

SKRIPSI

**ANALISIS DISPERSI POLUTAN CO DAN NO₂ DARI
KENDARAAN BERMOTOR AREA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

Disusun dan diajukan oleh:

SITTI HAJAR

D131 20 1005



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS DISPERSI POLUTAN CO DAN NO₂ DARI KENDARAAN BERMOTOR AREA FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN

Disusun dan diajukan oleh

Sitti Hajar
D131201005

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 16 Agustus 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing,



Prof. Dr. Ir. Hj. Sumarni Hamid Aly, M.T., IPU.
NIP 1958122819860112001

Ketua Departemen Teknik Lingkungan,



Dr. Eng. Ir. Muralia Hustim, S.T., M.T., IPM., AER.
NIP 197204242000122001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Sitti Hajar
NIM : D131201005
Program Studi : Teknik Lingkungan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“Analisis Dispersi Polutan CO Dan NO₂ dari Kendaraan Bermotor Area Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, Juli 2024

Yang Menyatakan

The image shows a revenue stamp (Meterai Tempel) with a value of 10,000 Rupiah. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'REPUBLIK INDONESIA', '10.000', and 'METERAI TEMPEL'. Below the stamp, the name 'Sitti Hajar' is printed. A handwritten signature is written over the stamp and the name.

ABSTRAK

SITTI HAJAR. *Analisis Dispersi Polutan CO Dan NO₂ dari Kendaraan Bermotor Area Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin (dibimbing oleh Sumarni Hamid Aly)*

Kualitas udara dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk di antaranya aktivitas kendaraan bermotor, faktor meteorologi dan kondisi lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan konsentrasi parameter pencemar di area Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin secara aktual dengan konsentrasi hasil pemodelan menggunakan *software* AERMOD yang terbagi menjadi 5 titik pengukuran, serta menganalisis pola sebaran polutan NO₂ dan CO menggunakan *software* AERMOD. Analisis nilai konsentrasi parameter pencemar (NO₂ dan CO) dilakukan di laboratorium Kualitas Air, Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Pendekatan penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif yaitu membandingkan nilai konsentrasi hasil analisis parameter udara dengan baku mutu dan ISPU yang berlaku. Konsentrasi NO₂ berdasarkan data aktual lokasi I, lokasi II, lokasi III, lokasi IV, dan lokasi V secara berturut-turut adalah 10,88 µg/m³, 7,6 µg/m³, 10,63 µg/m³, 14,15 µg/m³, dan 81,18 µg/m³. Sedangkan konsentrasi CO berdasarkan data aktual lokasi I, lokasi II, lokasi III, lokasi IV, dan lokasi V berturut-turut adalah 957,13 µg/m³, 811,93 µg/m³, 650,77 µg/m³, 1022,58 µg/m³, dan 1132,64 µg/m³. Nilai konsentrasi NO₂ hasil pemodelan secara berturut turut yaitu 39,9 µg/m³, 31,9 µg/m³, 23,7 µg/m³, 15 µg/m³, 13,3 µg/m³. Sedangkan konsentrasi CO hasil pemodelan yaitu 1.606 µg/m³, 601µg/m³, 321 µg/m³, 453,1 µg/m³, dan 616 µg/m³. Pola sebaran polutan NO₂ dan CO dominan ke arah Barat Laut. Konsentrasi kedua polutan dipengaruhi oleh volume kendaraan dan faktor lingkungan sehingga memberikan fluktuasi yang berbeda seiring dengan bertambahnya waktu dan jarak. Hasil penelitian menunjukkan tingkat konsentrasi CO dan NO₂ berdasarkan data pengukuran langsung dan hasil prediksi masih dalam kategori baik hingga sedang, dan masih berada di bawah baku mutu udara ambien yang berlaku.

Kata Kunci: *Konsentrasi, Kendaraan Bermotor, AERMOD*

ABSTRACT

SITTI HAJAR. *Analysis of CO and NO₂ Pollutant Dispersion from Motor Vehicles in the Area of the Faculty of Engineering, Hasanuddin University* (supervised by Sumarni Hamid Aly)

Air quality is influenced by many factors, including motor vehicle activity, meteorological factors and environmental conditions. This study aims to determine and compare the concentration of pollutant parameters in the area of the Faculty of Engineering, Hasanuddin University in actual terms with the concentration of modeling results using AERMOD software which is divided into 5 measurement points, and analyze the distribution pattern of NO₂ and CO pollutants using *software* AERMOD. The analysis of the concentration values of pollutant parameters (NO₂ and CO) was carried out in the Water Quality laboratory, Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Hasanuddin University. The approach of this research is quantitative descriptive, namely comparing the concentration value of the results of the analysis of air parameters with the applicable quality standards and ISPU. The NO₂ concentrations based on actual data of location I, location II, location III, location IV, and location V were 10.88 µg/m³, 7.6 µg/m³, 10.63 µg/m³, 14.15 µg/m³, and 81.18 µg/m³, respectively. Meanwhile, the CO concentrations based on actual data of location I, location II, location III, location IV, and location V were 957.13 µg/m³, 811.93 µg/m³, 650.77 µg/m³, 1022.58 µg/m³, and 1132.64 µg/m³, respectively. The NO₂ concentration values as modeled were 39.9 µg/m³, 31.9 µg/m³, 23.7 µg/m³, 15 µg/m³, 13.3 µg/m³ respectively. Meanwhile, the CO concentrations from modeling were 1,606 µg/m³, 601 µg/m³, 321 µg/m³, 453.1 µg/m³, and 616 µg/m³. The distribution pattern of NO₂ and CO pollutants is dominant in the northwest direction. The concentration of both pollutants is influenced by vehicle volume and environmental factors, so that they provide different fluctuations as time and distance increase. The results showed that the levels of CO and NO₂ concentrations based on direct measurement data and prediction results were still in the good to moderate category, and still below the applicable ambient air quality standards.

Keywords: *Concentration, Vehicle, AERMOD*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
KATA PENGANTAR	xiii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Udara Ambien	5
2.2 Pencemaran Udara.....	5
2.2.1 Pengertian dan dampak	5
2.2.2 Sumber-Sumber Pencemaran Udara	6
2.3 Faktor Meteorologi	8
2.4 Baku Mutu Udara Ambien	12
2.5 Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU).....	13
2.6 Karbon Monoksida (CO).....	16
2.7 Nitrogen Dioksida (NO ₂).....	18
2.7.1 Analisa Regresi	19
2.7.2 Konsentrasi NO ₂	20
2.8 Klasifikasi Kendaraan	21
2.9 Besaran Faktor Emisi Kendaraan Bermotor.....	23

2.13 <i>Beaufort wind force scale</i>	26
2.14 AERMOD.....	27
2.14 Validasi Uji Statistik	29
2.14.1 Uji <i>Mann Whitney</i>	29
BAB III	33
METODOLOGI PENELITIAN.....	33
3.1 Rancangan Penelitian	33
3.2 Tahapan Penelitian	33
3.3 Gambaran Lokasi Penelitian.....	35
3.4 Waktu Penelitian	36
3.5 Alat dan Bahan	36
3.6 Metode Pengumpulan Data	38
3.7 Metode Pengambilan Data	39
3.7.1 Pembuatan Larutan Penjerap CO dan NO ₂	39
3.7.2 Pembuatan Larutan Induk Nitrit NO ₂	43
3.7.3 Pembuatan Larutan Standar	44
3.7.5 Pembuatan Kurva Kalibrasi	45
.....	46
3.7.6 Pengambilan Sampel Uji CO dan NO ₂	47
3.7.7 Pengujian Sampel	49
3.7.8 Pengolahan Data Polutan	51
3.8 Pemodelan Sebaran Emisi	57
3.8.1 AERMET	57
3.8.2 AERMAP.....	58
3.8.3 AERMOD	58
3.9 Analisis Hasil <i>Error</i> Pemodelan.....	62
BAB IV	63
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	63
4.1 Data Hasil Pengukuran	63
4.1.5 Konsentrasi Polutan CO dan NO ₂	75
4.2 Analisis Pola sebaran.....	78
4.2.1 Hasil <i>wind rose</i>	78
4.2.2 Sebaran Polutan CO.....	80

4.2.3 Sebaran Emisi NO ₂	89
4.3 Validasi Konsentrasi Aktual dengan Hasil Pemodelan	100
BAB V	63
PENUTUP	105
5.1 Kesimpulan	105
5.2 Saran	105
LAMPIRAN	107
DAFTAR PUSTAKA	111

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Sumber Pencemar Titik.....	7
Gambar 2. Sumber Pencemar Garis.....	8
Gambar 3. Sumber Pencemar Area.....	8
Gambar 4. Kurva kalibrasi NO ₂	19
Gambar 5. Kendaraan Berat.....	21
Gambar 6. Kendaraan Ringan.....	22
Gambar 7. Sepeda Motor.....	22
Gambar 8. Kendaraan Tak Bermotor.....	22
Gambar 9. Interface AERMOD.....	28
Gambar 10. Alur Penelitian.....	34
Gambar 11. Titik Lokasi Pengukuran.....	35
Gambar 13. <i>Flowchart</i> Pembuatan Larutan Penjerap NO ₂	40
Gambar 14. <i>Flowchart</i> Pembuatan larlarutan Penjerap CO.....	42
Gambar 15. <i>Flowchart</i> Pembuatan Larutan Induk Nitrit.....	43
Gambar 16. <i>Flowchart</i> Pembuatan larutan Standar.....	44
Gambar 17. <i>Flowchart</i> Pembuatan Kurva Kalibrasi.....	46
Gambar 18. <i>Flowchart</i> Pengambilan Sampel uji.....	48
Gambar 19. <i>Flowchart</i> Pengolahan data NO ₂	54
Gambar 20. <i>Flowchart</i> Pengolahn data CO.....	56
Gambar 21. <i>Flowchart</i> Pengolahan AERMAP.....	58
Gambar 22. <i>Flowchart</i> Pengolahan AERMOD.....	61
Gambar 23. <i>Flowchart</i> Uji Validasi.....	62
Gambar 24. Volume Kendaraan Titik 1.....	63
Gambar 25. Volume Kendaraan Titik 2.....	65
Gambar 26. Volume Kendaraan Titik 3.....	66
Gambar 27. Volume Kendaraan Titik 4.....	67
Gambar 28. Volume Kendaraan Titik 5.....	69
Gambar 29. Rekapitulasi Volume Kendaraan.....	70
Gambar 30. Mawar Angin Bulan April.....	79
Gambar 31. Isopleth CO 24 jam di titik 1.....	80
Gambar 32. Grafik Hubungan Konsentrasi CO Dan Jarak Berdasarkan Konsentrasi Maksimum di Titik 1.....	81
Gambar 33. Perbandingan Jarak dan Konsentrasi Pada Jalur Titik 1.....	81
Gambar 34. Isopleth CO 24 jam di titik 2.....	82
Gambar 35. Perbandingan Jarak dan Konsentrasi Pada Jalur Titik 2.....	83
Gambar 36. Grafik Hubungan Konsentrasi CO Dan Jarak Berdasarkan Konsentrasi Maksimum di Titik 2.....	83
Gambar 37. Isopleth CO 24 jam di titik 3.....	84
Gambar 38. Grafik Hubungan Konsentrasi CO Dan Jarak Berdasarkan Konsentrasi Maksimum di Titik 3.....	84
Gambar 39. Perbandingan Jarak dan Konsentrasi Pada Jalur Titik 3.....	85
Gambar 40. Isopleth CO 24 jam di titik 4.....	86
Gambar 41. Grafik Hubungan Konsentrasi CO Dan Jarak Berdasarkan Konsentrasi Maksimum di Titik 4.....	86
Gambar 42. Perbandingan Jarak dan Konsentrasi Pada Jalur Titik 4.....	87
Gambar 43. Isopleth CO 24 jam di titik 5.....	88

Gambar 44. Perbandingan Jarak dan Konsentrasi Pada Jalur Titik 5	88
Gambar 45. Grafik Hubungan Konsentrasi CO Dan Jarak Berdasarkan Konsentrasi Maksimum di Titik 5.....	89
Gambar 46. Isopleth NO ₂ 24 jam di titik 1	89
Gambar 47. Grafik Hubungan Konsentrasi NO ₂ Dan Jarak Berdasarkan Konsentrasi Maksimum di Titik 1	90
Gambar 48. Perbandingan Jarak dan Konsentrasi Pada Jalur Titik 1	90
Gambar 49. Isopleth NO ₂ 24 jam di titik 2	91
Gambar 50. Grafik Hubungan Konsentrasi NO ₂ Dan Jarak Berdasarkan Konsentrasi Maksimum di Titik 2.....	92
Gambar 51. Perbandingan Jarak dan Konsentrasi Pada Jalur Titik 2	92
Gambar 52. Isopleth NO ₂ 24 jam di titik 3	93
Gambar 53. Grafik Hubungan Konsentrasi NO ₂ Dan Jarak Berdasarkan Konsentrasi Maksimum di Titik 3.....	94
Gambar 54. Perbandingan Jarak dan Konsentrasi pada jalur titik 3	94
Gambar 55. Isopleth NO ₂ 24 jam di titik 4	95
Gambar 56. Grafik Hubungan Konsentrasi NO ₂ Dan Jarak Berdasarkan Konsentrasi Maksimum di Titik 4.....	95
Gambar 57. Perbandingan Jarak dan Konsentrasi pada jalur titik 4	96
Gambar 58. Isopleth NO ₂ 24 jam di titik 5.....	97
Gambar 59. Grafik Hubungan Konsentrasi NO ₂ Dan Jarak Berdasarkan Konsentrasi Maksimum di Titik 5.....	97
Gambar 60. Perbandingan Jarak dan Konsentrasi pada jalur titik 5	98

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Baku mutu udara ambien	12
Tabel 2. Rentang Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU).....	14
Tabel 3. Penjelasan Nilai ISPU	14
Tabel 4. Batas Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU)	15
Tabel 5. Dampak CO Berdasarkan Konsentrasi CO	17
Tabel 6. Faktor emisi gas buang kendaraan untuk kota metropolitan dan kota besar di Indonesia.....	24
Tabel 7. <i>Beaufort wind force scale</i>	27
Tabel 8. Titik Lokasi Pengukuran.....	35
Tabel 9. Kebutuhan Peralatan dan Bahan Setiap Kegiatan.....	37
Tabel 10. Data Beban Emisi Kendaraan	71
Tabel 11. Rata-Rata Beban Emisi Parameter CO dan NO ₂ Selama 24 Jam.....	73
Tabel 12. Data Meteorologi	73
Tabel 13. Nilai konsentrasi CO.....	75
Tabel 14. Nilai konsentrasi NO ₂	76
Tabel 15. Rekapitulasi Konsentrasi CO dan NO ₂ Hasil Pengukuran.....	77
Tabel 16. Rekapitulasi Prediksi Konsentrasi CO dan NO ₂ Pada Titik Sampling .99	99
Tabel 17. Rekapitulasi Hubungan Antara Jarak dan Konsentrasi CO dan NO ₂ .100	100
Tabel 18. Rekapitulasi Hasil Uji Normalitas	101
Tabel 19. Hasil Uji <i>Mann Whitney</i> Pada Sampel NO ₂	102
Tabel 20. Hasil uji T - Test pada sampel CO.....	103
Tabel 21. Nilai Validasi Konsentrasi CO.....	103
Tabel 22. Nilai Validasi Konsentrasi NO ₂	104

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Wind Rose</i>	107
Lampiran 2. Dokumentasi Kegiatan	108

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga Penulis dapat menyusun dan menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya. Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi syarat penyelesaian studi sebagai mahasiswa Departemen Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin. Selama proses penelitian hingga penyusunan Tugas Akhir, penulis banyak menerima bantuan dan dukungan sehingga laporan akhir ini dapat diselesaikan. Oleh dari itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua saya yang senantiasa memberikan doa terbaik serta dukungan dan juga nasihat yang sangat berharga hingga saat ini, yang tak pernah bosan menanyakan kabar saya setiap harinya dan juga tak pernah lupa untuk mengingatkan saya tetap menjaga kesehatan dan juga ibadah meskipun di tengah-tengah kesibukan. Terima kasih telah membesarkan dan menguatkan penulis hingga ada dititik ini. Terima kasih buat Ayah dan Mama yang sedia mendengar cerita dan keluh kesah penulis setiap malam tiba sejak penulis menempuh dunia perkuliahan bahkan jauh sebelum proses ini dimulai.
2. Prof. Dr. Ir. Sumarni Hamid Aly, M.T., IPU selaku Pembimbing yang memberikan arahan dan bimbingan mulai dari penentuan titik pengambilan data penelitian hingga proses penyusunan skripsi ini selesai.
3. Ibu Ir. Nurul Masyiah Rani Harusi, M.Eng selaku dosen tempat bertukar informasi yang sangat kooperatif dan bersedia meluangkan waktu di tengah-tengah padatnya jadwal beliau demi memberikan dukungan dan arahan hingga Tugas Akhir ini selesai disusun.
4. Secara khusus penulis menyampaikan terima kasih kepada seluruh dosen Teknik Lingkungan yang mengajarkan ilmu dan pengalaman kepada saya selama menjadi mahasiswa Teknik Lingkungan.
5. Teman-teman Teknik Lingkungan Angkatan 2020 yang berjuang bersama dan saling memberikan semangat dan warna setiap harinya sejak pertama kali menginjakkan kaki di kampus tercinta.
6. Terima kasih kepada teman-teman dan adik-adik yang berpartisipasi dalam penelitian saya. Kepada Fauzan, Marfu, Meisari, Wiwi, Grace, Ulfa, Niko serta

teman-teman lainnya dan adik-adik yang mengorbankan waktu dan juga tenaga selama 5 hari kerja.

7. Seseorang berinisial "AD" yang selalu menyemangati, memberikan dukungan dan mendampingi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini dan senantiasa menjadi pendengar yang baik atas segala cerita, cita, dan keluh kesah yang penulis sampaikan setiap harinya.
8. Teman-teman udara squad yaitu Fauzan, Jihan, Niko, Kevin, Arfi, Grace, Muflih, Ima, Rina, Ninu, Gufron, dan Salwa yang telah berbagi pengalaman dan ilmunya, selama menjadi asisten bahkan jauh sebelum itu. Tetap kompak, saling menyemangati, saling membantu, dan saling berbagi ilmu dengan kerendahan hati.
9. Teman-teman KKN "Subeq Squad" yang masih *supportive* hingga hari ini meskipun hanya via *Whatsapp* dengan harapan bannernya bisa sampai di Fakultas Teknik Gowa.
10. Serta kepada semua pihak yang terlibat baik secara langsung maupun tidak langsung yang membantu selama penelitian hingga penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis berharap penelitian ini memberikan manfaat khususnya kepada penulis secara pribadi dan kepada seluruh pembaca. Namun, penulis juga menyadari bahwa tugas akhir ini masih membutuhkan saran dan kritik yang bermanfaat untuk kedepannya.

Gowa, 8 Juli 2024

Sitti Hajar

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Setiap tahunnya permasalahan pencemaran udara masih terus terjadi dan tetap menjadi perhatian serius dalam konteks kesehatan yang belum terselesaikan. Pencemaran udara merupakan hasil dari kemajuan teknologi dan pengetahuan manusia yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan dalam era modern saat ini. Perkembangan teknologi yang semakin maju, peningkatan jumlah industri yang menggunakan mesin bermotor, dan peningkatan mobilitas masyarakat dengan kendaraan bermotor telah menyebabkan peningkatan kadar zat-zat berbahaya dalam udara (Eriana, 2022). Hemida (2021) menyebutkan bahwa udara merupakan campuran gas yang terdapat pada lapisan yang mengelilingi bumi dengan komponen yang memiliki konsentrasi paling bervariasi yaitu uap air dan CO₂. Udara dapat dibedakan atas udara emisi dan udara ambien. Udara emisi yaitu udara yang dikeluarkan oleh sumber emisi (pencemaran udara) seperti knalpot kendaraan bermotor dan cerobong gas buangan industri. Sedangkan udara ambien yaitu udara bebas di permukaan bumi yang sehari-hari dihirup oleh makhluk hidup (Kurniawati et. Al., 2015 dalam Yanti, N. R. I., 2021).

Akan tetapi, masalah pencemaran udara juga mengalami peningkatan seiring meningkatnya jumlah aktivitas manusia sehingga udara bersih yang berfungsi sebagai sumber pernapasan menjadi tercemar dan menimbulkan gangguan kesehatan pada manusia dan merusak lingkungan ekosistem (Abidin & Hasibuan, 2019). Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Pencemaran Udara didefinisikan sebagai masuk atau dimasukkannya zat energi, dan/atau komponen lain ke udara ambien oleh kegiatan manusia atau proses alam, sehingga kualitas udara menurun sampai tingkat tertentu yang menyebabkan udara kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai peruntukannya.

Penyumbang pencemaran udara terbesar di Indonesia adalah kendaraan bermotor (Ismiyati, 2014). Menurut Nurdjanah (2014) dalam Luthfi, dkk., (2024) kendaraan bermotor menghasilkan polusi udara 60 – 70% akibat emisi gas yang

dihasilkan. Kendaraan bermotor mengeluarkan zat-zat berbahaya yang dapat menimbulkan dampak negatif, baik terhadap kesehatan manusia maupun terhadap lingkungan. Zat berbahaya tersebut seperti *carbon monoksida* (CO) dan oksida nitrogen (NO_x). Beberapa penelitian terdahulu telah membuktikan bahwa telah terjadi pencemaran udara di seluruh dunia. Ramadhani, W. (2022) pada Penelitiannya yang berjudul “Analisis Gas Karbon Monoksida di Ruas Jalan AP. Pettarani Kota Makassar” menyatakan bahwa Karbon Monoksida merupakan pencemaran udara yang bersumber dari kendaraan bermotor karena pembakaran mesin yang tidak sempurna. Hal tersebut didukung oleh Siregar, (2023) yang mengemukakan bahwa saat ini kendaraan bermotor merupakan penyumbang pencemaran terbesar di Indonesia dikarenakan adanya peningkatan yang pesat dari penggunaan kendaraan bermotor dalam sepuluh tahun terakhir, peningkatan tersebut khususnya pada sepeda motor sebanyak 30%. Gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor tersebut berupa emisi CO sekitar 40 – 50% dan juga menghasilkan HC dan NO_x.

Penelitian terdahulu yang mengangkat judul Tingkat Pencemaran Udara Kendaraan Bermotor di Area Parkir Selatan Universitas Muhammadiyah Yogyakarta oleh Akbar, R. Z. (2023) menyebutkan bahwa nilai emisi polutan pencemar udara akan meningkat dengan besarnya volume kendaraan bermotor dan berdasarkan evaluasi emisi polutan terhadap baku mutu udara ambien DIY dapat dikatakan bahwa pada area parkir zona selatan Universitas Muhammadiyah Yogyakarta telah tercemari oleh jenis polutan CO sebesar 56,712 ppm dan HC sebesar 7,786 ppm. Riset lain juga mengungkapkan bahwa emisi kendaraan telah menjadi sumber dominan dari beberapa polutan udara termasuk karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), senyawa organik volatil (VOC), nitrogen oksida (NO_x), dan partikel (PM) (Utama, 2019).

Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui tingkat pencemaran udara berupa CO dan NO₂, yang terjadi di dalam area Kampus Teknik Gowa Universitas Hasanuddin yang disebabkan oleh kendaraan bermotor. Hal tersebut dilatarbelakangi oleh padatnya aktivitas transportasi seperti penggunaan kendaraan bermotor yang terlihat sangat signifikan di area kampus Universitas Hasanuddin. Universitas Hasanuddin merupakan Perguruan Tinggi Negeri

Berbadan Hukum (PTNBH) yang ramai peminat baik dari dalam bahkan dari luar Sulawesi. Hal tersebut tentunya berbanding lurus dengan padatnya aktivitas transportasi di area kampus. Salah satu fakultas dengan jumlah prodi terbanyak yaitu fakultas teknik yang terbagi menjadi 13 program studi. sehingga peneliti mengangkat judul yaitu **“Analisis Dispersi Polutan CO Dan NO₂ dari Kendaraan Bermotor Area Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat ditarik beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa tingkat konsentrasi CO dan NO₂ di area Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin?
2. Bagaimana pola sebaran konsentrasi CO dan NO₂ di area Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis tingkat konsentrasi, CO dan NO₂ di area Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Menganalisis pola sebaran konsentrasi CO dan NO₂ di area Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

1.4 Ruang Lingkup

Batasan-Batasan dari penelitian ini yaitu:

1. Penelitian ini dilaksanakan di dalam area Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin yang dibagi menjadi 5 titik pengukuran dan dilaksanakan selama 5 hari kerja (*weekdays*).
2. Parameter yang diukur dalam penelitian ini yaitu CO dan NO₂.
3. Data primer yang mendukung penelitian ini yaitu konsentrasi hasil pengukuran udara ambien, sedangkan data primer yang mendukung

pemodelan ini yaitu data volume kendaraan berdasarkan jenisnya, data meteorologi, titik koordinat pengukuran, dan elevasi masing-masing titik.

4. Adapun data sekunder yang mendukung pemodelan pola sebaran polutan menggunakan AERMOD yaitu data meteorologi berupa *ceiling height*, arah angin, kecepatan angin, tutupan awan, *temperature*, kelembaban, tekanan, dan data *global horizontal radiation*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini di antaranya:

1. Bagi Universitas

Penelitian ini bermanfaat sebagai salah satu bahan tinjauan untuk universitas mewujudkan kampus yang lebih lestari dan berkelanjutan.

2. Bagi Warga Kampus

Memberikan gambaran terkait udara amien yang dihirp sehari-hari di area Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, sehingga dapat berpartisipasi dalam menjaga kualitas udara di lingkungan sekitar.

3. Bagi Penulis

Penelitian ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar sarjana sebagai Mahasiswa di Departemen Teknik Lingkungan, Universitas Hasanuddin.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Udara Ambien

Udara Ambien menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfer yang berada di dalam wilayah yurisdiksi Republik Indonesia yang dibutuhkan dan berpengaruh terhadap kesehatan manusia, makhluk hidup, dan unsur lingkungan hidup lainnya. Seluruh makhluk hidup termasuk manusia memerlukan udara yang bersih dan sehat, dan tidak terganggu oleh pencemaran yang tidak membuat nyaman. Adanya kegiatan makhluk hidup menyebabkan komposisi udara alami berubah. Jika perubahan komposisi udara alami melebihi konsentrasi tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya, maka udara tersebut dikatakan telah tercemar. Dalam upaya menjaga mutu udara ambien agar dapat memberikan daya dukung bagi makhluk hidup untuk hidup secara optimal, maka dilakukan pencegahan dan/atau penanggulangan pencemaran udara serta pemulihan mutu udara. Komposisi udara adalah campuran gas yang terdapat di permukaan bumi. Udara kering mengandung 78% nitrogen, 1% uap air, karbon dioksida dan gas-gas lain, serta 21% oksigen (Saidal Siburian, M.M., M.Mar, 2020).

2.2 Pencemaran Udara

2.2.1 Pengertian dan dampak

Pencemaran udara menurut Peraturan Pemerintah RI Nomor 22 Tahun 2021 adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Perubahan kondisi normal dengan dimasukkannya zat-zat asing dalam jumlah tertentu dan dalam waktu yang lama sehingga menyebabkan udara menjadi tercemar dan menimbulkan dampak pada kesehatan manusia. Zat-zat tersebut dapat mengakibatkan dampak yang merugikan bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Pencemaran udara dapat menimbulkan kerusakan pada bangunan, misalnya asam sulfat yang terbentuk sebagai hasil reaksi antara SO_3 dengan uap air yang dapat

menyebabkan terjadinya hujan asam. Sedangkan dampak yang ditimbulkan pada Kesehatan manusia seperti iritasi mata, iritasi saluran pernafasan, rusaknya paru-paru, bronkhitis, dan menimbulkan kerentanan terhadap virus influenza (Nurfadillah dan Petasule, 2022). Rosa dkk., (2020), menyebutkan bahwa pencemaran udara adalah kehadiran satu atau lebih substansi fisik, kimia, atau biologi di atmosfer dalam jumlah yang dapat membahayakan kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan, mengganggu estetika dan kenyamanan, atau merusak properti. Pencemaran udara di dalam ruangan dapat mempengaruhi kesehatan manusia sama buruknya dengan pencemaran udara di ruang terbuka. Pencemar udara dibedakan menjadi dua yaitu, pencemar primer dan pencemar sekunder. Pencemar primer adalah substansi pencemar yang ditimbulkan langsung dari sumber pencemaran udara. Karbon monoksida adalah sebuah contoh dari pencemar udara primer karena ia merupakan hasil dari pembakaran. Pencemar sekunder adalah substansi pencemar yang terbentuk dari reaksi pencemar-pencemar primer di atmosfer.

2.2.2 Sumber-Sumber Pencemaran Udara

Pencemar udara dibedakan menjadi dua yaitu, pencemar primer dan pencemar sekunder. Pencemar primer adalah substansi pencemar yang ditimbulkan langsung dari sumber pencemaran udara. Karbon monoksida adalah sebuah contoh dari pencemar udara primer karena ia merupakan hasil dari pembakaran. Pencemar sekunder adalah substansi pencemar yang terbentuk dari reaksi pencemar-pencemar primer di atmosfer (Rosa dkk., 2020). Dalam buku Pencemaran Udara dan Emisi Gas Rumah Kaca oleh Saidal Siburian, M.M., M.Mar, (2020) pencemaran primer adalah zat pencemar yang timbul secara langsung sedangkan pencemaran sekunder adalah substansi pencemar yang terbentuk karena adanya reaksi pencemar primer di atmosfer. Contohnya adalah pembentukan ozon di dalam kabut fotokimia.

Secara garis besar sumber pencemar primer dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Sumber Alamiah (*Natural Sources*)

Kegiatan alam yang dapat menyebabkan pencemaran udara adalah aktivitas gunung berapi, kebakaran hutan, kegiatan mikroorganisme dan lain-lain. Bahan pencemar yang dihasilkan berupa asap, gas dan debu.

2. Sumber Buatan Manusia (*Anthropogenic Sources*)

Kegiatan manusia yang dapat menghasilkan bahan pencemar adalah pembakaran sampah, pembakaran dalam kegiatan rumah tangga, industri, dan kendaraan. Bahan pencemar yang dihasilkan berupa asap, debu, pasir halus atau grit, dan gas seperti CO dan NO.

a) Berdasarkan Tempatnya

Berdasarkan tempatnya diklasifikasikan menjadi dua yaitu:

1. Pencemaran di dalam ruangan, misalnya dalam rumah, sekolah dan kantor.
2. Pencemaran di luar ruangan, misalnya di jalan raya, taman, dan tempat pemrosesan akhir (TPA).

b) Berdasarkan Pola Emisinya

Menurut Romansyah, M., (2019) jenis pencemaran udara berdasarkan pola emisinya dikategorikan menjadi 3 yaitu:

1. Sumber titik (*point source*) yaitu sumber emisi yang tetap atau tidak bergerak dan berada pada suatu tempat. Contoh *point source* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 1. Sumber Pencemar Titik
Sumber: Google.com (2024)

2. Sumber garis (*line source*) yaitu sumber emisi yang bergerak atau tetap dari suatu tempat yang berasal dari kendaraan bermotor. Berikut dapat dilihat gambaran line source berikut.



Gambar 2. Sumber Pencemar Garis
Sumber: Google.com (2024)

3. Sumber area (*area source*) yaitu kumpulan dari *point source* maupun *line source* yang berkumpul menjadi satu dalam satu area. Berikut merupakan gambaran *area source*.



Gambar 3. Sumber Pencemar Area
Sumber: Google.com (2024)

2.3 Faktor Meteorologi

Pada dasarnya, pemodelan pemodelan kualitas udara memberikan gambaran hubungan antara sumber emisi polutan pada suatu wilayah dengan konsentrasi polutan di atmosfer yang dapat digunakan untuk dasar pengendalian pencemaran udara. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui kualitas udara pada suatu wilayah adalah model dispersi. Dalam pembuatan model dispersi polutan perlu memperhatikan faktor berupa kecepatan angin, temperatur udara, kelembaban dan tekanan (Adriani, 2020).

1. Temperatur

Temperatur merupakan karakteristik yang dimiliki oleh suatu benda yang berhubungan dengan panas dan energi (Lakitan, 2020). Temperatur udara akan berfluktuasi dengan nyata setiap periode 24 jam. Fluktuasi suhu akan terganggu jika turbulensi udara atau pergerakan massa udara menjadi sangat aktif, misalnya pada kondisi kecepatan angin tinggi (Prakoso, 2018). Temperatur udara atau suhu udara dapat menyebabkan polutan dalam atmosfer yang lebih rendah dan tidak menyebar (Prabowo & Muslim, 2018). Temperatur dapat mempengaruhi dispersi vertikal emisi. Pada hari yang sangat panas, udara di dekat permukaan mungkin lebih panas daripada udara di atasnya sehingga dapat menyebabkan emisi naik lebih tinggi sebelum terdispersi ke lingkungan (Putro, 2023).

2. kelembaban

Kelembaban udara relatif (RH) merupakan salah satu variabel dalam fisika atmosfer yang menggambarkan hubungan antara tekanan udara aktual dan tekanan udara jenuh. Kelembaban relatif ini dapat menggambarkan jumlah uap air yang ada pada suatu lokasi tertentu (Putro, 2023). Kelembaban adalah jumlah rata-rata kandungan air keseluruhan (uap, tetes air dan kristal es) di udara pada suatu waktu. Kelembaban diperoleh dari hasil harian dan dirata-ratakan setiap bulan. Adapun berdasarkan *Glossary of Meteorologi*, kelembaban diartikan sebagai jumlah uap air di udara atau tekanan uap yang teramati terhadap tekanan uap jenuh untuk suhu yang diamati dan dinyatakan dalam persen (Adriani, 2020).

Udara yang lembab dapat mempercepat proses pengendapan bahan pencemar, hal tersebut dikarenakan keadaan udara yang lembab maka beberapa bahan pencemar berbentuk partikel seperti debu akan berikatan dengan air yang ada dalam udara dan membentuk partikel yang berukuran lebih besar sehingga mudah mengendap ke permukaan bumi oleh gaya tarik bumi (Prabowo & Muslim, 2018).

3. Tekanan

Tekanan udara merupakan tenaga yang bekerja untuk menggerakkan massa udara dalam setiap satuan luas tertentu. Perubahan tekanan udara akan menyebabkan perubahan kecepatan dan arah angin, perubahan ini akan membawa pula pada perubahan suhu dan curah hujan. Tekanan udara dibatasi oleh ruang dan waktu. Artinya pada tempat dan waktu yang berbeda, besarnya juga berbeda. Semakin tinggi suatu tempat, maka tekanan udaranya semakin menurun, sedangkan tekanan udara pada daerah yang mempunyai rata-rata ketinggian sama, maka tekanan udara dipengaruhi oleh suhu udara. Daerah yang suhu udaranya tinggi akan bertekanan rendah dan daerah yang bersuhu udara rendah, tekanan udaranya tinggi (Kurniawati. Dkk, 2020).

Tekanan udara adalah salah satu faktor penting dalam mengetahui bagaimana emisi udara dari berbagai sumber tersebar dalam lingkungan. Perubahan dalam tekanan udara dapat memiliki dampak yang signifikan pada dispersi emisi udara (Putro, 2023). Tekanan udara yang tinggi akan menyebabkan polutan udara yang berukuran kecil akan terdispersi. Sedangkan pada tekanan yang rendah, polutan dengan ukuran yang cukup besar akan sulit terdispersi. Stabilitas atmosfer mempengaruhi sebaran polutan. Semakin stabil atmosfer maka polutan akan terdispersi lebih jauh, sebaliknya jika atmosfer semakin tidak stabil maka polutan terdispersi semakin dekat dengan sumber polutan (Aslim dkk, 2019).

Tekanan udara diukur berdasarkan tekanan gaya pada permukaan dengan luas tertentu, misalnya 1 cm^2 . Tekanan udara umumnya menurun sebesar 11 mbar untuk setiap bertambahnya ketinggian suatu tempat sebesar 100 meter. Tekanan udara dapat dipengaruhi oleh temperatur. Temperatur akan berpengaruh pada pemuaian dan penyusutan volume udara. Jika udara memuai maka udara menjadi lebih renggang dan akibatnya tekanannya akan menurun. Sebaliknya jika volume udara menyusut, maka akan terjadi kebalikannya yaitu kerapatan udara tersebut menjadi lebih tinggi dan akibatnya tekanannya akan

meningkat. Satuan yang digunakan adalah atmosfer (atm), millimeter kolom air raksa (mmHg), atau milibar (mbar) (Marulitua, 2018).

4. kecepatan angin

Pada dasarnya kecepatan angin ditentukan oleh perbedaan tekanan udara antara tempat asal dan arah angin sebagai faktor pendorong. Secara umum polutan-polutan di atmosfer terdispersi dalam 2 cara yaitu melalui kecepatan angin dan turbulensi atmosfer. Hubungan antara kecepatan angin dengan konsentrasi debu adalah berbanding terbalik. Kecepatan angin yang kuat akan membawa polutan terbang kemana-mana dan dapat mencemari udara di tempat lain. Sebaliknya apabila kecepatan angin lemah, polutan akan menumpuk ditempat dan dapat mencemari udara tempat pemukiman yang terdapat di sekitar lokasi pencemaran (Kurniawati. Dkk, 2020). Semakin tinggi kecepatan angin maka semakin kecil konsentrasi debu di suatu tempat. Hal tersebut dipengaruhi oleh kemampuan angin yang merupakan faktor pembawa polutan dalam menyebarkan polutan ke tempat lain (Pratama, 2020).

5. kecepatan ruang

Kecepatan rata-rata ruang dapat didefinisikan sebagai waktu rata-rata yang dibutuhkan oleh kendaraan pada ruang tertentu yang melewati suatu titik. Kecepatan ruang didefinisikan sebagai kecepatan rata-rata seluruh kendaraan pada suatu ruas jalan tertentu pada suatu waktu tertentu

6. laju alir

Wismanto, (2020) dalam risetnya yang berjudul Pengaruh Laju aliran massa udara terhadap kinerja pompa udara tekan, Laju aliran adalah massa fluida yang mengalir per satuan waktu. Laju aliran massa juga mempunyai satuan internasional (SI) kilogram per detik (kg/s) dan simbol (m). Laju aliran massa dihitung untuk mengetahui massa suatu aliran yang mengalir tiap detiknya yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran, jenis aliran dan besar kecilnya penampang yang dialiri fluida. Laju aliran udara mempengaruhi konsentrasi debu. Laju aliran udara adalah pembawa utama difusi debu yang mempengaruhi hasil

simulasi secara keseluruhan. Ketika laju aliran udara mencapai tingkat tertentu, itu mungkin tidak mengurangi debu secara efektif tetapi menyebabkan debu kembali masuk dan menyebabkan polusi (Zihao, 2020).

2.4 Baku Mutu Udara Ambien

Mutu udara adalah ukuran kondisi udara pada waktu dan tempat tertentu yang diukur dan/atau diuji berdasarkan parameter tertentu dan metode tertentu berdasarkan ketentuan peraturan perundang-undangan. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021, tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, definisi baku mutu udara ambien adalah nilai pencemar udara yang ditenggang keberadaannya dalam udara ambien. Pencemar udara adalah zat, energi, dan/atau komponen yang yang menyebabkan terjadinya pencemaran udara. Berdasarkan pengertian dari Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, 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. Penanggulangan baku mutu udara ambien dapat dilihat sebagai suatu upaya untuk mencegah pencemaran udara yang ada tidak melebihi batas sehingga membahayakan kesehatan manusia.

Tabel 1. Baku mutu udara ambien

No	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu	Sistem Pengukuran
1.	Sulfur Dioksida (SO ²)	1 jam	150	Aktif kontinu
		24 jam	μg/m ³	Aktif manual
			75 μg/m ³	Aktif kontinu
		1 tahun	45 μg/m ³	Aktif kontinu
2.	Karbon Monoksida (CO)	1 jam	10000	Aktif kontinu
			μg/m ³	
		8 jam	4000	Aktif kontinu
			μg/m ³	
3.	Nitrogen Dioksida (NO ²)	1 jam	200	Aktif kontinu
			μg/m ³	Aktif manual
		24 jam	65 μg/m ³	Aktif kontinu
		1 tahun	50 μg/m ³	Aktif kontinu
4.	Oksidan fotokimia (O _x) sebagai Ozon (O ₃)	1 jam	150	Aktif kontinu
			μg/m ³	Aktif manual [#]
		8 jam	100	Aktif kontinu ^{##}
			μg/m ³	
		1 tahun	35 μg/m ³	Aktif kontinu

No	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu	Sistem Pengukuran
5.	Hidrokarbon Non Metana (NMHC)	3 jam	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Aktif kontinu ^{###}
6.	Partikulat debu < 100 μm (PM_{10})	24 jam	230 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Aktif manual
	Partikulat debu < 10 μm (PM_{10})	24 jam	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Aktif kontinu
		1 tahun	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Aktif manual
	Partikulat debu < 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$)	24 jam	55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Aktif kontinu
		1 tahun	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Aktif manual
7.	Timbal (Pb)	24 jam	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Aktif kontinu

Sumber: PP Nomor 22 Tahun 2021

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

Keterangan:

- # konsentrasi yang dilaporkan untuk waktu pengukuran selama 1 (satu) jam adalah konsentrasi hasil pengukuran yang dilakukan setiap 30 (tiga puluh) menit (dalam 1 jam dilakukan 2 kali pengukuran) dan dilakukan di antara pukul 11:00 – 14:00 waktu setempat.
- ## konsentrasi yang dilaporkan untuk waktu pengukuran selama 8 (delapan) jam adalah konsentrasi dari waktu pengukuran yang dilakukan di antara pukul 06:00 – 18:00 waktu setempat.
- ### konsentrasi yang dilaporkan untuk waktu pengukuran selama 3 (tiga) jam adalah konsentrasi dari waktu pengukuran yang dilakukan di antara pukul 06:00 – 10:00 waktu setempat.

2.5 Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU)

Indeks standar pencemar udara (ISPU) merupakan angka maupun grafik yang menggambarkan kondisi kualitas udara ambient di lokasi dan waktu tertentu yang didasarkan kepada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya. Bentuk indeks lingkungan pada suatu daerah tidak akan selalu sama antara satu daerah dengan daerah lainnya. Dewasa ini indeks standar kualitas udara yang diaplikasikan secara resmi di wilayah negara kesatuan republik Indonesia adalah ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara), hal ini sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 14 Tahun

2020 Tentang Indeks Standar Pencemaran Udara. Didalam keputusan tersebut tercantum keputusan yang diaplikasikan sebagai bahan pertimbangan antara lain: bahwa demi memberikan kemudahan dari keseragaman dan keselarasan informasi kualitas udara ambien (Amalia, 2022).

Tabel 2. Rentang Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

Kategori	Status Warna	Angka Rentang	Keterangan
Baik	Hijau	1 - 50	Tingkat Kualitas Udara yang sangat baik, tidak memberikan efek negatif terhadap manusia, hewan, tumbuhan.
Sedang	Biru	51 – 100	Tingkat Kualitas Udara masih dapat diterima pada kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan.
Tidak Sehat	Kuning	101 – 200	Tingkat kualitas udara yang bersifat merugikan pada manusia, hewan dan tumbuhan
Sangat Tidak Sehat	Merah	201 – 300	Tingkat Kualitas udara yang dapat meningkatkan resiko kesehatan pada sejumlah titik populasi yang terpapar
Berbahaya	Hitam	≥ 301	Tingkat Kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan serius pada populasi dan penanganan cepat

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2020, tiap parameter pencemar akan memberikan dampak atau pengaruh terhadap lingkungan dan manusia. Berikut merupakan tabel 3 yang menjelaskan terkait pengaruh setiap parameter.

Tabel 3. Penjelasan Nilai ISPU

Kategori	Keterangan	Apa yang Harus Dilakukan?
Baik	Tingkat kualitas udara yang sangat baik, tidak memberikan efek negatif terhadap manusia, hewan, tumbuhan.	Sangat baik melakukan kegiatan di luar
Sedang	Tingkat kualitas udara masih dapat diterima pada kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan.	Kelompok sensitif: Kurangi aktivitas fisik yang terlalu lama atau berat. Setiap orang: Masih dapat beraktivitas di luar
Tidak Sehat	Tingkat kualitas udara yang bersifat merugikan pada manusia, hewan dan tumbuhan	<ul style="list-style-type: none"> Kelompok sensitif: Boleh melakukan aktivitas di luar, tetapi mengambil rehat lebih sering dan melakukan aktivitas ringan. Amati gejala berupa batuk atau nafas sesak.

Kategori	Keterangan	Apa yang Harus Dilakukan?
		<ul style="list-style-type: none"> • Penderita asma: Harus mengikuti petunjuk kesehatan untuk asma dan menyimpan obat asma. • Penderita penyakit jantung: gejala seperti palpitasi/jantung berdetak lebih cepat, sesak nafas, atau kelelahan yang tidak biasa mungkin mengindikasikan masalah serius. • Setiap orang: Mengurangi aktivitas fisik yang terlalu lama di luar ruangan.
Sangat Tidak Sehat	Tingkat kualitas udara yang dapat meningkatkan resiko kesehatan pada sejumlah titik populasi yang terpapar.	<ul style="list-style-type: none"> • Kelompok sensitif: Hindari semua aktivitas di luar. Perbanyak aktivitas di dalam ruangan atau lakukan penjadwalan ulang pada waktu dengan kualitas udara yang baik. • Setiap orang: Hindari aktivitas fisik yang terlalu lama di luar ruangan, pertimbangkan untuk melakukan aktivitas di dalam ruangan.
Berbahaya	Tingkat kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan serius pada populasi dan perlu penanganan cepat.	Kelompok sensitif: Tetap di dalam ruangan dan hanya melakukan sedikit aktivitas Setiap orang: Hindari semua aktivitas di luar

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2020

Adapun batasan Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) untuk masing-masing parameter sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2020 dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Batas Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU)

ISPU 24 Jam	PM ₁₀ µg/m ³	PM _{2.5} µg/m ³	SO ₂ µg/m ³	CO µg/m ³	O ₃ µg/m ³	NO ₂ µg/m ³	HC µg/m ³
0-50	50	15,5	52	4000	120	80	45
51-100	150	55,4	180	8000	235	200	100
101-200	350	150,4	400	15000	400	1130	215
201-300	420	250,4	800	30000	800	2260	432
>300	500	500	1200	45000	1000	3000	648

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2020

Keterangan:

- Data pengukuran selama 24 jam secara terus-menerus.
- Hasil perhitungan ISPU parameter partikulat (PM_{2.5}) disampaikan tiap jam selama 24 jam

Adapun tata cara perhitungan ISPU menggunakan persamaan berikut:

$$I = \frac{(I_a - I_b)}{(x_a - x_b)} \times (x_x - x_b) + I_b \quad (1)$$

Keterangan:

I : ISPU

I_a : ISPU batas atas

I_b : ISPU batas bawah

X_a : Konsentrasi ambien batas atas (μg/m³)

X_b : Konsentrasi ambien batas bawah (μg/m³)

X_x : Konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran (μg/m³)

2.6 Karbon Monoksida (CO)

a. Pengertian Karbon Monoksida

Karbon monoksida merupakan gas yang terdapat di alam sebagai hasil akhir dari pembakaran yang tidak sempurna, yang dicirikan dengan karakteristik tidak berasa, tidak berwarna, dan tidak berbau. Karbon monoksida (CO) memiliki karakteristik beracun dan juga disebut sebagai racun abad ke-21 yang tidak diketahui obatnya (Ananda, I. I. 2024).

b. Sumber Karbon Monoksida

Karbon monoksida lebih banyak ditemukan di kota daripada di desa karena penggunaan bahan bakar fosil yang memicu munculnya karbon monoksida seperti kendaraan bermotor volumenya lebih padat di perkotaan. Konsentrasi CO di udara dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kecepatan emisi, kecepatan dispersi hingga pembersihan CO dari udara. Kecepatan dispersi sendiri dipengaruhi oleh beberapa faktor yang disebut faktor meteorologi, yang terdiri seperti turbulensi udara, stabilitas atmosfer, arah dan kecepatan angin. Faktor meteorologi udara di perkotaan memiliki gerakan udara yang terbatas karena padatnya ruas jalan oleh karena itu potensi timbulnya Karbon Monoksida (CO) menjadi semakin besar (Prabowo & Muslim, 2018).

Peningkatan volume kendaraan menyebabkan konsentrasi CO dapat mencapai tingkat yang mengkhawatirkan di perkotaan. Sebuah penelitian

menunjukkan bahwa knalpot mobil menyumbang sekitar 64% CO di negara-negara urban. Jika dibandingkan dengan mesin diesel, kendaraan bermesin bensin menghasilkan lebih banyak CO ke lingkungan. Hal ini terbentuk di mesin pembakaran internal (IC) beroperasi dengan pembakaran bahan bakar fosil (bensin atau solar), yang merupakan reaksi perantara selama pembakaran HC yang tidak sempurna. Rasio udara/bahan bakar (A/F) berperan penting dalam efisiensi proses pembakaran pada mesin. Adapun konsentrasi alami CO di udara adalah sekitar 0,2 ppm, akan tetapi jumlah tersebut tidak hanya mempengaruhi manusia tetapi juga tumbuh-tumbuhan dengan antar muka respirasi tanaman dan fiksasi nitrogen (Ananda, I. I. 2024). Gas Karbon dioksida dapat berasal dari asap pabrik, pembakaran sampah, kebakaran hutan dan kendaraan bermotor (Saidal Siburian, M.M., M.Mar, (2020).

c. Dampak Karbon Monoksida

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Rizaldi, M.A., dkk., 2022 diperoleh hasil terkait dampak Kesehatan yang disebabkan oleh paparan gas CO yang terjadi di masyarakat. Dampak tersebut berupa naiknya kadar karboksihemoglobin (COHb) pada darah, sakit kepala, pusing, sesak nafas, mata berair, tekanan darah tinggi. Paparan gas CO dapat menyebabkan bronchitis, penyakit jantung coroner, hipertensi, stroke serta dapat menyebabkan *Delayed Encephalopathy After Acute Carbon Monoxide Poisoning* (DEACMP). Paparan gas CO berhubungan dengan kejadian BBLR, kejadian stunting pada balita.

Tabel 5. Dampak CO Berdasarkan Konsentrasi CO

Konsentrasi CO di udara (ppm)	Konsentrasi COHb di udara dalam darah (%)	Gangguan pada tubuh
3	0,98	Tidak ada
5	1,3	Belum begitu terasa
10	2,1	System syaraf sentral
20	3,7	Panca indra
40	6,9	Fungsi jantung
60	10,1	Sakit kepala
80	13,3	Sulit bernafas
100	16,5	Pingsan sampai kematian

Sumber: Ananda, I. I. (2024)

2.7 Nitrogen Dioksida (NO₂)

a. Pengertian Nitrogen Dioksida

Nitrogen oksida (NO_x) merupakan kelompok gas yang terdapat di atmosfer yang terdiri dari gas nitrogen oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO₂) (Prasetyanto dalam Akbar, 2017). Nitrogen dioksida (NO₂) adalah gas berwarna coklat kemerahan yang berbau tajam. NO₂ merupakan salah satu prekursor pembentuk polutan sekunder berupa ozon yang secara alami mengalami siklus fotolitik dengan bantuan matahari (Dwirahmawati, F., dkk., 2018).

b. Sumber Nitrogen Dioksida

Nitrogen oksida (NO_x) adalah kelompok gas yang terdapat di atmosfer yang terdiri dari gas nitrogen oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO₂). Sumber pencemaran gas NO_x dapat berasal dari sumber alami seperti dari aktivitas bakteri. Selain itu, aktivitas manusia juga merupakan penyebab terjadinya pencemaran udara oleh gas NO_x. Pembentukan NO pada suhu kamar dihasilkan dari reaksi antara gas oksigen dan gas nitrogen akan berlangsung sangat lambat. Sedangkan pada suhu tinggi, diatas 1200⁰C gas oksigen dan gas nitrogen akan bereaksi sangat cepat untuk menghasilkan nitrogen oksida. Sumber pencemaran gas NO_x dapat berasal dari sumber alami seperti dari aktivitas bakteri. Selain itu, aktivitas manusia juga merupakan penyebab terjadinya pencemaran udara oleh gas NO_x. Pembentukan NO pada suhu kamar dihasilkan dari reaksi antara gas oksigen dan gas nitrogen akan berlangsung sangat lambat. Sedangkan pada suhu tinggi, diatas 1200⁰C gas oksigen dan gas nitrogen akan bereaksi sangat cepat untuk menghasilkan nitrogen oksida (Prasetyanto dalam Akbar, 2017).

c. Dampak Nitrogen Dioksida

Nitrogen Dioksida (NO₂) merupakan gas beracun yang berwarna coklat kemerah-merahan dan berbau sangat menyengat seperti asam nitrat. NO berpengaruh terhadap lingkungan jika dalam konsentrasi tinggi yaitu dapat menyebabkan udara di luar terlihat kecoklatan (*brown air cities*). Hal ini akan memicu terbentuknya senyawa *photochemical smog*, ketika NO₂ bereaksi dengan panas matahari dan hidrokarbon (Slamet dalam Riwanto dan Sani, 2017). Udara yang tercemar oleh gas NO₂ tidak hanya berbahaya bagi manusia

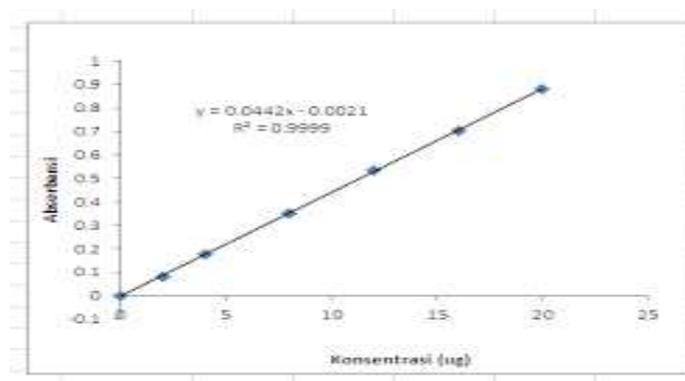
dan hewan tetapi juga berbahaya untuk kehidupan tanaman (Sastrawijaya, 2018).

Selain itu dapat menyebabkan iritasi pada mata, hidung, dan tenggorokan. Paparan NO_2 jangka panjang dapat meningkatkan risiko penyakit pernapasan seperti asma, bronkitis, dan kanker paru-paru (Rini, 2024). NO_2 merupakan salah satu polutan yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Jika NO_2 dan NO_x lainnya bereaksi dengan air, oksigen dan bahan kimia lainnya di atmosfer akan membentuk hujan asam. Hujan asam berdampak merusak lingkungan akuatik seperti sungai, danau dan rawa-rawa yang dapat mengancam kehidupan biota air (Safira dkk, 2022).

Dibandingkan dengan gas NO , gas NO_2 memiliki sifat yang lebih toksik. Konsentrasi nitrogen dioksida (NO_2) di kota berkembang umumnya lebih tinggi dibandingkan daerah pedesaan, hal tersebut diakibatkan karena tingkat aktivitas manusia di daerah perkotaan lebih tinggi dibanding pedesaan yang akan meningkatkan konsentrasi nitrogen dioksida (NO_2) di udara ambien salah satunya aktivitas transportasi (Agustina dkk, 2021).

2.7.1 Analisa Regresi

Tujuan pembuatan kurva kalibrasi adalah mengetahui hubungan antara konsentrasi larutan dengan nilai absorbansinya. Nilai r yang mendekati 1 menunjukkan bahwa persamaan regresi tersebut adalah linier. Semakin tinggi konsentrasi maka semakin tinggi pula nilai absorbansi yang dihasilkan. Linearitas merupakan ukuran seberapa baik kurva kalibrasi yang menghubungkan antara respon (y) dengan konsentrasi (x) (Syafira dkk, 2024).



Gambar 4. Kurva kalibrasi NO_2
Sumber: Riza, A. U., (2019)

2.7.2 Konsentrasi NO₂

Berdasarkan SNI- 7119-2-2017 bagian 2 terkait cara uji kadar nitrogen dioksida (NO₂) dengan metoda Griess Saltzman menggunakan spektrofotomete dapat dihitung dengan:

1. Konsentrasi NO₂ dalam larutan standar

Jumlah NO₂ (μg) tiap 1 mL larutan standar yang digunakan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$NO_2 = \frac{a}{100} \times \frac{46}{69} \times \frac{10}{1000} \times 10^6 \quad (2)$$

keterangan:

NO₂ : jumlah NO₂ dalam larutan standar NaNO₂ (μg/mL)

a : berat NaNO₂ yang ditimbang (g)

46 : berat molekul NO₂

69 : berat molekul NaNO₂

f : faktor yang menunjukkan jumlah mol NaNO₂ yang menghasilkan warna yang setara dengan 1 mol NO₂ (nilai f = 0,82)

10/1000 : aktor pengenceran dari larutan induk NaNO₂

10⁶ : konversi dari gram ke μg

2. Volume contoh uji udara yang diambil

Volume contoh uji udara yang diambil, dihitung pada kondisi normal (25°C, 760 mmHg) dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$v = \frac{\sum_{i=1}^n Qi}{n} \times t \times \frac{Pa}{Ta} \times \frac{298}{760} \quad (3)$$

Keterangan:

V : volume udara yang dihisap dikoreksi pada kondisi normal 25°C, 760 mmHg

F₁ : laju alir awal (L/menit)

F₂ : laju alir akhir (L/menit)

t : durasi pengambilan contoh uji (menit)

P_a : tekanan barometer rata-rata selama pengambilan contoh uji (mmHg)

T_a : temperatur rata-rata selama pengambilan contoh uji (K)

298: konversi temperatur pada kondisi normal (25°C) ke dalam Kelvin

760: tekanan udara standar (mmHg)

3. Konsentrasi NO₂ di udara ambien

Konsentrasi NO₂ dalam contoh uji dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$C = \frac{b}{V_u} \times \frac{V_1}{25} \times 1000 \quad (4)$$

Keterangan:

C : konsentrasi NO₂ di udara (µg/Nm³)

b : jumlah NO₂ dari contoh uji hasil perhitungan dari kurva kalibrasi (µg)

V : volume udara yang dihisap dikoreksi pada kondisi normal 25°C, 760 mmHg

1/25 : faktor pengenceran

1000 : konversi liter ke m³

2.8 Klasifikasi Kendaraan

Berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia Tahun (2023) Menurut MKJI 1997, jenis kendaraan dibagi menjadi tiga golongan. Penggolongan jenis kendaraan sebagai berikut:

1. Kendaraan berat (HV), yaitu kendaraan berat adalah kendaraan bermotor dengan lebih dari empat roda meliputi bis, truk 2 as, truk 3 as, dan truk kombinasi.



Gambar 5. Kendaraan Berat
Sumber: Tribunnews.com (2024)

2. Kendaraan ringan (LV), yaitu kendaraan ringan adalah kendaraan bermotor ber as dua dengan empat roda dan dengan jarak as 2,0-3,0 m. Kendaraan ini meliputi mobil penumpang, *microbus*, *pick up*, dan truk kecil.



Gambar 6. Kendaraan Ringan

Sumber: Otosia.com (2024)

3. Sepeda motor (MC), yaitu kendaraan bermotor dengan dua atau tiga roda, meliputi sepeda motor dan kendaraan roda tiga



Gambar 7. Sepeda Motor

Sumber: Oto (2024)

4. Kendaraan tak bermotor (UM), yaitu kendaraan dengan roda yang digerakkan manusia, yaitu sepeda, becak, kereta kuda, dan kereta dorong.



Gambar 8. Kendaraan Tak Bermotor

Sumber: Google (2023)

Sedangkan Menurut UU Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, menyebutkan kendaraan terbagi atas dua, yaitu:

1. Kendaraan Bermotor adalah setiap Kendaraan yang digerakkan oleh peralatan mekanik berupa mesin selain Kendaraan yang berjalan di atas rel. Contohnya sepeda motor, mobil penumpang, mobil bus, mobil barang dan kendaraan khusus.
2. Kendaraan Tidak Bermotor adalah setiap Kendaraan yang digerakkan oleh tenaga manusia dan/atau hewan. Kendaraan tidak bermotor terdiri dari Kendaraan yang digerakkan oleh tenaga orang dan Kendaraan yang digerakkan oleh tenaga hewan.

2.9 Besaran Faktor Emisi Kendaraan Bermotor

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Nomor 12 Tahun 2010 Tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara Di Daerah, faktor emisi diartikan sebagai rerata statistik dari jumlah massa pencemar yang diemisikan untuk setiap satuan aktivitas kegiatan. Faktor emisi dapat dipengaruhi oleh beberapa factor di antaranya:

- a) Karakteristik geografi (meteorologi dan variasi kontur)
- b) Karakteristik bahan bakar
- c) Teknologi kendaraan
- d) Pola kecepatan kendaraan bermotor (*driving cycle*)

Dengan beberapa asumsi sebagai berikut:

- a) Karakteristik geografi kota di seluruh Indonesia diasumsikan seragam.
- b) Karakteristik bahan bakar di seluruh Indonesia diasumsikan seragam.
- c) Teknologi kendaraan bermotor sebanding dengan umur kendaraan bermotor diasumsikan seragam distribusinya di seluruh Indonesia apabila belum tersedia data populasi kendaraan bermotor berdasarkan umurnya.

Nilai faktor emisi gas buang kendaraan bermotor dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 6. Faktor emisi gas buang kendaraan untuk kota metropolitan dan kota besar di Indonesia

Kategori untuk perhitungan beban pencemar udara *	CO (g/km)	HC (g/km)	NO_x (g/km)	PM₁₀ (g/km)	CO₂ (g/kg BBM)	SO₂ (g/km)
Sepeda motor	14	5,9	0,29	0,24	3180	0,008
Mobil (bensin)	40	4	2	0,01	3180	0,026
Mobil (solar)	2,8	0,2	3,5	0,53	3172	0,44
Mobil	32,4	3,2	2,3	0,12	3178	0,11
Bis	11	1,3	11,9	1,4	3172	0,93
truk	8,4	1,8	17,7	1,4	3172	0,82

Sumber: Permen LHK No.12 Tahun 2010

Konsentrasi zat cemaran yang diemisikan diperoleh dari hasil pemantauan emisi, dalam unit massa zat cemaran per volume gasbuang yang diemisikan (misalnya mg/m³). Apabila data konsentrasi zat cemaran dari pemantauan tidak tersedia, nilai besaran tersebut dapat digantikan dengan nilai rata-rat emisi yang dinyatakan sebagai faktor emisi (FE). Besaran emisi dapat ditentukan melalui persamaan berikut sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010.

$$E = Akv \times FE \quad (5)$$

Keterangan:

Akv : Aktivitas Kendaraan (kendaraan/jam)

FE : Faktor Emisi (g/km)

Beban emisi dapat dihitung menggunakan persamaan 6 dengan menggunakan faktor emisi kendaraan yang mengacu pada faktor emisi nasional dengan mengalikan faktor emisi dengan volume kendaraan dengan satuan kendaraan/jam kemudian dibagi dengan lamanya waktu pengukuran dengan satuan detik (Taufik, et al., 2022).

$$Q = \left(\frac{\sum_i^n EF_i \times V}{t} \right) \quad (6)$$

Keterangan:

Q : Beban emisi sumber polutan (g/s)

EF : faktor emisi setiap kendaraan (g/km)

V : volume kendaraan (kendaraan/jam)

t : lama waktu pengamatan (det.)

I : jenis kendaraan

Pada beberapa keadaan salah satunya pada deretan pabrik pada sepanjang jalan atau kendaraan yang melintasi jalan raya yang padat dapat dimodelkan sebagai suatu emisi yang kontinu atau *line sources* tak hingga. Salah satu penelitian yang telah melakukan pemodelan dengan menggambarkan pola sebaran polutan di jalan raya menggunakan *Gaussian model Line* adalah Putut, L. E. & Widodo, (2011 dalam Ohorella, D.F., 2023). Jika sumber yang mengemisikan polutan adalah sumber bergerak yang berbentuk garis seperti jalan raya, maka modifikasi persamaan menjadi:

$$C(x, y, z) = \frac{2Q}{L} - (2\pi)^{\frac{1}{2}} u \delta_z \exp\left(-\frac{z^2}{2\delta_z^2}\right) \quad (7)$$

Keterangan:

$C(x, z)$: konsentrasi polutan pada titik x,z yang ditinjau (g/m^3)

Q/L : laju emisi spesifik yang dikeluarkan sumber emisi (g/s)

δ_z : koefisien gauss untuk dispersi vertikal (arah z) (m)

u : kecepatan angin arah x atau tegak lurus sumbu jalan (m/s)

z : tinggi di titik konsentrasi yang ditinjau

Pada proses yang memiliki alat pengontrol pencemar udara, beban emisi dihitung dengan mempertimbangkan efisiensi alat tersebut, sehingga dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$E = A_k v \times FE \times (1-ER/100) \quad (8)$$

Keterangan:

ER : Efisiensi Reduksi (%)

Pada IPCC 2006 GL, dijelaskan bahwa ketelitian perhitungan emisi GRK dikelompokkan menjadi 3 tingkatan ketelitian, yang dikenal dengan istilah tier. Tingkat ketelitian perhitungan terkait dengan data dan metode yang digunakan sebagaimana penjelasan berikut: Tier 1 diestimasi berdasarkan data aktifitas dan factor emisi default IPCC, Tier 2 diestimasi berdasarkan data aktifitas yang lebih akurat dan factor emisi default IPCC atau factor emisi spesifik suatu negara atau suatu pabrik (*country specific/plant specific*), dan tier 3 diestimasi berdasarkan metode spesifik suatu negara dengan data aktifitas yang lebih akurat (pengukuran langsung) dan factor emisi spesifik suatu negara atau suatu pabrik (*country specific/plant specific*). Pendekatan Tier-1 dan Tier-2 merupakan metodologi penghitungan emisi GRK yang paling sederhana, yaitu berdasarkan data aktifitas dan faktor emisi. Berdasarkan persamaan 5, data Aktifitas yang dimaksud adalah data mengenai banyaknya aktifitas manusia terkait dengan banyaknya emisi GRK. Contohnya yaitu data aktivitas sektor energi berupa volume BBM dan banyaknya minyak yang diproduksi di lapangan migas (terkait dengan fugitive emission). Adapun yang dimaksud dengan Faktor Emisi (FE) adalah suatu koefisien yang menunjukkan banyaknya emisi per unit aktivitas. Unit aktivitas dapat berupa volume yang diproduksi atau volume yang dikonsumsi. Untuk Tier-1, digunakan faktor emisi default (IPCC 2006 GL) sedangkan pada metoda Tier-2 data aktivitas yang digunakan dalam perhitungan lebih detail dibanding Tier-1. Sebagai contoh, pada Tier-1 data aktivitas penggunaan solar sektor transportasi merupakan agregat konsumsi solar berdasarkan data penjualan di SPBU, tanpa membedakan jenis kendaraan pengguna. Sedangkan untuk Tier-2 data aktivitas konsumsi solar sektor transportasi dipilah (*break down*) berdasarkan jenis kendaraan pengguna.

2.13 Beaufort wind force scale

Menurut Gunadhi, A., dkk., (2019) *Beaufort Scale* merupakan pengukuran secara empiris pada kecepatan angin di darat maupun di laut. Alat bantu navigasi pelayaran tradisional, *beaufort scale* digunakan sebagai penskala kecepatan angin. *Beaufort scale* dapat membantu navigasi pelayaran untuk mengetahui tingkat bahaya dari kecepatan angin. Berikut merupakan tabel penjabaran nilai dari

beaufort scale yang terbagi menjadi 13 tingkatan, sesuai dengan tingkat kecepatan angin dan bahaya dari angin yang berhembus.

Tabel 7. *Beaufort wind force scale*

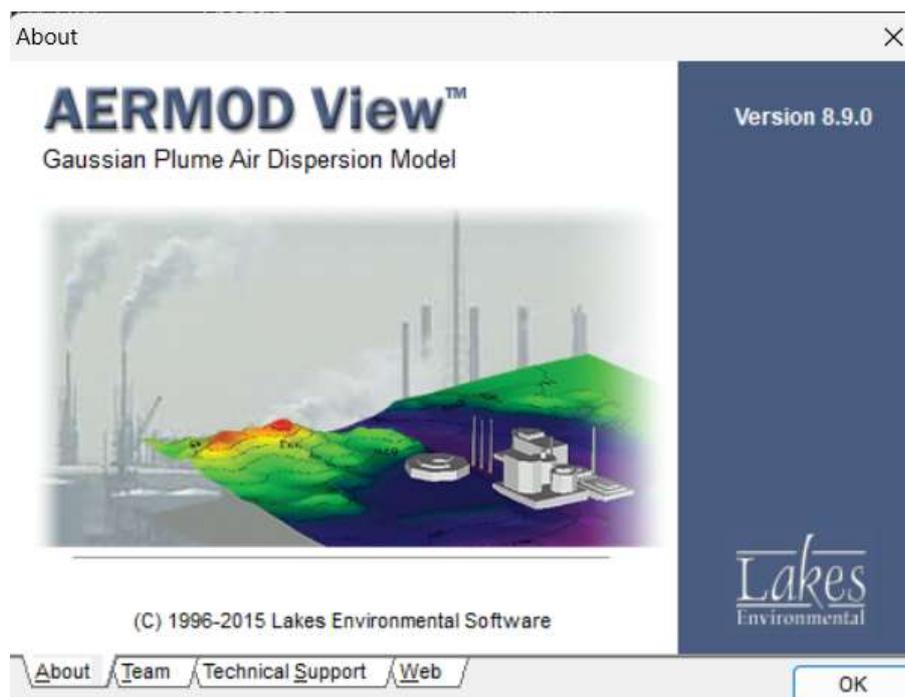
Skala (nomor beaufort)	Kecepatan angin (m/s)	Kecepatan rata- rata (km/jam)	Deskripsi
0	0,447	< 1	Tenang
1	0,447 – 1,34	1 – 5	Udara ringan
2	1,788 – 3,12	6 – 11	Angin sepoi – sepoi
3	3,57 – 5,36	12 – 19	Angin lembut
4	5,88 – 8,04	20 – 29	Semilir sedang
5	8,493 – 10,72	30 – 39	Semilir sejuk
6	11,176 – 13,85	40 – 50	Semilir kuat
7	14,30 – 16,98	51 – 61	Angin sedang
8	17,43 – 20,56	62 – 74	Angin kencang
9	21,01 – 24,14	75 – 87	Angin kuat (kencang sekali)
10	24,58 – 28,16	88 – 101	Badai
11	28,61 – 32,18	102 – 117	Badai dahsyat
12	> 32,63	> 118	Badai topan

Sumber: Gunadhi, A., dkk., (2019)

2.14 AERMOD

Penggunaan model dispersi polutan merupakan suatu upaya untuk memecahkan masalah dalam memantau dan mengevaluasi sebaran partikulat yang berbahaya bagi masyarakat maupun lingkungan. Strategi penanganan dampak pencemaran udara terutama yang berasal dari beberapa sumber pencemar seperti pabrik bisa ditentukan secara akurat (Sasmita et al., 2019). *The American Meteorology Society Environmental Protection Agency Regulatory* atau disingkat (AERMOD) adalah perangkat lunak berbasis *Gaussian Model Plume* oleh *United States Environmental Protection Agency* (US EPA) yang digunakan untuk mensimulasikan kualitas udara ambien (EPA, 2005 dalam Natsir et al., 2018). AERMOD merupakan sistem yang terdiri dari 3 *software* bawaan lainnya yang

difungsikan untuk melakukan pemodelan tersendiri. Penelitian terkait pemodelan dilakukan menggunakan *Software Air Quality Dispersion Modelling (AERMOD)*. Ismahani, (2023), menyebutkan sistem AERMOD sendiri menggunakan pendekatan *Gaussian bi-Gaussian* dalam model dispersinya untuk menghasilkan konsentrasi polutan udara ambien yang dapat digunakan di area perkotaan dan pedesaan sesuai dengan peruntukannya.



Gambar 9. Interface AERMOD

Adapun perangkat tersebut yaitu WRPLOT View yang digunakan untuk pemodelan arah dan kecepatan angin. Wind Rose merupakan hasil distribusi frekuensi arah angin dan parameter lain yang memberikan pandangan singkat tentang kecepatan angin dan distribusi jalur di lokasi yang ditentukan dalam tanggal dan periode tertentu. *Wind rose* merupakan hasil data dari arah dan kecepatan angin yang telah diolah menggunakan AERMET untuk melihat dispersi dan persebaran arah angin dominan yang membawa partikel emisi. Skala yang digunakan menggunakan *Skala Beaufort* (Ismahani dan Anurogo, 2022). AERMET View yang digunakan untuk pemodelan data meteorologi berupa arah angin, kecepatan angin, ketinggian angin referensi, suhu, curah hujan, kelembaban udara, tekanan

permukaan dan tutupan awan dan AERMAP View yang digunakan untuk pengolahan data permukaan bumi (Isran, R., 2023).

Data elevasi merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi pemodelan dispersi polutan (Sasmita, A., 2021). Menurut Khoirunissa, (2011) dalam Sasmita, A., (2021) konsentrasi polusi udara level permukaan yang diemisikan oleh cerobong secara signifikan dipengaruhi faktor topografi seperti pegunungan, bukit, dan lembah. Sasmita et al., (2019) juga menyatakan bahwa adanya kontur yang memiliki perbedaan elevasi (ketinggian) di lokasi penelitian dapat berpengaruh terhadap dispersi dari polutan yang diemisikan.

2.14 Validasi Uji Statistik

2.14.1 Uji *Mann Whitney*

Uji *Mann Whitney* ini biasanya juga disebut dengan *Wilcoxon rank sum test*. Uji *Mann Whitney* merupakan pilihan uji non parametrik apabila Uji Independennya tidak dapat dilakukan karena asumsi normalitasnya tidak terpenuhi. Uji *Man Whitney* tidak menguji perbedaan Mean tetapi melainkan Median antara dua kelompok. Tetapi ada beberapa ahli menyatakan bahwa Uji *Mann Whitney* ini tidak hanya menguji median tetapi juga mean. Karena dalam berbagai kasus, Median kedua kelompok bisa jadi sama, Tetapi Nilai dari P Value hasilnya. pengujian Uji *Mann Whitney* untuk membuktikan variabel mempunyai hubungan yang kuat atau tidak secara signifikan, dimana nilai Signifikansi Pengujian pada SPSS dengan menggunakan Uji *Mann Whitney* dengan pada taraf signifikansi 0,05 B. Dasar Pengambilan Keputusan pada Uji *Mann Whitney* yaitu apabila nilai p value < batas kritis 0,05 maka terdapat perbedaan bermakna antara dua kelompok atau yang berarti H1 diterima (Qolby, B. S., 2014).

Pada pengujian hipotesis nol yang menyatakan bahwa tidak ada perbedaan yang sesungguhnya antara kedua kelompok data dan dimana data tersebut diambil dari sampel yang tidak saling terkait, kita dapat melakukan pengujian *Mann-Whitney*. Pengujian ini disebut juga pengujian U, karena untuk menguji hipotesis nol, kasus dihitung angka statistik yang disebut U. Pengujian *Mann-Whitney* digunakan dalam pengujian hipotesis nol yang menyatakan bahwa tidak ada

perbedaan yang sesungguhnya antara kedua kelompok data dan dimana data tersebut diambil dari sampel yang tidak saling terkait (Sriwidadi, T. 2011).

Prosedur yang dilakukan untuk uji *Mann-Whitney*, yaitu:

- (1) menyatakan hipotesis dan taraf nyata α ;
- (2) menyusun peringkat data tanpa memperhatikan kategori sampel;
- (3) menjumlahkan peringkat menurut tiap kategori sampel dan menghitung statistik U, dengan rumus:

$$U = n_1n_2 + [n_1(n_1 + 1)/2] - R_1, \text{ atau} \quad (9)$$

$$U = n_1n_2 + [n_2(n_2 + 1)/2] - R_2; \quad (10)$$

- (4) penarikan kesimpulan statistic mengenai hipotesis nol. Jika nilai hitung U tidak \leq nilai tabel maka hipotesis 0 diterima. Jika nilai hitung U $>$ nilai tabel maka hipotesis 0 ditolak.

2.14.2 Uji T-Test

Uji T digunakan untuk membandingkan rata-rata sampel untuk dua kelompok. Jika rata-ratanya berbeda secara signifikan, maka peneliti dapat menyimpulkan bahwa rata-rata populasi juga berbeda dan menolak hipotesis nol dan mendukung hipotesis penelitiannya Sutton (2019) dalam (Putri, A. D., 2023).

a) Jenis – Jenis Uji T

Terdapat 3 jenis uji T yang dijelaskan oleh Sutton, (2019) dalam Putri, A. D. (2023) sebagai berikut:

- *Independent samples T – Test* (uji T sampel independen)

Uji t sampel independen digunakan untuk menguji perbedaan nilai rata-rata dari 2 kelompok sampel yang tidak berhubungan untuk mengetahui apakah dua sampel yang tidak berhubungan memiliki nilai rata-rata yang berbeda. Uji t sampel independen dapat berupa *One-Tailed* dan *Two-Tailed*. *One-Tailed* digunakan apabila peneliti hanya ingin melihat apakah ada perbedaan signifikan memiliki arah tertentu dalam hipotesisnya. Sedangkan *Two-Tailed* digunakan

apabila peneliti tidak memiliki arah yang spesifik untuk hipotesisnya.

- *Dependent samples T – Test* (Uji T sampel berpasangan)

Uji t sampel berpasangan digunakan untuk membandingkan rata-rata dua kelompok yang sama dalam perlakuan yang berbeda. Uji t sampel dependen biasanya disebut dengan uji *matched-pairs t test*, *paired samples t test*, *correlated groups t test*, dan *repeated-measures t test*.

- *One sample T – Test* (Uji T satu sampel)

Uji t satu sampel digunakan jika peneliti ingin mengetahui apakah rata-rata sampel berbeda secara signifikan dari beberapa nilai tertentu. Jika tes yang dipublikasikan digunakan, kita dapat memperoleh rata-rata dan standar deviasi untuk hasil tes dari penelitian yang telah dipublikasikan sebelumnya. Uji t satu sampel memberikan cara untuk mengevaluasi perbedaan yang mungkin ada dalam satu kelompok data dengan membandingkannya dengan nilai acuan atau temuan dari penelitian lain.

b) Syarat Uji T

Syarat uji T menurut Furqon (2013) dalam Putri, A. D. (2023) di antaranya:

- Skor yang dianalisis bersifat independent satu sama lain
- Skor masing – masing kelompok berdistribusi normal
- Skor kedua populasi sama besar (homogen)

2.14.3 Root Mean Square Error (RMSE)

Mengukur keakuratan model, dapat dilakukan validasi dengan metode *Root Mean Square Error* (RMSE). Metode *Root Mean Square Error* adalah metrik yang digunakan dalam evaluasi suatu model. Sesuai dengan namanya, RMSE adalah akar kuadrat dari kesalahan kuadrat rata-rata (MSE). Mengambil akar tidak memengaruhi peringkat relasi model, tetapi menghasilkan metrik dengan satuan yang sama dengan y, yang dengan mudah mewakili kesalahan standar untuk kesalahan yang didistribusikan normal (Hodson, T. O. 2022). Persamaan yang digunakan yaitu:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y - y_i)^2} \quad (11)$$

Menurut Chai dan Draxler (2014) dalam Hodson, T. O. (2022) menyatakan RMSE telah digunakan sebagai metrik statistik standar untuk mengukur kinerja model dalam studi teorologi, kualitas udara, dan iklim. RMSE (*Root Mean Square Error*) digunakan untuk mendapatkan besaran tingkat kesalahan dari hasil prediksi, dimana semakin kecil (mendekati 0) nilai RMSE maka semakin akurat nilai prediksinya (Hamdanah, F. H., & Fitriannah, D., 2021).