

TUGAS AKHIR

ANALISIS KUALITAS UDARA UNTUK PARAMETER NH₃
PADA JALAN TOL DI KOTA MAKASSAR



AFIFAH AZZAHRA ZAFANY
D131 17 1015

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2021

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KUALITAS UDARA UNTUK PARAMETER NH₃ PADA
JALAN TOL DI KOTA MAKASSAR**

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



AFIFAH AZZAHRA ZAFANY

D131 17 1015

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

2021



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
JL. POROS MALINO, KM.6 BONTOMARANNU KAB. GOWA

LEMBAR PENGESAHAN

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

Judul : **Analisis Kualitas Udara untuk Parameter Amonia (NH₃) Pada Jalan Tol di Kota Makassar**

Disusun Oleh :

Nama : Afifah Azzahra Zafany D131171015

Telah diperiksa dan disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Gowa, 13 Oktober 2021

Pembimbing I

Prof. Dr. Eng. Muh. Isran Ramli, S.T. M.T.
NIP. 197309262000121002

Pembimbing II

Nurul Masyiah Rani Harusi, S.T., M.Eng.
NIK. 199501152021074001

Menyetujui,
Ketika Departemen Teknik Lingkungan



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

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Afifah Azzahra Zafany, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“Analisis Kualitas Udara Untuk Parameter NH₃ Pada Jalan Tol Di Kota Makassar”**, adalah karya ilmiah penulisa sendiri dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

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

Gowa, 13 Oktober 2021

Yang membuat pernyataan



Afifah Azzahra Zafany

D131 17 1015

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahuwata'ala karena atas berkat rahmat dan ridhoNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir dengan judul “**Analisis Kualitas Udara Untuk Parameter NH₃ Pada Jalan Tol Makassar**”. Shalawat dan salam semoga tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW pimpinan dan sebaik-baik teladan bagi ummat yang membawa manusia dari zaman kegelapan menuju zaman yang terang benderang.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis banyak mengalami hambatan, namun berkat bantuan, bimbingan, dan kerjasama yang ikhlas dari berbagai pihak, akhirnya tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Pencapaian tugas akhir ini tidak terlepas dari jasa-jasa orang tua penulis. Ungkapan terima kasih yang tulus penulis persembahkan untuk kedua orang tua tercinta Ayahanda Zainal Hafid dan Ibunda Zulfani Anwar atas doa – doa yang senantiasa mengiringi setiap langkah dan yang telah mencurahkan segenap kasih sayang yang tak terbatas serta segala bentuk motivasi yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan sampai di tingkat perguruan tinggi. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya juga penulis ucapkan kepada saudaraku Muh. Zalfan Al Aqillah. Terima kasih atas dukungan, motivasi dan kesabaran dalam menghadapi penulis, serta untuk seluruh keluarga besarku yang telah memberikan support dan doa demi kelancaran penelitian ini.

Dalam proses penyusunan hingga terselesaikannya tugas akhir ini, penulis sangat terbantu oleh banyak pihak, karenanya penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu M.A selaku Rektor Unniversitas Hasanuddin.
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Prof. Baharuddin Hamzah, ST.,M.Arch.,Ph.D. selaku Wakil Dekan dan Pembantu Dekan I Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

4. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
5. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., M.T selaku Dosen Pembimbing I dan Ibu Nurul Masyiah Rani, ST., M.Eng selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan dan bimbingan, meluangkan waktu di tengah kesibukannya selama penulis melaksanakan penyusunan tugas akhir ini, dan juga selalu memberikan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan penyusunan tugas akhir.
6. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Departemen Teknik Lingkungan atas bimbingan, arahan, didikan, dan motivasi yang telah diberikan selama kurang lebih empat tahun.
7. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya selama penulis menempuh perkuliahan terutama kepada staf S1 Teknik Lingkungan Ibu Sumiati dan Kak Olan.
8. Pak Syarif selaku Laboran Laboratorium Kualitas Air yang telah mengizinkan dan membantu penulis dalam proses pembuatan larutan.
9. Aulia Rizqi selaku partner dalam segala hal yang selalu bersedia mendengar, membantu serta mendukung segala masalah baik semasa perkuliahan, KKN, Kerja Praktik hingga penyelesaian skripsi yang juga judulnya setema.
10. Anisah Pratiwi selaku teman seperjuangan skripsi yang selalu sabar menemani proses pengambilan data di tengah teriknya matahari, beratnya mengangkat dan menyalakan genset, nikmatnya buka puasa bersama di pinggir Jalan Tol hingga menjadi teman seperboncengan dalam menghadapi suka duka penyusunan skripsi ini.
11. Rifqi Wardana Nasruddin yang telah memberikan semangat, dukungan dan bersedia menjadi *support system* dalam penyusunan skripsi ini ditengah sibuknya hiruk pikuk perkoasan.
12. Indah Nur Sakinah selaku teman yang memiliki sikap antusias dan bersemangat dalam mengerjakan skripsi hingga pukul 03.00 WITA sehingga memotivasi saya untuk semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.

13. Irsyaad Caesar Ramadhan selaku koordinator lab air yang selalu bersedia meluangkan waktu untuk membantu serta mendampingi dari persiapan pembuatan larutan hingga kepada penyusunan skripsi.
14. Andi Indah Fitria selaku koordinator serta teman-teman asisten laboratorium Kualitas Udara dan Bising yang telah memberikan masukan selama proses penyusunan skripsi ini.
15. Dinah Khairia, Imamul Khair Has, Fitriani serta teman sekontrakan lainnya yang selalu menyemangati dalam penyusunan skripsi.
16. Kak Dinda yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk membantu serta menjawab semua pertanyaan terkait penggunaan AERMOD.
17. Teman-teman Lab. Riset Kualitas Udara dan Bising 2017 dengan hiburan, dukungan serta semangat yang diberikan kepada penulis.
18. Teman-teman Teknik Lingkungan 2017 dan PLASTIS 2018 atas segala bantuan, cerita, dan kenangan selama masa perkuliahan.
19. Dan kepada rekan, sahabat, saudara dan berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, penulis ucapkan banyak terimakasih atas setiap bantuan dan doa yang diberikan.

Semoga Allah SWT membalaskan kebaikan kepada kalian semua. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Namun, penulis berharap tugas akhir ini memberikan manfaat bagi pembaca. Akhir kata semoga tugas akhir ini memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Gowa, 21 Juli 2021
Penulis,

Afifah Azzahra Zafany
D131 17 1015

ABSTRAK

AFIFAH AZZAHRA ZAFANY. *Analisis Kualitas Udara untuk Parameter NH₃ pada Jalan Tol di Kota Makassar* (dibimbing oleh Muhammad Isran Ramli dan Nurul Masyiah Rani)

Jalan Tol menjadi jalan alternatif yang umum di gunakan di daerah perkotaan untuk menghindari kemacetan pada jalan arteri akibat peningkatan jumlah kendaraan pada jam puncak seperti pada pagi dan sore hari. Dengan adanya Tol Layang sebagai ikon baru di Kota Makassar semakin meningkatkan minat masyarakat untuk memilih melintas di Jalan Tol. Keadaan ini menyebabkan perubahan volume kendaraan yang pada jumlah emisi kendaraan yang melintas sepanjang jalan tol. Amonia (NH₃) merupakan senyawa yang juga dihasilkan oleh emisi kendaraan selain CO, Nox, SOx maupun senyawa lain, namun hal ini belum banyak di teliti karena pada umumnya NH₃ banyak di hasilkan dari proses biologis di tanah serta pengolahan limbah pabrik. NH₃ menjadi penting untuk diketahui jumlahnya pada udara ambien karena ketika amonia memasuki atmosfer dan bergabung dengan polutan utama maka akan membentuk PM 2,5 yang jika terhirup kedalam paru-paru akan meingkatkan risiko penyakit pada saluran pernapasan bagian bawah.

Penelitian dilakukan di 9 titik pada Jalan Tol Makassar diantaranya 3 titik pada Jalan Tol Reformasi dan 6 titik di Jalan Tol Ir. Sutami. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis tingkat konsentrasi NH₃ di udara ambien berdasarkan pengukuran langsung menggunakan impinger sesuai SNI 19-7119.1-2005 serta menganalisis pola sebaran polutan menggunakan *software* AERMOD.

Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi polutan NH₃ pada Jalan Tol Makassar berkisar antara 2.84 µg/Nm³ – 8.09 µg/Nm³. Sedangkan hasil pemodelan dispersi NH₃ menunjukkan konsentrasi diantara 1.55 µg/Nm³ – 13.3 µg/Nm³. Tingkat konsentrasi Amonia (NH₃) tersebut masih berada dibawah nilai ambang batas yang di persyaratkan *National Ambient Air Quality Standards* yaitu 400 µg/Nm³

Keywords : Amonia, Jalan Tol, *Air Sampling Impinger*, AERMOD

ABSTRACT

AFIFAH AZZAHRA ZAFANY. *Air Quality Analysis for Ammonia (NH₃) Parameters on Toll Roads in Makassar (supervised by Muhammad Isran Ramli and Nurul Masyiah Rani).*

Toll roads are alternative roads that are commonly used in urban areas to avoid congestion on local roads due to the increase in the number of vehicles during peak hours such as in the morning and evening. The existence of the Elevated Toll Road as a new icon in Makassar City has further increased the public's desire to choose to cross the Toll Road. This situation causes changes in the volume of vehicles which are in the number of vehicle emissions that pass along the toll road. Ammonia (NH₃) is a compound produced by vehicle emissions, but this has not been studied much because in general NH₃ is produced from biological processes in the soil and processing factory waste. NH₃ is important to know the amount in ambient air because when ammonia enters the atmosphere and combines with the main pollutant it will form PM 2.5 which if inhaled into the lungs will increase the risk of disease in the lower respiratory tract.

The research was conducted at 9 points on the Makassar Toll Road including 3 points in Jalan Tol Reformasi and 6 points in Jalan Tol Ir. Sutami. The purpose of this study was to analyze the level of NH₃ concentration in ambient air based on direct measurements using an impinger according to SNI 19-7119.1-2005 and to analyze the distribution pattern of pollutants using AERMOD software.

The results showed that the concentration of NH₃ pollutants on the Makassar Toll Road ranged from 5.99 g/Nm³ – 17.07 g/Nm³. While the results of NH₃ dispersion modeling showed concentrations between 1.55 g/Nm³ – 13.3 g/Nm³. The concentration level of Ammonia (NH₃) is still below the threshold value required by the National Ambient Air Quality Standards, which is 400 g/Nm³

Keywords : Ammonia, Toll Roads, Air Sampling Impinger, AERMOD

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Ruang Lingkup.....	3
E. Manfaat Penelitian	4
F. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Pencemaran Udara	6
B. Amonia (NH ₃).....	7
C. Emisi Kendaraan Bermotor.....	16
D. Dispersi Polutan	19
E. Jalan Tol.....	20
F. AERMET	21
G. AERMOD	21
H. Uji-T Independent Sampel Test	23
BAB III	25
METODE PENELITIAN	25

A. Rancangan Penelitian	25
B. Waktu Penelitian	27
C. Gambaran Lokasi	27
D. Peralatan Yang Digunakan.....	29
E. Metode Persiapan Pengambilan Data.....	37
F. Metode Pengambilan Data	41
G. Metode Pengolahan Data	42
H. Analisis Data	54
BAB IV	55
HASIL DAN PEMBAHASAN	55
A. Volume Lalu Lintas.....	55
B. Nilai Beban Emisi	58
C. Pengukuran Kualitas Udara.....	61
D. Hasil Pemodelan AERMOD	63
E. Uji-T Independent Sample Test	89
BAB V.....	92
PENUTUP.....	92
A. Kesimpulan	92
B. Saran	92
DAFTAR PUSTAKA	93

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Dampak paparan terhadap manusia	11
Tabel 2. Rentang perkiraan konsentrasi kritis untuk paparan vegetasi	13
Tabel 3. Baku mutu udara ambien amonia (NH ₃)	15
Tabel 4. Nilai Faktor Emisi untuk Parameter NH ₃	18
Tabel 5. Waktu Penelitian	27
Tabel 6. Lokasi Titik Pengukuran	29
Tabel 7. Besaran Emisi NH ₃ Jalan Tol Makassar	59
Tabel 8. Pengukuran Kualitas Udara NH ₃ Jalan Tol Makassar	61
Tabel 9. Rekapitulasi Hasil Pemodelan AERMOD	88
Tabel 10. Konsentrasi Udara Ambien dan Hasil Pemodelan NH ₃	90
Tabel 11. Independent Samples T-Test Hasil Konsentrasi	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Prediksi sebaran emisi NH ₃ secara global pada 2010-2100.....	8
Gambar 2. Proses terbentuknya PM 2.5 di atmosfer	10
Gambar 3. Bagan Alir Penelitian.....	26
Gambar 4. Peta Lokasi Titik Pengamatan Jalan Tol Reformasi.....	28
Gambar 5. Peta Lokasi Titik Pengamatan Jalan Tol Insinyur Sutami.....	28
Gambar 6. Alat Laboratorium	30
Gambar 7. Perangkat Pengambilan Data.....	32
Gambar 8. Aplikasi Google Earth	33
Gambar 9. Interface Software WRPLOT View.....	34
Gambar 10. Flowchart Pengolahan Data Angin Pada WRPLOT.....	34
Gambar 11. Interface Software AERMED View	35
Gambar 12. Interface Software AERMED View	36
Gambar 13. Flowchat Pembuatan Larutan Penjerap	37
Gambar 14. Flowchat Pembuatan Larutan Uji	38
Gambar 15. Flowchat Pembuatan Kurva Kalibrasi	40
Gambar 16. Flowchart Pengolahan Data Secara Umum	43
Gambar 17. Flowchart Pengolahan Data Angin pada WRPLOT View	45
Gambar 18. Flowchart Pengolahan Data pada AERMED View	48
Gambar 19. Flowchart Pengolahan Data pada AERMOD View	51
Gambar 20. Volume Lalu Lintas di Jln Tol Reformasi	55
Gambar 21. Volume Lalu Lintas Jalan Tol Ir. Sutami	56
Gambar 22. Volume Lalu Lintas Jalan Tol Makassar	57
Gambar 23. Besaran Emisi Jalan Tol Makassar	59
Gambar 24. Persentase Kontribusi Emisi NH ₃ di Jalan Tol Makassar	60
Gambar 25. Konsentrasi NH ₃ di Jalan Tol Makassar	62
Gambar 26. Isopleth NH ₃ dan Windrose Plot 1 Jam Titik Pengukuran 1	63
Gambar 27. Grafik Hubungan Konsentrasi dan Jarak Berdasarkan Isopleth Dispersi 1 Jam	64
Gambar 28. Isopleth NH ₃ dan Windrose Plot 24 Jam Titik Pengukuran 1	65
Gambar 29. Grafik Hubungan Konsentrasi dan Jarak Berdasarkan Isopleth Dispersi 24 Jam	65
Gambar 30. Isopleth NH ₃ dan Windrose Plot 1 Jam Titik Pengukuran 2	66
Gambar 31. Grafik Hubungan Konsentrasi dan Jarak Berdasarkan Isopleth Dispersi 1 Jam	67
Gambar 32. Isopleth NH ₃ dan Windrose Plot 24 Jam Titik Pengukuran 2	67
Gambar 33. Grafik Hubungan Konsentrasi dan Jarak Berdasarkan Isopleth Dispersi 24 Jam	68
Gambar 34. Isopleth NH ₃ dan Windrose Plot 1 Jam Titik Pengukuran 3	69

Gambar 35. Grafik Hubungan Konsentrasi da Jarak Berdasarkan Isopleth Dispersi 1 Jam	69
Gambar 36. Isopleth NH ₃ dan Windrose Plot 24 Jam Titik Pengukuran 3	70
Gambar 37. Grafik Hubungan Konsentrasi da Jarak Berdasarkan Isopleth Dispersi 24 Jam	71
Gambar 38. Isopleth NH ₃ dan Windrose Plot 1 Jam Titik Pengukuran 3	71
Gambar 39. Grafik Hubungan Konsentrasi da Jarak Berdasarkan Isopleth Dispersi 1 Jam	72
Gambar 40. Isopleth NH ₃ dan Windrose Plot 24 Jam	73
Gambar 41. Grafik Hubungan Konsentrasi da Jarak Berdasarkan Isopleth Dispersi 24 Jam	73
Gambar 42. Isopleth NH ₃ dan Windrose Plot 24 Jam	74
Gambar 43. Grafik Hubungan Konsentrasi da Jarak Berdasarkan Isopleth Dispersi 1 Jam	75
Gambar 44. Isopleth NH ₃ dan Windrose Plot 24 Jam Titik Pengukuran 5	75
Gambar 45. Grafik Hubungan Konsentrasi da Jarak Berdasarkan Isopleth Dispersi 24 Jam	76
Gambar 46. Isopleth NH ₃ dan Windrose Plot 1 Jam Titik Pengukuran 6	77
Gambar 47. Grafik Hubungan Konsentrasi dan Jarak Berdasarkan Isopleth Dispersi 1 Jam	77
Gambar 48. Isopleth NH ₃ dan Windrose Plot 24 Jam Titik Pengukuran 6	78
Gambar 49. Grafik Hubungan Konsentrasi da Jarak Berdasarkan Isopleth Dispersi 24 Jam	79
Gambar 50. Isopleth NH ₃ dan Windrose Plot 1 Jam Titik Pengukuran 7	79
Gambar 51. Grafik Hubungan Konsentrasi da Jarak Berdasarkan Isopleth Dispersi 1 Jam	80
Gambar 52. Isopleth NH ₃ dan Windrose Plot 24 Jam Titik Pengukuran 7	81
Gambar 53. Grafik Hubungan Konsentrasi dan Jarak Berdasarkan Isopleth Dispersi 24 Jam	81
Gambar 54. Isopleth NH ₃ dan Windrose Plot 1 Jam Titik Pengukuran 8	82
Gambar 55. Grafik Hubungan Konsentrasi dan Jarak Berdasarkan Isopleth Dispersi 1 Jam	83
Gambar 56. Isopleth NH ₃ dan Windrose Plot 24 Jam Titik Pengukuran 8	83
Gambar 57. Grafik Hubungan Konsentrasi da Jarak Berdasarkan Isopleth Dispersi 1 Jam	84
Gambar 58. Isopleth NH ₃ dan Windrose Plot 1 Jam Titik Pengukuran 9	85
Gambar 59. Grafik Hubungan Konsentrasi da Jarak Berdasarkan Isopleth Dispersi 1 Jam	85
Gambar 60. Isopleth NH ₃ dan Windrose Plot 24 Jam Titik Pengukuran 9	86

Gambar 61. Grafik Hubungan Konsentrasi da Jarak Berdasarkan Isopleth Dispersi 24 Jam	87
Gambar 62. Konsentrasi Maksimum NH ₃ berdasarkan Dispersi Tiap Jam	88

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Layout Titik Pengambilan Data

Lampiran 2. Data Meteorologi

Lampiran 3. Pengolahan WRPLOT View

Lampiran 4. Pengolahan AERMET View

Lampiran 5. Pengolahan AERMOD View

Lampiran 6. Tabel Perhitungan Konsentrasi NH_3 Udara Ambien

Lampiran 7. Kurva Kalibrasi

Lampiran 8. Tabel Perhitungan Emisi Kendaraan Bermotor

Lampiran 9. Dokumentasi Kegiatan

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kualitas udara merupakan parameter daya dukung lingkungan bagi kelangsungan hidup masyarakat. Perwujudan kualitas udara yang tidak sehat cenderung terjadi di kawasan perkotaan dengan mobilitas sektor transportasi yang meningkat. Hal tersebut menjadi sumber dari pencemaran udara, akibatnya udara yang terhirup telah bercampur dengan senyawa hasil samping kendaraan bermotor. Senyawa dominan yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor ialah Karbon Monoksida (CO) namun terdapat senyawa lain yang terbentuk akibat emisi yang dihasilkan oleh gas buangan kendaraan bermotor seperti Amonia (NH₃) (Idriss, 2013). Umumnya sumber utama NH₃ adalah proses biologis di tanah serta pengelolaan limbah pabrik untuk itu penelitian terdahulu banyak dilakukan pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) dan Industri namun NH₃ dapat menjadi polutan yang berasal dari konverter katalitik kendaraan bermotor sehingga penting untuk diketahui kadarnya. Ketika amonia memasuki atmosfer dan bergabung dengan polutan udara terutama nitrogen dan senyawa oksida sulfur dari kendaraan, pembangkit listrik, dan pabrik terdekat, maka akan membentuk PM 2.5 yang dapat terhirup sehingga dapat menembus lebih dalam ke paru-paru, meningkatkan risiko penyakit pada saluran pernapasan bagian bawah. Hal ini menunjukkan bahwa emisi NH₃ dari kendaraan menghasilkan konsentrasi yang besar, oleh karena itu lalu lintas jalan perlu menjadi sasaran penting sebagai sumber NH₃ di lingkungan perkotaan (Bauer 2018).

Makassar sebagai kota metropolitan menunjukkan peningkatan jumlah kendaraan mencapai 5,3% dari tahun sebelumnya (BPS, 2019). Peningkatan ini berdampak pada kemacetan akibat tingginya volume kendaraan lalu lintas pada jalan raya. Pada semester I tahun 2017, totalnya sudah 1,46 juta unit dimana hal ini tidak sebanding dengan pertumbuhan infrastruktur jalan (Said, 2019). Dengan

volume kendaraan pada kategori roda dua sebesar 1.156.759 unit, untuk jenis kendaraan mobil penumpang sebesar 213.985 unit dan jenis kendaraan niaga sebesar 74.603 unit (BPS Kota Makassar, 2018). Peningkatan jumlah kendaraan diperparah dengan banyaknya kendaraan yang berasal dari daerah menuju Kota Makassar sebagai pusat aktivitas di Sulawesi Selatan dan sering kali mengakibatkan kemacetan terlebih pada keadaan *peak hour* atau jam sibuk seperti pagi dan sore hari. Oleh karena itu, pengendara kerap kali menghindari kemacetan dengan mencari jalan alternatif. Salah satu jalan alternatif yang umum di daerah perkotaan adalah jalan tol.

Untuk jalan tol di Kota Makassar terdiri atas 2 jalan, diantaranya Tol Reformasi dan Tol Ir. Sutami dan saat ini telah bertambah Tol Layang AP Pettarani. Menurut Biro Komunikasi Publik Kementerian PUPR (2021) saat ini, tol layang menjadi ciri baru untuk Kota Makassar dengan fungsi sebagai sarana untuk menghubungkan pusat perkantoran, industri serta perekonomian menuju Bandara Sultan Hasanuddin serta Pelabuhan Soekarno Hatta dan area disekitarnya. Kawasan Panakukkan dan Rapoccini menjadi ruas jalan arteri yang sering mengalami kemacetan sehingga Tol Layang menjadi solusi untuk mengatasi hal tersebut. Hal ini berdampak pada peningkatan minat berkendara di Jalan Tol Layang sehingga volume kendaraan yang melintas pada ruas Jalan Tol Reformasi dan Tol Ir. Sutami semakin bertambah. Berdasarkan hal tersebut maka Jalan Tol dipilih sebagai lokasi pengukuran untuk mengetahui adanya peningkatan volume kendaraan akibat pengaruh keberadaan Tol Layang AP Pettarani. Selain itu, pada jalan tol Kota Makassar terdapat ruas bukaan jalan yang memberikan akses bagi pengguna jalan untuk dapat keluar atau masuk ke jalan tol yang tersebar di beberapa titik sepanjang tol. Keadaan ini menyebabkan perubahan volume kendaraan yang berakibat pada perubahan jumlah emisi dari kendaraan yang melintas sepanjang tol. Dengan demikian penulis ingin melakukan penelitian yang judul “**Analisis Tingkat Konsentrasi Parameter NH₃ pada Jalan Tol Makassar**”.

B. Rumusan Masalah

Dari latar belakang maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan diantaranya:

- 1) Berapa nilai beban emisi Amonia (NH_3) yang bersumber dari kendaraan bermotor pada Jalan Tol di Kota Makassar
- 2) Bagaimana tingkat konsentrasi Amonia (NH_3) menggunakan impinger di Jalan Tol Kota Makassar
- 3) Bagaimana pola sebaran tingkat Amonia (NH_3) menggunakan pemodelan aplikasi AERMOD

C. Tujuan Penelitian

Tujuan yang dapat diperoleh diantaranya:

- 1) Mengetahui beban emisi Amonia (NH_3) yang bersumber dari kendaraan bermotor pada Jalan Tol di Kota Makassar.
- 2) Mengetahui tingkat konsentrasi Amonia (NH_3) menggunakan impinger di Jalan Tol Kota Makassar
- 3) Mengetahui pola sebaran konsentrasi Amonia (NH_3) akibat emisi gas buang kendaraan bermotor menggunakan aplikasi AERMOD

D. Ruang Lingkup

Ruang lingkup yang ada pada penelitian ini diantaranya :

- 1) Parameter pencemar yang digunakan dalam pemantauan adalah Amonia (NH_3)
- 2) Penelitian berlokasi pada Jalan Tol Kota Makassar yang terdiri atas Jalan Tol Reformasi dan Jalan Tol Ir. Sutami.
- 3) Penelitian ini dilakukan selama 9 hari yaitu 27 April – 5 Mei, selama 1 jam pada interval sore yaitu diantara pukul 16.00 – 18.00 WITA

- 4) Volume kendaraan diestimasikan berubah di setiap bukaan jalan utama lokasi pengukuran (volume kendaraan yang masuk atau keluar melalui bukaan jalan tol berbeda).

E. Manfaat Penelitian

Dari penelitian berikut, dapat diperoleh manfaat sebagai berikut

- 1) Manfaat untuk penulis adalah sebagai esensi dalam penyelesaian studi di perguruan tinggi khususnya Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan mendapatkan gelar S.T (Sarjana Teknik).
- 2) Manfaat untuk Universitas adalah menjadi penambah ilmu pengetahuan bagi generasi berikutnya yang berada di Departemen Teknik Lingkungan terkhusus di bidang Kualitas Udara serta di bidang serupa yang kaitannya mengenai pencemaran udara.
- 3) Manfaat untuk masyarakat adalah memberikan pengetahuan bagi masyarakat yang tinggal atau beraktivitas di sekitar Jalan Tol Kota Makassar mengenai tingkat konsentrasi Amonia (NH_3) dan dampak yang ditimbulkan.

F. Sistematika Penulisan

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

BAB 1 PENDAHULUAN

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

tujuan dari penelitian yang dilakukan, batasan masalah yang digunakan serta bagaimana manfaat yang akan diberikan kepada penulis, universitas dan kepada masyarakat dengan adanya penelitian ini.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

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

BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

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

BAB 5 PENUTUP

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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pencemaran Udara

Pencemaran udara terjadi apabila suatu bahan baik dalam bentuk fisik maupun kimia masuk kedalam lingkungan yang terdiri atas udara normal sehingga konsentrasi udara tersebut terganggu dan mencapai jumlah tertentu, serta dapat diketahui dan diukur kadarnya dan mengakibatkan dampak negatif terhadap manusia, hewan, vegetasi dan material (Mukono, 2008). Untuk itu, ditetapkan ukuran atau batas suatu bahan, substrat atau komponen yang di tenggang keberadaannya pada udara ambien yang biasa disebut dengan baku mutu udara ambien.

Polusi udara menjadi risiko lingkungan yang utama bagi kesehatan manusia, diperkirakan menyebabkan kematian dini pada 2 juta orang secara global dalam hitungan tahun. Paparan polutan udara sebagian besar diluar kendali individu dan membutuhkan tindakan oleh badan pemerintah dan otoritas publik di tingkat nasional, regional bahkan tingkat internasional (Gurjar, 2010). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 Tahun 1999 mengenai Pengendalian Pencemaran Udara menggolongkan asal pencemaran udara dalam beberapa jenis, diantaranya adalah sumber yang berasal dari kendaraan bermotor, biasa disebut sebagai sumber bergerak, terdapat pula sumber bergerak yang spesifik dimana sumber ini mirip seperti sumber bergerak tetapi titik sumbernya berasal dari transportasi itu sendiri, adapula sumber diam dimana sumber ini hanya berasal dari 1 tempat biasanya terjadi pada industri maupun perusahaan proses produksi, kemudian terdapat sumber tidak bergerak spesifik biasanya berasal dari proses kebakaran suatu kawasan hutan dan yang terakhir adalah sumber gangguan umumnya berupa gangguan akibat kebisingan yang menyebar melalui media udara

B. Amonia (NH₃)

Berdasarkan *National Center for Biotechnology Information* (2021) Amonia merupakan senyawa anorganik yang tersusun atas satu atom nitrogen dan terikat dengan jenis ikatan kovalen dengan tiga atom hidrogen dan ditandai sebagai gas tidak berwarna dengan bau menyengat serta pemaparannya yang terjadi melalui saluran pernapasan, dikonsumsi atau terkontak langsung. Gas amonia umumnya dianggap tidak mudah terbakar namun dalam batas konsentrasi uap tertentu gas ini menjadi mudah terbakar terlebih jika ada minyak atau bahan mudah terbakar lainnya.

Menurut Idriss (2004) amonia (NH₃) menjadi gas alkali yang sangat reaktif dan dapat bereaksi cepat dengan polutan lainnya dan membentuk partikulat halus yang berdampak kepada penyakit pernapasan manusia. Selain itu, gas amonia yang terbentuk di atmosfer dapat terendap ke dalam ekosistem dan merusak beberapa habitat yang sensitif (Sutton M, 2018).

1. Sumber Amonia (NH₃)

a. Sumber Alami

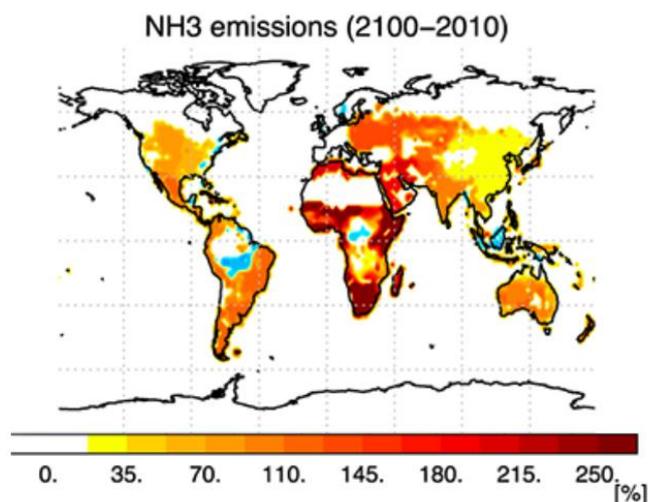
Pada skala global, lebih dari 99% amonia yang ada di atmosfer adalah hasil dari proses alami (Idriss, 2004). Proses alami ini terutama terdiri dari degradasi biogenik bahan organik, seperti tumbuhan dan hewan serta kimia dan mikroba degradasi kotoran hewan, khususnya urin. Dalam degradasi biologis organik zat, amonia diproduksi ketika protein dan asam nukleat terdegradasi untuk membentuk asam amino, purin dan pirimidin. Degradasi kimiawi atau mikroba dari urin hewan menyebabkan hidrolisis urea dan kemudian menjadi penguapan amonia (Krupa, 2004).

b. Sumber Antropogenik

Seperti yang dinyatakan sebelumnya, sebagian besar amonia yang terjadi di atmosfer diproduksi secara alami namun beberapa sumber antropogenik meliputi sumber industri sumber pembakaran bahan bakar non-industri,

transportasi, dan insinerasi. lain-lain sumber antropogenik termasuk pertanian, peternakan, pestisida dan pupuk aplikasi, merokok dan pembakaran lainnya.

Menurut Bauer (2018) Amonia meningkat mencapai 2 kali lipat dari yang awalnya 23 naik menjadi 60 teragram pertahun dalam 70 tahun. Para peneliti di Eropa, Erisman dan Schaap (2004) mengatakan peningkatan tersebut sebagian besar disebabkan oleh emisi amonia dari pertanian, sehingga umumnya amonia di hasilkan dari proses pertanian. Kemampuan untuk bercocok tanam bergantung pada nitrogen, yang merupakan nutrisi penting bagi tanaman. Tapi jika berlebihan, nitrogen bisa menimbulkan masalah. Nitrogen dalam kotoran hewan dan kelebihan pupuk dapat berubah menjadi gas amonia. Faktanya, di AS dan Kanada, pertanian menyumbang lebih dari 3/4 dari seluruh emisi amonia. Pada tahun 2015, sekelompok ilmuwan yang dipimpin oleh Jos Lelieveld, peneliti di Max Planck Institute for Chemistry di Jerman menunjukkan bahwa emisi pertanian merupakan penyumbang terbesar PM 2,5 di Eropa, Jepang, Korea, Rusia, Turki, dan AS bagian timur. dan penyebab utama kematian akibat polusi udara di Jerman, Jepang, Rusia, Turki, dan Ukraina. Mereka memperkirakan dalam skala global bahwa seperlima dari kematian terkait PM 2.5 dapat dihindari dengan menghilangkan emisi udara pertanian. Adapun prediksi sebaran emisi NH₃ yang menjadi penyumbang PM 2,5 dapat dilihat pada gambar berikut (Bauer, 2018).



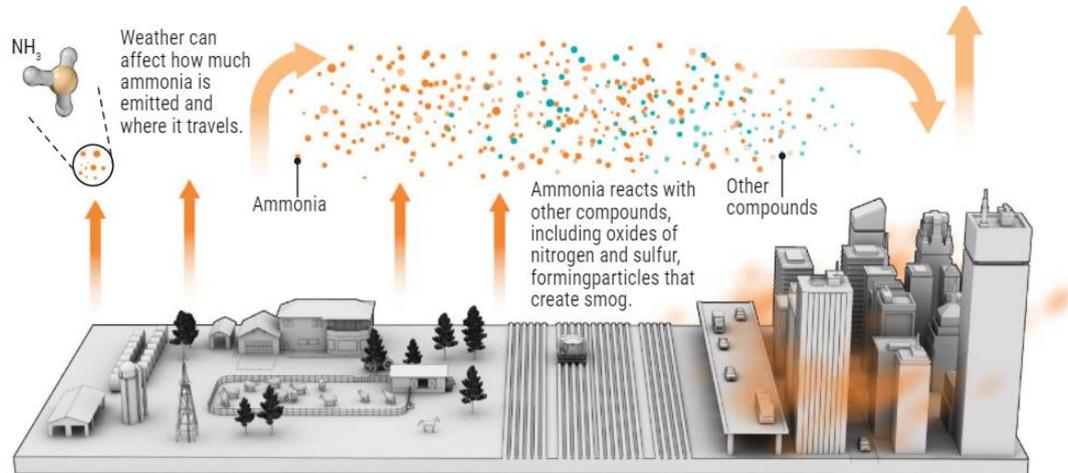
Gambar 1. Prediksi sebaran emisi NH₃ secara global pada 2010-2100
Sumber: Bauer (2018)

Walaupun pertanian menjadi sumber utama dari penyebaran emisi NH₃ namun terdapat sumber lain yang berkontribusi dalam peningkatan jumlah emisi amonia salah satunya adalah kendaraan bermotor (Bauer, 2018). Para peneliti dari enam universitas dan beberapa lembaga negara bagian dan federal melakukan pengamatan untuk lebih memahami susunan kimia dari sumber pencemaran yang terjadi di musim dingin dan ditemukan tingkat amonia murni sedangkan pertanian tidak aktif bila musim dingin tiba. Sehingga peneliti melakukan pengamatan yang berlokasi dari 3 lembah utama yaitu *Salt Lake*, *Cache* dan *Utah*. Ditemukan bahwa mobil di daerah perkotaan menghasilkan amonia sebagai produk sampingan dari konverter katalitik pembersih emisi, sumber ini mengeluarkan amonia dua kali lebih banyak dari yang diasumsikan (Plautz, 2018).

Penelitian mengenai analisis udara ambien untuk parameter amonia yang bersumber dari emisi kendaraan belum banyak dilakukan di Indonesia namun telah dilakukan penelitian di Serpong pada tahun (2020) mengenai analisis udara ambien di Kawasan Susiptek Kota Serpong, ditemukan konsentrasi udara ambien untuk konsentrasi Amonia (NH₃) sebesar 0.76 - 1.76 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (Sodikin, 2020). India sebagai satu satunya negara berkembang yang telah mengatur ambang batas konsentrasi ammonia juga telah melakukan penelitian disejumlah kota pada tahun (2010), diantaranya adalah Kanpur dan Coloneldanj sebesar 17.1 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dan 27.5 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (Behera, 2010). Sedangkan untuk Kota Beijing, terhitung konsentrasi NH₃ pada tahun 2007 sebesar 7.21 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dan naik sebesar 10.2 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ pada tahun 2010 (Meng Z, 2011). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Chao (2010) Emisi amonia terbesar bersumber dari sektor pertanian yaitu penggunaan pupuk. Namun untuk daerah perkotaan (urban) sumber amonia berasal dari aktivitas lalu lintas yaitu kendaraan bermotor. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Phan (2013) menyimpulkan bahwa terdapat hubungan antara kepadatan lalu lintas dengan peningkatan emisi amonia di atmosfer.

Ketika amonia memasuki atmosfer dan bergabung dengan polutan udara terutama nitrogen dan senyawa oksida sulfur dari kendaraan, pembangkit listrik,

dan pabrik terdekat, maka akan membentuk PM 2.5, yang dapat menempuh jarak jauh di atmosfer.



Gambar 2. Proses terbentuknya PM 2.5 di atmosfer
Sumber: Bauer (2018)

2. Dampak Amonia (NH_3)

a. Manusia

Amonia merupakan gas yang mudah menguap dan sangat larut dalam air. Rute utama amonia masuk kedalam tubuh adalah melalui inhalasi. Amonia senyawa berbasis nitrogen adalah salah satu bahan kimia tersebut. Partikulat kecil ini dapat masuk ke paru-paru dan bahkan memasuki aliran darah. Pada orang yang sangat tua dan orang dengan penyakit mendasar seperti asma dan penyakit jantung, dapat memperburuk masalah jantung dan pernapasan bahkan dapat mengakibatkan kematian (Konkel, 2018).

Dampak mengenai gangguan pernapasan dari Amonia dibuktikan melalui sebuah studi yang dilakukan di U.S *Department of Health and Human Services* (2004) dengan memberikan paparan amonia pada konsentrasi <500 ppm (348 mg/m^3) pada manusia. Studi paparan manusia menunjukkan bahwa setelah jangka pendek paparan inhalasi amonia 500 ppm (348 mg/m^3), sekitar 80% dari yang terhirup, amonia larut dan terserap di lapisan mukosa saluran pernapasan bagian atas. Paparan akut terhadap konsentrasi amonia yang tinggi <500 ppm atau 348 mg/m^3 mampu merusak sistem pernapasan bagian atas yang berakibat buruk pada bagian distal paru-paru sehingga termasuk penyakit pernapasan

kronis. Efek akut dari inhalasi amonia meliputi iritasi mulut, hidung dan mata, iritasi saluran pernapasan dan peningkatan kedalaman pernapasan. Penyerapan amonia tidak signifikan masuk kedalam aliran darah sehingga tidak ditemukan adanya dampak buruk amonia terhadap jaringan tubuh lainnya.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (1990) menyebutkan dosis amonia mematikan adalah 5000 ppm (3483 mg/m³) selama 30 menit. Kematian akibat inhalasi amonia akut biasanya disebabkan oleh edema laring yang parah dan obstruksi, edema paru atau komplikasi pneumonia yang luas. Berikut ringkasan dampak paparan amonia pada manusia dapat dilihat pada tabel.

Tabel 1. Dampak paparan terhadap manusia

Dampak	Paparan	Konsentrasi (ppm (mg/m³))
Kematian	30 menit	5.000 (3483)
Iritasi hidung dan tenggorokan	1 hari 30 menit	100 (70)
Tidak menyebabkan efek samping	1 hari 2 jam/hari	50 (35)
Batuk, iritasi mata, hidung dan tenggorokan	1 hari 2 jam/hari	80 (56)
Iritasi sementara pada mata, hidung dan tenggorokan serta respon inflamasi dan pernapasan akut	2 hari 5 jam/hari	14,5 (10,1)

Sumber: Krupa Sagar (2004)

Gas amonia biasanya diserap oleh selaput lendir saluran udara bagian atas di udara ambien, namun, setelah teradsorpsi ke debu yang dapat terhirup, amonia dapat menembus lebih dalam ke dalam paru-paru, meningkatkan risiko penyakit pada saluran pernapasan bagian bawah

b. Hewan

Studi penelitian mengenai dampak amonia terhadap hewan juga dilakukan pada tikus yang melibatkan paparan lebih tinggi yaitu 1.157 ppm (806 mg/m³).

Sama halnya terhadap manusia, hasil menunjukkan bahwa terjadi iritasi pada saluran pernapasan atas dan penurunan berat badan jika paparan berlangsung 1 minggu untuk konsentrasi 500 ppm (348 mg/m^3) Efek kesehatan akut pada hewan melalui inhalasi amonia jangka pendek diantaranya iritasi mulut, hidung dan mata, iritasi saluran pernapasan, penurunan laju pernapasan, penurunan berat badan dan kelesuan. Selain itu, kadar amonia dalam darah meningkat secara signifikan setelah terpapar 310 ppm (216 mg/m^3) hingga 1.157 ppm (806 mg/m^3). Ketika paparan dilanjutkan selama 12 jam, kadar darah kembali normal (U.S Department of Health and Human Services, 2004).

Konsentrasi udara mematikan untuk amonia bervariasi sesuai dengan spesies yang dievaluasi. Untuk amonia berkisar hingga 16.600 ppm (11.562 mg/m^3) untuk tikus, 10.050 ppm (7000 mg/m^3) untuk kelinci dan kucing. Durasi pemaparan juga mempengaruhi kematian (U.S Department of Health and Human Services, 2004).

c. Vegetasi

Menurut Krupa (2002) amonia dapat mempengaruhi vegetasi dengan mempengaruhi siklus nitrogen dalam ekosistem, hal ini juga bergantung pada sensitivitas vegetasi. NH_3 di atmosfer memasuki daun tumbuhan tingkat tinggi hampir secara umum melalui stomata dan dilarutkan dalam film air dari sel-sel mesofil untuk membentuk NH_4 . Kekuatan pendorong untuk menyerap NH_3 adalah gradien konsentrasi antara udara ambien dan jaringan mesofil. Selama konsentrasi NH_3 ambien melebihi konsentrasi mesofil maka penyerapan NH_3 akan terjadi. Karena NH_3 tidak dapat disimpan dalam jaringan yang tidak memiliki kerusakan, tanaman akan mengasimilasi NH_3 untuk membentuk senyawa nitrogen organik, sehingga toksisitas utama NH_3 muncul setelah penyerapan melebihi kapasitas asimilasi.

Umumnya, kapasitas asimilasi spesies tanaman menentukan tingkat kerusakan. Jika kapasitas asimilasi tidak cukup tinggi untuk mendetoksifikasi NH_3 , cedera akut (terlihat) dapat terjadi. Pada tanaman berdaun lebar, paparan

akut terhadap NH_3 anhidrat akan mengakibatkan kematian daun jaringan antar vena (nekrosis interveinal) (Krupa, 2002).

Salah satu respon tanaman sebagai efek sekunder setelah asimilasi NH_3 adalah meningkatkan pertumbuhan karena nitrogen dianggap sebagai faktor produksi biomassa untuk pertumbuhan tanaman di sebagian besar habitat alami. Hal ini mengakibatkan pertumbuhan rasio pucuk/akar yang lebih tinggi.

Penurunan ketahanan akibat paparan NH_3 dapat terjadi melalui 2 proses, pertama kebutuhan akan karbon untuk mengasimilasi NH_3 meningkat, sehingga memicu peningkatan penyerapan CO_2 dan dengan demikian terjadi pembukaan stomata dan menyebabkan kehilangan air. Kedua karena pertumbuhan tunas meningkat oleh NH_3 daripada pertumbuhan akar, maka pasokan air dari akar kurang mencukupi selama periode masa kekeringan. Selain itu, NH_3 menyebabkan penekanan mikoriza (hubungan yang menguntungkan atau simbiosis) antara akar tanaman dan jamur tanah tertentu) oleh kelebihan NH_3 . Tidak adanya mikoriza akan menyebabkan kekurangan nutrisi yang signifikan dan penurunan pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Rentang perkiraan konsentrasi kritis untuk paparan vegetasi terhadap NH_3 dapat dilihat pada tabel.

Tabel 2. Rentang perkiraan konsentrasi kritis untuk paparan vegetasi

Konsentrasi (ppm (mg/m^3))	Durasi
3.300 - 10.000	1 jam
270 - 600	1 hari
20 - 50	1 bulan
8 - 300	1 tahun

Sumber: Krupa Sagar (2004)

1. Pengukuran Konsentrasi NH_3 menggunakan *Air Sampling Impinger*

Pengukuran kualitas udara ambien untuk gas amonia (NH_3) dilakukan menggunakan metode indofenol dengan spektrofotometer. Berdasarkan SNI 19-7119.1-2005 prinsip pengukuran kualitas udara untuk parameter amonia (NH_3) diantaranya udara ambien yang mengandung amonia akan dijerap melalui larutan asam sulfat sehingga membentuk ammonium sulfat. Selanjutnya larutan tersebut

akan direaksikan bersama larutan fenol serta natrium hipoklorit pada keadaan basa sehingga nantinya terbentuk suatu senyawa indofenol yang kompleks dengan ciri berwarna biru. Warna biru tersebut menjadi kadar intensitas amonia yang terbentuk, kadarnya dapat diketahui dengan spektrofotometer dan mengatur panjang gelombang sebesar 630 nm.

Setelah diukur menggunakan spektrofotometer akan keluar nilai absorbansi yang digunakan dalam perhitungan konsentrasi. Volume sampel yang diambil, selanjutnya dikoreksi pada saat kondisi normal yaitu 25°C dan 760 mmHg dengan mengacu pada persamaan berikut

$$V = \frac{F_1 + F_2}{2} \times t \times \frac{P_a}{T_a} \times \frac{298}{760} \quad (1)$$

Dimana:

V = volume udara dikoreksi pada kondisi normal (25°C, 760 mmHg)

F₁ = laju alir diawal pengambilan sampel (L/menit)

F₂ = laju alir diakhir akhir pengambilan sampel (L/menit)

t = waktu pengambilan sampel (menit)

P_a = tekanan selama pengambilan sampel (mmHg)

T_a = Suhu selama pengambilan sampel (°K)

298 = Suhu disaat kondisi normal 25°C (°K)

760 = tekanan saat kondisi normal 1 atm (mmHg)

Konsentrasi senyawa NH₃ yang berada di udara ambien akan di hitung kadarnya menggunakan persamaan 2.

$$C = \frac{a}{V} \times 1000 \quad (2)$$

Dimana:

C = konsentrasi NH₃ yang berada di udara (µg/Nm³)

a = total NH₃ dari sampel berdasarkan analisis kurva kalibrasi (µg)

V = volume udara yang dihisap dikoreksi pada kondisi normal yaitu 25°C dan 760 mmHg

1000 = konversi dari Liter ke m³

2. Baku Mutu Amonia (NH₃)

Baku mutu udara digunakan sebagai batasan untuk kadar unsur pencemar tertentu pada udara ambien. Unsur polutan yang kadarnya melebihi baku mutu akan mengganggu lingkungan dan berpotensi menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan manusia. Walaupun baku mutu NH₃ belum diatur dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia namun India menjadi satu-satunya negara yang mengatur standar baku mutu amonia dalam melindungi kesehatan manusia. Berikut batasan kadar udara ambien untuk Amonia (NH₃) terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Baku mutu udara ambien amonia (NH₃)

Parameter	Waktu Pengukuran	Konsentrasi di Udara Ambien (µg/m ³)		
		Industri, Perumahan dan kawasan lainnya	Kawasan ekologi sensitif	Metode Pengukuran
Amonia (NH ₃)	1 Tahun	100	100	<i>Chemilluminescence</i>
	24 Jam	400	400	<i>Indophenol blue method</i>

Sumber: *National Ambient Air Quality Standards*, 2009

Berdasarkan *National Ambient Air Quality Standard* India, baku mutu untuk parameter NH₃ yakni sebesar 400 µg/m³ untuk waktu pengukuran 24 jam. Sehingga nilai yang di dapatkan dari hasil pengukuran di lapangan, perlu di konversi kedalam waktu 24 jam menggunakan persamaan *Canter*. Berikut persamaan *Canter*

$$C1 = C2 \left(\frac{t2}{t1} \right)^P \quad (3)$$

Keterangan:

- C1 = Kosentrasi NH₃ yang setara dengan waktu pengambilan sampel selama 24 jam (µg/Nm³)
- C2 = Kosentrasi NH₃ terukur dengan durasi pengambilan sampel selama t jam (µg/Nm³)
- t1 = Waktu pengambilan sampel yang setara dengan 24 jam
- t2 = Waktu pengambilan sampel selama t jam
- P = Faktor konversi

C. Emisi Kendaraan Bermotor

Transportasi menyumbang 60-70% sumber polusi sebagai kontributor gas pencemar jauh dibawah asap industri yang hanya sebesar 10-15%. Hal ini memperkuat fakta bahwa transportasi menjadi pencemar utama di perkotaan meski teknologi terus berkembang dengan upaya meminimalisir dampak pencemaran udara namun volume kendaraan juga ikut bertambah sehingga hasil yang diberikan tidak begitu berubah secara signifikan (Ilmiawan, 2019).

Emisi utama yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor meliputi prekursor (pembentuk) ozon (CO, NO_x, senyawa organik volatil non-metana), gas-gas rumah kaca diantaranya CO₂, CH₄, N₂O dan zat pengasaman (NH₃, SO₂), *Particulate Matter* (PM), senyawa karsinogenik (PAHs dan POPs), senyawa beracun (dioxin dan furan), serta logam-logam berat (EEA, 2019). Emisi gas buang dari transportasi pada jalan raya diproduksi dari hasil samping bahan bakar kendaraan seperti bensin dan solar serta gas alam pada mesin pembakar internal.

Gas CO₂ dan H₂O menjadi produk utama hasil pembakaran pada unit transportasi, namun kerap kali pembakaran yang terjadi pada mesin kendaraan tidak menghasilkan pembakaran yang sempurna sehingga terbentuk hasil samping seperti CO, hidrokarbon (THC), PM serta hasil oksida senyawa seperti NO_x dari N₂ di udara, SO_x dari S dalam bahan bakar dan pelumas, dan lain-lain. Sehingga untuk menaati regulasi yang telah ditetapkan mengenai emisi, maka dipasang alat sebagai pengendali emisi gas buang dari kendaraan. Alat ini disebut konverter katalitik namun dengan adanya alat ini belum sepenuhnya dapat mengatasi masalah emisi kendaraan sebab konverter katalitik juga menghasilkan bahan samping dalam jumlah kecil seperti NH₃ dan N₂O (EEA, 2019).

Konverter katalitik merupakan struktur keramik yang dilapisi dengan kombinasi platinum, rhodium, atau paladium dan difungsikan agar gas buang yang awalnya berbahaya menjadi aman untuk dilepas ke lingkungan sekitar. Mekanisme konverter katalik ialah dengan melewati seluruh gas buang pada suatu permukaan yang diberi lapisan katalis. Sarang madu dan butiran kecil menjadi bentuk bagian permukaan dari konverter katalitik.

Bentuk dan fungsi dari konverter katalitik terus berkembang hingga salah satu jenis konverter katalitik yaitu *three-way catalyst* (TWC) memiliki fungsi sebagai oksidasi dan reduksi dengan mengubah 3 hasil samping kendaraan diantaranya CO dan HC menjadi CO₂ sebagai fungsi oksidasi. Sedangkan NO_x menjadi N₂ sebagai fungsi reduksi. Kendaraan dengan mesin pembakaran internal dianggap sebagai sumber utama NH₃ di lingkungan perkotaan. NH₃ yang ditemukan pada kendaraan berasal dari katalitik seperti konverter katalitik tiga arah (*Three-Way Catalyst*). (Bertoa dkk, 2014).

1. Besaran Emisi Amonia Pada Kendaraan Bermotor

Menurut Syahrial (2017) besaran pada faktor emisi diartikan sebagai suatu koefisien yang menjelaskan kadar emisi yang dihasilkan per unit aktivitas pada kendaraan. Faktor emisi dinyatakan dalam satuan gram per kilometer kendaraan yang dibedakan berdasarkan kategori jenis kendaraan. Faktor emisi untuk parameter amonia (NH₃) yang diperoleh dari pedoman *European Environment Agency* (EEA) Tahun 2020. Adapun kategori jenis kendaraan tersebut, diantaranya

- a. *Passenger Cars-Petrol Small* (PC-PL) merupakan kendaraan bermotor beroda empat kecil dengan bahan bakar bensin dengan fungsi sebagai angkutan bagi penumpang yang terdiri kurang dari empat kursi selain kursi pengemudi kendaraan, diperuntukkan untuk penggunaan di dalam kota.
- b. *Passenger Cars-Petrol Large* (PC-PL) merupakan kendaraan bermotor beroda empat dengan bahan bakar bensin dengan fungsi sebagai angkutan bagi penumpang dengan kursi yang kurang dari delapan selain kursi pengemudi
- c. *Passenger Cars-Diesel Large* (PC-DL) merupakan kendaraan bermotor beroda empat dengan bahan bakar solar yang digunakan untuk mengangkut penumpang dan tidak lebih dari delapan kursi selain kursi pengemudi
- d. *Light Commercial Vehicles-Petrol* (LCV-P) merupakan kendaraan bermotor roda empat dan berbahan bakar bensin yang digunakan untuk

mengangkut barang dalam jumlah kecil. Massa yang dapat di angkut hingga sekitar 3,5 ton

- e. *Light Commercial Vehicles-Diesel* (LCV-D) merupakan kendaraan bermotor roda empat dan berbahan bakar solar yang digunakan untuk mengangkut barang dalam jumlah kecil atau dapat disebut sebagai kendaraan niaga ringan.
- f. *Heavy Duty Vehicles-Diesel* (HDV-D) merupakan kendaraan yang ditujukan untuk pengangkutan barang dalam jumlah besar, berkisar antara 3.5 - 12 ton
- g. *Bus* merupakan kendaraan untuk mengangkut penumpang yang terdiri lebih dari delapan kursi

Adapun nilai pada faktor emisi disajikan pada tabel 4

Tabel 4. Nilai Faktor Emisi untuk Parameter NH3

No	Kategori untuk Perhitungan Beban Pencemar Udara	Tipe kendaraan	NH ₃ g/km
1	Mobil Penumpang (<i>Passenger Cars</i>)	<i>Petrol Small</i>	0,1043
		<i>Petrol Large-SUV</i>	0,1043
		<i>Diesel Large-SUV</i>	0,0010
2	Kendaraan Komersial Ringan (<i>Light Commercial Vehicles</i>)	<i>Petrol</i>	0,0910
		<i>Diesel</i>	0,0012
3	Kendaraan Berat (<i>Heavy-duty Vehicles</i>)	<i>Diesel</i>	0,0029
4	Bus	<i>Urban Buses Standard</i>	0,0029
5	Motor (<i>L-Category</i>)	<i>4 stroke</i>	0,0019

Sumber: EMEP/EEA *air pollutant emission inventory guidebook* (2020)

Panjang jalan yang disimbolkan sebagai L dengan karakteristik lalu lintas yang dianggap tetap, maka emisi sumber garis dapat diketahui intensitasnya dengan persamaan 3.

$$E_p = \sum_{i=1}^n L \times N_i \times F_{pi} \quad (3)$$

Dimana :

Ep	= Besaran emisi dari satuan ruas (g/jam)
L	= panjang jalan daerah penelitian (km)
Ni	= volume kendaraan yang melintas ruas jalan daerah penelitian (kend/jam)
Fpi	= Faktor emisi pada kendaraan bermotor (g/km)
I	= jenis kendaraan bermotor
P	= jenis polutan yang diteliti

D. Dispersi Polutan

Dispersi polutan didefinisikan sebagai proses perpindahan dan difusi suatu polutan ke udara. Hal tersebut umumnya terjadi secara fluktuatif namun jika arah angin secara dominan menuju suatu kawasan maka tempat tersebut berpotensi terpapar polutan dengan konsentrasi yang tinggi. Berdasarkan hal tersebut, Prabowo (2018) menjelaskan bahwa komponen iklim baik suhu, kelembaban, arah kecepatan angin serta pencahayaan menjadi parameter dalam penentuan kualitas udara akibat dari hasil dispersi yang terjadi.

1. Suhu

Panas, dingin maupun sejuk merupakan kondisi yang dirasakan di permukaan bumi akibat adanya perubahan suhu. Suhu udara dihitung pada ketinggian 1.25 hingga 2 meter di atas permukaan bumi. Suhu terendah dan tertinggi dalam 1 hari atau 24 jam disebut sebagai amplitudo suhu harian. Reaksi antar polutan primer akan menghasilkan polutan sekunder dengan cepat apabila suhu udara tinggi. Peningkatan suhu udara akan berdampak kepada udara yang lembab karena terjadi penguapan air. Selain itu suhu udara dapat menyebabkan perbedaan tekanan udara akibat pengaruh pergerakan udara (Prabowo, 2018).

2. Kecepatan dan arah angin

Dispersi polutan sangat bergantung pada angin karena dapat menyebabkan zat gas berpindah tempat. Kecepatan dan arah angin menjadi penentu daerah mana yang akan terpapar polutan setelah di hasilkan dari suatu sumber. Semakin

besar nilai suatu kecepatan angin maka semakin jauh pula polutan akan terbawa menjauhi sumber. Sementara arah angin akan menentukan ke titik mana polutan akan terdispersi (Rahmawati, 1999 dalam Puspitasari, 2011).

3. Radiasi Matahari

Pengaruh radiasi matahari adalah sebagai energi pada perpindahan massa di udara. Pemanasan yang terjadi di permukaan bumi dan perairan akan menghasilkan angin serta turbulensi yang berpengaruh terhadap stabilitas di atmosfer dan pencampuran bahan pencemar pada lingkungan sekitar.

E. Jalan Tol

Menurut Suprayitno (2012) Tol yang dimaksud ialah sejumlah biaya yang diberikan untuk setiap pengemudi yang melintas di jalan tol. Jalan tol bertujuan untuk memberikan peningkatan efisiensi pada sektor pelayanan dan jasa distribusi agar ekonomi yang sedang berjalan dapat terus berkembang. Bentuk geografis Indonesia yang terbentang atas daratan yang panjang membuat infrastruktur berupa jalan tol penting untuk diadakan sebagai fungsi dari pendorong perekonomian. Maka hal tersebut menjadi penguat alasan keberadaan jalan tol sangat penting di era perkembangan ekonomi. Pada pasal 43 yang diatur dalam Undang-Undang Republik Indonesia (UURI) No. 38 Tahun 2004 tentang jalan dijelaskan bahwa jalan tol diselenggarakan untuk kepentingan

1. Memperlancar lalu lintas di daerah yang telah berkembang
2. Meningkatkan hasil guna dan daya guna pelayanan distribusi barang dan jasa guna menunjang peningkatan perekonomian
3. Meringankan beban dana Pemerintah melalui partisipasi pengguna jalan, dan
4. Meningkatkan pemerataan hasil pembangunan dan keadilan.

F. AERMET

AERMET didesain untuk dijalankan dalam 3 tahap proses. Tahap pertama adalah menerima data dan menilai kualitas data. Tahap kedua menggabungkan data yang tersedia dalam periode 24 jam dan menuliskannya dalam bentuk *intermediate file*. Tahap ketiga atau tahap terakhir adalah membaca data yang telah digabungkan dan menentukan parameter *boundary layer* yang diperlukan dalam perhitungan dispersi oleh AERMOD (Aristya, 2014).

Fungsi dasar dari AERMET adalah menggunakan hasil pengukuran meteorologi yang mewakili domain *modelling* untuk menghitung parameter *boundary layer* tertentu yang digunakan untuk memperkirakan profil angin, turbulensi, dan temperatur. Perkembangan dan struktur dari *boundary layer* atmosfer dikendalikan oleh fluks panas dan momentum yang tergantung pada pengaruh permukaan. Ketebalan lapisan ini dan dispersi polutan di dalamnya dipengaruhi karakteristik permukaan pada skala lokal seperti kekasaran permukaan, reflektivitas (*albedo*), dan keadaan kelembaban permukaan. Parameter yang diberikan oleh AERMET adalah *Monin-Obukhov Length* (L), kecepatan gesek permukaan (u^*), panjang kekasaran permukaan (z_0), *surface heat flux* (H), dan *convective scaling velocity* (w^*).

Di dalam AERMET terdapat fitur WRPLOT View sebagai wind rose program untuk data meteorologi. Wind rose membentuk sebuah grafik yang mempresentasikan gambaran mengenai arah serta kecepatan angin berhembus pada waktu tertentu, selain itu wind rose memberikan informasi tentang distribusi arah dan kecepatan angin serta penggambaran frekuensi dan skala tingkatan kecepatan angin (Fadholi, 2013).

G. AERMOD

AERMOD adalah *plume model* dengan kondisi tunak yang menggabungkan dispersi udara berdasarkan batas planet struktur turbulensi lapisan dan konsep penskalaan, termasuk perawatan permukaan dan yang ditinggikan sumber, dan

medan sederhana dan kompleks, dengan sistem pemodelan yang terdiri dari tiga komponen:

- AERMOD (model dispersi).
- AERMET (pra-prosesor meteorologi).
- AERMAP (pra-prosesor medan).

Pada kondisi lapisan batas stabil (*Stable Boundary Layer/SBL*), distribusi konsentrasi diasumsikan mengikuti persamaan Gauss baik dalam arah vertikal maupun horizontal. Pada lapisan batas konvektif (*Convective Boundary Layer/CBL*), distribusi secara horizontal juga diasumsikan mengikuti persamaan Gauss namun distribusi vertikalnya mengikuti fungsi probabilitas kepadatan bi-Gaussian. AERMOD juga memperhitungkan *plume lofting*, yaitu massa kepulan yang dilepaskan dari sumber, yang terus naik dan tetap tinggal pada lapisan batas paling atas sebelum akhirnya bercampur ke dalam CBL. Dengan menggunakan pendekatan sederhana, AERMOD menggabungkan konsep yang ada selama ini tentang aliran dan dispersi pada wilayah dengan kontur yang kompleks. Pendekatan ini didesain realistis dan sederhana untuk diaplikasikan, dimana permukaan bumi dilihat secara konsisten dan berkesinambungan dengan memperhatikan konsep pembagian arah aliran dalam kondisi stabil (Vionita, 2011 dalam Ancilla, 2014).

Sistem pemodelan AERMOD yang dikembangkan oleh *US Environmental Protection Agency* merupakan *plume model* mutakhir yang menggabungkan dispersi udara berbasis struktur *turbulensi planetary boundary layer* dan profil elevasi muka tanah. Data meteorologi yang diperlukan oleh AERMOD terdiri dari *surface profile* dan *upper air data*. Kedua data tersebut dapat diperoleh dari hasil keluaran model WRF baik sebagai data primer maupun data sekunder yang harus diturunkan dari data primer. Data yang diperoleh dari WRF harus diolah terlebih dahulu sebelum dapat digunakan oleh AERMOD. Solusi perangkat lunak yang dikembangkan dalam penelitian ini memungkinkan untuk mengotomasi proses pemodelan meteorologi, ekstraksi dan pemrosesan data dari WRF hingga menjadi input untuk AERMOD. AERMOD, melalui program AERMAP, dapat memproses data elevasi tanah dalam format *Digital Elevation Model (DEM)*.

AERMAP menggunakan data wilayah yang telah dibagi kedalam grid untuk menghitung ketinggian pengaruh wilayah (h_c) yang representatif untuk setiap reseptor dengan AERMOD yang menghitung nilai H_c spesifik reseptor. Dengan pendekatan ini, AERMOD melakukan perhitungan efek polutan pada permukaan yang datar dan permukaan yang memiliki ketinggian dengan kerangka kerja pemodelan yang sama sehingga menghindarkan dari pemakaian rumus yang berbeda untuk permukaan yang sederhana dan yang kompleks.

Pada dasarnya untuk bisa menjalankan AERMAP dibutuhkan dua tipe data. Pertama, AERMAP membutuhkan *file runsteam* yang mengarahkan AERMAP kepada sebuah set pilihan dan menentukan lokasi sumber dan reseptor. Kedua, AERMAP membutuhkan data kontur dalam format yang terstandardisasi. Data kontur tersedia dalam tiga format yang berbeda, yaitu *Digital Elevation Model (DEM)* yang menggunakan standar lama USGS “*Blue Book*”, *Spatial Data Transfer Standard (SDTS)*, dan *National Elevation Dataset (NED)*.

AERMAP menggunakan sistem koordinat *Universal Transverse Mercator (UTM)* untuk mengidentifikasi lokasi sumber dan reseptor. Sistem koordinat ini adalah salah satu metode yang memetakan meridian dan paralel permukaan bumi pada sebuah bidang datar. Sistem UTM terbagi menjadi beberapa zona, dengan setiap zona memiliki lebar garis bujur 6° . Zona-zona tersebut berurut dari nomor 1 sampai 60 ke arah timur dari meridian 180° International Dateline. Bentuk bumi yang agak pipih sering disebut sebagai elips atau bulat pipih. Proyeksi garis lintang dan garis bujur telah ditentukan di setiap sistem acuan. Proyeksi ini disebut sebagai datum (Vionita, 2011 dalam Ancilla 2014).

H. Uji-T Independent Sampel Test

Uji t adalah jenis uji statistik yang digunakan untuk membandingkan rata-rata dua kelompok. *T-Test* adalah jenis metode parametrik yang dapat digunakan ketika sampel memenuhi kondisi normalitas, varians yang sama, dan independensi. *T-test* dapat dibagi menjadi dua jenis. Ada uji t independen, yang dapat digunakan

ketika dua kelompok yang dibandingkan saling independen, dan uji t berpasangan, yang dapat digunakan ketika dua kelompok yang dibandingkan saling bergantung.

Uji t yang digunakan untuk menguji apakah ada perbedaan antara dua sampel independen. Namun, jika tidak ada perbedaan dalam dua rata-rata sampel, perbedaannya akan mendekati nol. Oleh karena itu, dalam kasus seperti itu, uji statistik tambahan harus dilakukan untuk memverifikasi apakah perbedaannya dapat dikatakan sama dengan nol (Kim T, 2015).