i)^n \quad (2)$$

Dimana :

- P_n = Jumlah kendaraan pada tahun ke – n
- P_o = Jumlah kendaraan pada tahun awal yang diketahui
- i = Tingkat Pertumbuhan (%)
- n = Banyaknya waktu (dalam tahun)

E. Karbon Monoksida (CO)

1. Pengertian Karbon Monoksida (CO)

CO merupakan salah satu polutan pencemar udara yang berbahaya bagi manusia. Karbon Monoksida yang terhirup oleh manusia akan mengikat hemoglobin dan membentuk COHb dalam darah (Mahda, 2019).

CO adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Karbon monoksida terdiri dari satu atom karbon yang berikatan secara kovalen dengan satu atom oksigen. CO dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna dari senyawa karbon. CO terbentuk apabila terdapat kekurangan oksigen dalam pembakaran. CO merupakan salah satu polutan yang terdistribusi paling luas di udara. Setiap tahun, CO dilepaskan ke udara dalam jumlah yang paling banyak diantara polutan udara yang lain, kecuali CO₂. Di daerah dengan populasi tinggi, rasio mixing CO bisa mencapai 1 hingga 10 ppmv (Nahlah, 2015).

Menurut Nevers (2000) dalam Nurfadillah (2019), 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)

Kendaraan bermotor merupakan sumber polutan CO yang utama (sekitar 59,2%), maka daerah-daerah yang berpenduduk padat dengan lalu lintas ramai memperlihatkan tingkat polusi CO yang tinggi. Konsentrasi CO di udara per waktu dalam satu hari dipengaruhi oleh kesibukan atau aktivitas kendaraan

bermotor yang ada. Semakin ramai kendaraan bermotor yang ada, semakin tinggi tingkat polusi CO di udara (Prabowo, 2018).

Asap kendaraan merupakan sumber utama bagi CO 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 2 berikut ini

Tabel 2. Sumber Pencemar CO

Sumber Pencemar 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 pemaparan 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 (Nurfadillah, 2019).

Keracunan gas CO didahului dengan sakit kepala, mual, muntah, rasa lelah, berkeringat banyak, pyrexia, pernafasan meningkat, confusion, gangguan penglihatan, kebingungan, 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 CO disebabkan oleh kurangnya O₂ 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 CO dari pada O₂. Sehingga kalau terdapat CO dan O₂, sel darah merah akan cenderung berikatan dengan CO (Nurfadillah, 2019).

Pengaruh konsentrasi CO dalam darah terhadap kesehatan manusia dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengaruh Konsentrasi CO dalam Darah terhadap Kesehatan Manusia

Konsentrasi CO dalam Darah	Pengaruh
Kurang dari 20%	Tidak ada
20%	Nafas menjadi sesak
30%	Sakit kepala, lesu, mual, nadi dan pernafasan meningkat sedikit
30% - 40%	Sakit kepala berat, kebingungan, hilang daya ingat, lemah, hilang daya koordinasi gerakan
40% - 50%	Kebingungan makin meningkat, setengah sadar
60% - 70%	Tidak sadar, kehilangan daya mengontrol feces dan urin
70% - 89%	Koma, nadi menjadi tidak teratur, kematian karena kegagalan pernapasan

Sumber : *Stroke and Siger, 1972*

F. Nitrogen Dioksida (NO₂)

1. Nitrogen Dioksida (NO₂)

NO_x adalah senyawa gas yang terdapat di udara bebas (atmosfer) yang sebagian besar terdiri atas NO dan NO₂ serta berbagai jenis oksida dalam jumlah yang lebih sedikit. Kedua macam gas tersebut mempunyai sifat yang sangat berbeda dan sangat berbahaya bagi kesehatan. Gas NO yang mencemari udara secara visual sulit diamati karena gas tersebut tidak bewarna dan tidak berbau. Sedangkan gas NO₂ bila mencemari udara mudah diamati dari baunya yang sangat

menyengat dan warnanya merah kecoklatan. Sifat racun (toksisitas) gas NO_2 empat kali lebih kuat dari pada toksisitas gas NO (Vera, 2016).

NO_2 merupakan gas yang beracun berwarna coklat kemerah-merahan dan berbau sangat menyengat seperti asam nitrat. Konsentrasi gas NO_2 yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor dapat mencapai 78,8 ppm, hasil ini sangat berbahaya bagi kesehatan (Riviwanto, 2017).

2. Sumber Pencemar Nitrogen Dioksida (NO_2)

Nitrogen oksida dipengaruhi oleh kepadatan penduduk karena sumber utama NO_2 yang diproduksi manusia adalah dari pembakaran, dan kebanyakan pembakaran disebabkan oleh kendaraan, produksi energi dan pembuangan sampah. Sebagian besar emisi NO_2 yang dibuat manusia berasal dari pembakaran arang, minyak, gas alam dan bensin (Prabowo, 2018).

Kadar NO_x di udara dalam suatu kota bervariasi sepanjang hari tergantung dari intensitas sinar matahari dan aktivitas kendaraan bermotor. Perubahan kadar NO_x berlangsung sebelum matahari terbit, kadar NO dan NO_2 tetap stabil dengan kadar sedikit lebih tinggi dari kadar minimum sehari-hari. Setelah aktivitas manusia meningkat (jam 6-8 pagi) kadar NO meningkat terutama karena meningkatnya aktivitas lalu lintas yaitu kendaraan bermotor. Kadar NO tertinggi pada saat ini dapat mencapai 1-2 ppm. Dengan terbitnya sinar matahari yang memancarkan sinar ultra violet kadar NO_2 pada saat ini dapat mencapai 0,5 ppm. Kadar ozon meningkat dengan menurunnya kadar NO sampai 0,1 ppm. Jika intensitas sinar matahari menurun pada sore hari (jam 5-8 malam) kadar NO meningkat kembali. Energi matahari tidak mengubah NO menjadi NO_2 (melalui reaksi hidrokarbon) tetapi O_3 yang terkumpul sepanjang hari akan bereaksi dengan NO . Akibatnya terjadi kenaikan kadar NO_2 dan penurunan kadar O_3 . Produk akhir dari pencemaran NO_x di udara dapat berupa asam nitrat, yang kemudian diendapkan sebagai garam. Garam nitrat didalam air hujan atau debu (Nahlah, 2015).

3. Dampak Nitrogen Dioksida (NO₂)

Gas NO₂ bila mencemari udara mudah diamati dari baunya yang sangat menyengat dan warnanya coklat kemerahan. Organ tubuh yang paling peka terhadap pencemaran gas NO₂ adalah paru-paru. Paru-paru yang terkontaminasi oleh gas NO₂ akan membengkak sehingga penderita sulit bernapas yang dapat mengakibatkan kematian. Konsentrasi gas NO yang tinggi dapat menyebabkan gangguan pada system syaraf yang mengakibatkan kejang-kejang. Pada tanaman dapat menyebabkan nekrosis atau kerusakan pada jaringan daun. Pencemaran udara oleh gas NO_x juga dapat menyebabkan timbulnya *Peroxi Acetil Nitrates* (PAN). Dapat menyebabkan iritasi pada mata yang menyebabkan mata terasa pedih dan berair (Prabowo, 2018).

Pengaruh konsentrasi NO₂ terhadap kesehatan manusia dan makhluk hidup dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kategori kualitas udara berdasarkan nilai ISPU sesuai dengan lampiran Keputusan Kepala Bapedal No. 107 Tahun 1997

Nilai ISPU	Kategori	Pengaruh
0-50	Baik	Menimbulkan sedikit bau tertentu
51-100	Sedang	Menimbulkan bau tertentu
101-199	Tidak Sehat	Meningkatkan bau lebih tajam dan mulai kehilangan warna gas, memberikan efek peningkatan reaktivitas pembuluh tenggorokan pada penderita asma
200-299	Sangat Tidak Sehat	Meningkatkan sensitivitas pasien yang berpenyakit asma dan bronkhitis
>300	Berbahaya	berbahaya bagi semua populasi

Sumber : *Agusta, 2017*

G. Baku Mutu Karbon Monoksida (CO) dan 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 CO dapat dilihat pada Tabel 5 berikut ini.

Tabel 5. Baku Mutu Udara Ambien 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	-		
NO ₂ (Nitrogen Dioksida)	1 jam	400 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	Saltzman	Spektrofotometer
	24 jam	150 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$		
	1 tahun	100 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$		

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 3** berikut ini :

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

Dimana :

- P = Tekanan udara (1 atm)
- M = Berat molekul/senyawa
- R = Konstanta gas universal (0,0821)
- T = Temperatur absolut ($^{\circ}\text{K}$)

H. Jalan Raya

Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel (Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006).

Jalan raya adalah jalur perlintasan utama yang menghubungkan satu kawasan dengan kawasan yang lain, yang dilewati oleh berbagai macam kendaraan, sehingga menjadikan jalan raya sebagai perlintasan yang dipenuhi oleh berbagai macam aktivitas manusia dan kendaraan yang melewatinya. Semakin

meningkatnya aktifitas di jalan dan di dukung dengan bertambahnya jumlah penduduk yang bertempat tinggal di sekitar jalan raya maka semakin meningkat pula akan keterbutuhannya serta menyebabkan masalah-masalah seperti, peningkatan akan alih fungsi bangunan yang ada menjadi bangunan untuk usaha/berdagang, penurunan akan kualitas udara dikarenakan bertambahnya jumlah penduduk, peningkatan volume kendaraan yang menyebabkan kemacetan, kurangnya lahan parkir sehingga memakai bahu jalan sebagai tempat parkir dan juga akan menyebabkan kemacetan. Hal ini akan berdampak pada konsentrasi polutan yang dihasilkan oleh kendaraan dan partikel pencemar yang terbawa akibat pergerakan kendaraan di kawasan tersebut. Bertambahnya jumlah kendaraan akan menimbulkan efek beban pencemar di udara.

Pencemaran udara memberi dampak negatif bagi kesehatan manusia akibat polutan yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor. Dari beberapa jenis polutan yang dihasilkan, CO dan NO₂ merupakan polutan yang paling banyak yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor (Sandri, 2011).

I. Definisi Dispersi

Dispersi adalah proses perpindahan, difusi, reaksi kimia dan pengangkutan polutan yang telah diemisikan ke udara oleh atmosfer. Beberapa penelitian terkait dispersi pencemar udara, menunjukkan bahwa akan ada beberapa lokasi di sekitar sumber pencemar yang beresiko terpapar pencemar dalam konsentrasi tertentu (Ruhayat, 2009; Ranzi dkk., 2011; Lopez-Cima dkk., 2011; Bacarelli dkk., 2011). Walaupun konsentrasi tersebut berfluktuasi, tetapi jika arah angin dominan menuju ke wilayah tersebut, akan terjadi akumulasi pencemar, sehingga berpotensi melampaui baku mutu udara ambien, dan resiko keterpaparan dalam waktu lama. akan mengancam kesehatan masyarakat di sekitar lokasi tersebut. Finn dkk (2010) menyarankan fluktuasi konsentrasi maksimum harus dipertimbangkan sebagai faktor penting dalam menentukan resiko keterpaparan, karena potensi dampak zat berbahaya serta respon toksisitas akut oleh pajanan jangka pendek ditentukan oleh konsentrasi maksimum (Adinda, 2019).

Menurut Ruhiat (2009) dalam Adinda (2019), pemodelan dispersi pencemar menjadi salah satu pilihan untuk mempelajari pola sebaran pencemar digunakan, yaitu: (1) model empirik atau statistik, model ini digunakan untuk menghubungkan data konsentrasi suatu lingkungan dengan lingkungan lain, misalnya CAR-model, suatu model untuk mengestimasi kepadatan lalu lintas dengan perubahan area; (2) model Gauss atau plume-model, merupakan model teori dasar penyebaran mengenai distribusi polutan karena turbulensi, model ini dapat digunakan pada skala lokal; (3) model Lagrangian, model untuk paket udara sebagai fungsi waktu sepanjang aliran streamlines dalam atmosfer. Model ini digunakan untuk menganalisis emisi polutan pada topografi yang kompleks, sedangkan aliran dan perubahan konsentrasinya dikaji secara *particularity*. Jenis model partikel Lagrangian merupakan satu level di atas model puff dan (4) model Eulerian, suatu model untuk menganalisis konsentrasi satu atau beberapa kotak, pergerakan dari kotak ke kotak dipengaruhi oleh kecepatan angin.

Model Dispersi Gauss berguna untuk mengestimasi distribusi konsentrasi kualitas udara manakala data-data pengukuran atau monitoring kurang memadai jumlahnya. (Faizal, 2004).

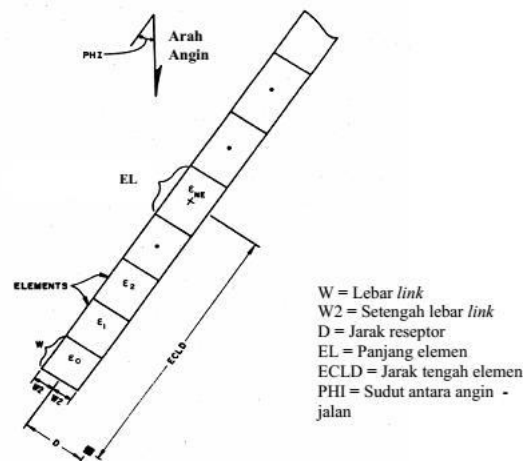
Model Dispersi Gauss sumber bergerak adalah perkembangan dari Dispersi Gauss sumber titik atau tidak bergerak dengan mengasumsikan bahwa sebuah deretan yang *mutually independent*, masing-masing menghasilkan kepulan polutan. Sehingga konsentrasi pada suatu titik di jalan dihitung sebagai jumlah konsentrasi titik-titik sumber pada jalan tersebut (Adinda, 2019).

J. Model Dispersi Caline4

Caline4 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,

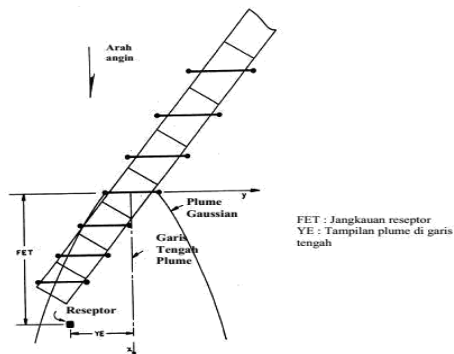
meteorologi, dan geometri lokasi. Caline4 dapat memprediksi polutan di titik reseptor hingga 500 meter dari sumber. Polutan yang diprediksi adalah polutan yang relatif bersifat inert (tidak mudah bereaksi dengan senyawa kimia lain) seperti NO_x , CO, dan PM_{10} (Benson, 1989).

Caline4 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 Caline4
Sumber : Colls (2002)

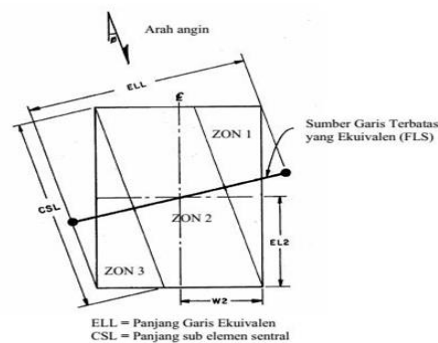
Tiap elemen dimodelkan sebagai sumber garis terhingga (*Finite Line Source* - FLS) ekuivalen yang diposisikan normal (tegak lurus) terhadap arah angin dan berpusat di titik tengah elemen. Sistem koordinat x-y dapat disejajarkan dengan arah angin dan berpusat di tengah elemen. Tingkat emisi yang terjadi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

K. Software Surfer

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).

L. *Wind Rose* Arah Angin

Angin adalah gerak udara yang sejajar dengan permukaan bumi. Udara bergerak dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Angin diberinama sesuai dengan dari arah mana angin datang, misalnya angin timur adalah anginyang datang dari arah timur, angin laut adalah angin dari laut ke darat, dan anginlembah 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 (Nurfadillah, 2019).

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 (Fadholi, 2013).

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 dengan jumlah data yang sangat banyak namun dapat diringkas dalam sebuah diagram. Cara untuk menampilkan data angin bervariasi. beberapa penyajian menunjukkan kelebihan daripada yang lain. Akhir-akhir ini jenis *wind rose* baru disajikan sehingga kemampuannya bisa dipelajari (Crutcher, 1956). *Wind rose* 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 (Fadholi, 2013).

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).