

TUGAS AKHIR

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



AULIA RIZQI

D131171503

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2021

TUGAS AKHIR
ANALISIS KUALITAS UDARA UNTUK PARAMETER NH₃ PADA
JALAN ARTERI BERMEDIAN DI KOTA MAKASSAR

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



AULIA RIZQI

D131 17 1503

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 NH₃ Pada Jalan Arteri Bermedian di Kota Makassar

Disusun Oleh :

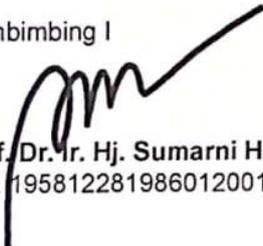
Nama : Aulia Rizqi

D131171503

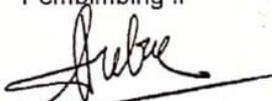
Telah diperiksa dan disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Gowa, 15 Oktober 2021

Pembimbing I


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

Pembimbing II


Dr. Ir. H. Mubassirang Pasra, M.T.
NIP. 1963112719992031001

Menyetujui,
Ketua Departemen Teknik Lingkungan




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

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Aulia Rizqi, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “**Analisis Kualitas Udara Untuk Parameter NH₃ Pada Jalan Arteri Bermedian 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, 19 Oktober 2021

Yang membuat pernyataan



Aulia Rizqi

D131 17 1503

KATA PENGANTAR

Puji syukur tak henti-hentinya penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT sebab atas berkat, rahmat, serta atas seizin-Nyalah sehingga penulis dapat diberi kesempatan untuk menyelesaikan penyusunan tugas akhir dengan judul “**Analisis Kualitas Udara Untuk Parameter NH₃ Pada Jalan Arteri Bermediasi Di Kota Makassar**”. Shalawat dan salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Besar Muhammad SAW pemimpin dan sebaik-baik teladan di muka bumi ini yang membawa manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang penuh hidayah seperti saat ini.

Dalam proses penyusunan tugas akhir ini, baik dari awal hingga akhir penyusunan tugas akhir ini penulis menghadapi berbagai macam suka duka, hambatan dan tantangan, bahkan tawa dan tangis. Namun penulis dapat melalui semuanya hingga bisa sampai ke titik ini dengan bantuan tulus dan ikhlas dari pihak-pihak yang sangat berharga dalam hidup penulis.

Ucapan terima kasih paling tulus penulis ucapkan kepada kedua orangtua yang sangat penulis sayangi, Bapak Ir. Asidin, M.T., dan Mama Ir. Andi Roslinda, yang tidak henti-hentinya mendukung penulis, mendoakan kelancaran penyusunan tugas akhir ini dan mendoakan keselamatan penulis, memberikan kasih sayang yang tak pernah terputus kepada penulis, yang tidak pernah menuntut penulis untuk cepat selesai, yang selalu memahami penulis dan selalu siap mendengar keluh kesah penulis kapanpun dan dimanapun. Ucapan terima kasih juga penulis ucapkan kepada kedua saudari penulis, Maysharah Nur Asrida dan Nurul Chasanah yang walaupun selalu cerewet menanyakan kapan tugas akhir penulis selesai namun tetap mendukung penulis, menghibur penulis ketika sedang *down* dengan cara mereka masing-masing, dan tak henti memotivasi penulis. Terima kasih atas segala bantuan yang telah kalian berikan kepada penulis.

Selesainya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan selaku Kepala Laboratorium Kualitas Udara dan Kebisingan
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Hj. Sumarni Hamid Aly, M.T., selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr. Ir. H. Mubassirang Pasrah, M.T selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan dan bimbingan, meluangkan waktu di tengah kesibukannya selama penulis melaksanakan penelitian dan penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas ilmu, arahan, dan motivasi yang diberikan kepada penulis selama menempuh bangku kuliah
4. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya terutama kepada staf S1 Teknik Lingkungan, Ibu Sumiati dan Kak Olan yang selalu penulis reportkan dalam hal pengurusan surat-surat
5. Pak Syarif selaku Laboran Laboratorium Kualitas Air yang membantu penulis mencari toko bahan kimia serta mengizinkan penggunaan lab air dalam proses pembuatan larutan dan penganalisaan hasil penelitian penulis
6. Irsyaad Caesar Ramadhan selaku koordinator lab air yang sudah penulis anggap sebagai guru, yang selalu ikhlas membantu penulis membuat larutan dan menguji sampel hingga malam di kampus
7. Afifah Azzahra Zafany, teman seperjuangan penulis selama kuliah, yang selalu mendengar curhatan penulis, baik permasalahan kuliah, tugas akhir, maupun masalah hidup. Terima kasih karena tidak pernah bosan dengan penulis dan mau menjadi teman diskusi untuk segala hal
8. Fanandi Noor Ilmi yang selalu sabar menghadapi naik turunnya *mood* penulis selama penyusunan tugas akhir ini, yang tidak pernah mengeluh mengantar penulis kemanapun dan jam berapapun, yang selalu mendengar apapun yang penulis katakan, dan memberikan bantuan yang tak terhitung selama hidup penulis. Terima kasih karena selalu ada untuk penulis.

9. Harvianti Ilham selaku partner penelitian penulis, yang selalu berpanas-panasan di bawah terik matahari, menerjang debu, dan mengangkat alat yang sangat berat selama penelitian berlangsung. Terima kasih karena sudah bertahan sampai di tahap ini
10. Indah Nur Sakinah, Afifah Azzahra Zafany dan Anisah Pratiwi, sobat Bismillah yang selalu membantu pengolahan data penulis walaupun progress penulis jauh di bawah kalian, yang sudah menemani masa-masa akhir kuliah penulis di mukim udara Baruga, yang selalu semangat bergadang hingga pukul 4 subuh walaupun lebih banyak makan-makan dan curcol daripada kerja skripsinya. Terima kasih karena sudah mau menerima penulis, kalian sangat berarti bagi penulis
11. Andi Indah Fitria dan Kak Mugi yang baik hati membantu penulis selama pengambilan data, yang selalu menemani dan mengantar penulis, yang mengenalkan penulis ke tempat-tempat makan yang enak, dan yang menenangkan penulis ketika penulis kalut waktu pengambilan data.
12. Raditya M. Farhan, sobat ambyar, sobat galau, sobat gabut, yang selalu mendengar curhatan random penulis, yang selalu menjadi teman *healing* penulis
13. Ferdy Trisetio yang selalu menjemput penulis di pagi buta saat-saat KP dan mendengar curhatan serta drama penulis, Juan Eloys Silaban selaku teman hedon penulis yang selalu mengirimkan racun promo selama masa kuliah, yang selalu jadi koordinator keuangan saat mengurus kepanitiaan, dan yang selalu mengingatkan penulis untuk tidak teledor.
14. Kak Dinda yang bersedia direpotkan untuk membantu serta menjawab semua pertanyaan penulis terkait penggunaan AERMOD, yang telah baik hati mentraktir penulis saat mengajarkan AERMOD
15. Zobat C+ yang selalu mendengarkan ketika penulis tiba-tiba curhat dan mengeluh di grup
16. Keluarga Cemara dan BFL yang memberikan dukungan dan semangat kepada penulis walaupun kita sudah memiliki kesibukan masing-masing. Terima kasih karena masih peduli kepada penulis

17. Teman-teman Lab Riset Kualitas Udara dan Bising 2017 yang telah berjuang bersama-sama di semester akhir ini
18. Teman-teman Teknik Lingkungan 2017 dan PLASTIS 2018 yang membantu dan mengikutsertakan penulis menjadi bagian dari kisah-kisah hebat kalian. Yang memberikan memori terbaik untuk penulis selama kuliah.
19. Keluarga, rekan, sahabat, dan berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu
20. Dan ucapan terima kasih terakhir ingin penulis sampaikan kepada diri penulis sendiri. Terima kasih karena sudah kuat berjuang sampai di titik ini, terima kasih karena tidak menyerah, terima kasih karena sudah bertahan walaupun tidak mudah. *I wanna thank me for just being me at all times.*

Penulis menyadari dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna dan masih terdapat banyak kekurangan, baik dalam metode penulisan maupun dalam pembahasan materi. Sehingga penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun, mudah-mudahan di kemudian hari dapat diperbaiki segala kekurangannya.

Semoga tugas akhir ini dapat berguna bagi kalangan yang membutuhkan dan memberikan manfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan dan lingkungan.

Gowa, 10 Agustus 2021

Aulia Rizqi

ABSTRAK

AULIA RIZQI. *Analisis Kualitas Udara Untuk Parameter NH_3 Pada Jalan Arteri Bermedial Di Kota Makassar* (Dibimbing oleh **Sumarni Hamid Aly** dan **Mubassirang Pasrah**)

Peningkatan jumlah kendaraan di Kota Makassar mencapai 5-6%, hal ini menyebabkan terjadinya penurunan kualitas udara. Emisi kendaraan bermotor berkontribusi sebesar 60-70% sebagai sumber polusi udara perkotaan. Bahan pencemar yang paling banyak terdapat didalam gas buang kendaraan bermotor adalah CO, senyawa hidrokarbon, NO_x, SO_x, dan partikulat. Namun selain senyawa-senyawa pencemar tersebut, terdapat senyawa lain yang keberadaannya belum banyak mendapat perhatian yaitu senyawa amonia (NH_3). US EPA menetapkan kontribusi senyawa NH_3 pada total emisi kendaraan sebesar 8%. Sehingga dipandang perlu untuk melakukan penelitian tentang NH_3 yang bersumber dari kendaraan bermotor. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis beban emisi NH_3 dari kendaraan bermotor, menganalisis tingkat konsentrasi NH_3 menggunakan impinger, dan menganalisis pola sebaran konsentrasi NH_3 menggunakan AERMOD.

Penelitian ini dilakukan di 6 ruas jalan arteri bermedial di Kota Makassar dan dilakukan pada 3 interval waktu (pagi, siang, sore) dengan 1 titik pengukuran di tiap jalan. Hasil penelitian menunjukkan nilai beban emisi tertinggi berada di Jalan Perintis Kemerdekaan yaitu 1,23770 g/s dengan volume kendaraan 36.796 kendaraan. Konsentrasi *impinger* tertinggi berada di Jalan Perintis Kemerdekaan yaitu 65,12 $\mu g/Nm^3$ dan nilai konsentrasi di semua lokasi tidak ada yang melebihi nilai baku mutu pengukuran 24 jam yaitu 400 $\mu g/Nm^3$. Konsentrasi tertinggi dari hasil pemodelan AERMOD berada di Jalan Perintis Kemerdekaan yaitu 91,3 $\mu g/m^3$

Kata Kunci: Amonia (NH_3), Jalan Arteri Bermedial, *Impinger*, AERMOD

ABSTRACT

AULIA RIZQI. *Air Quality Analysis for Ammonia (NH₃) on Divided Arterial Roads in Makassar (supervised by Sumarni Hamid Aly and Mubassirang Pasrah)*

The increases of vehicles number in Makassar reaches 5-6%, this causes the decrease of air quality. Motor vehicle emissions contribute 60-70% as a source of urban air pollution. The most common pollutants in motor vehicle exhaust are CO, hydrocarbon compounds, NO_x, SO_x, and particulates. However, there are other compounds that has not received much attention, which is ammonia (NH₃). The US EPA sets the contribution of NH₃ to total vehicles emissions at 8%. So it's considered necessary to conduct research on NH₃ from motor vehicles. This study aims to analyse the NH₃ emissions load from motor vehicles, analyse the NH₃ concentration level using impinger, and analyse the distribution pattern of NH₃ concentration using AERMOD.

This research conducted in 6 divided arterial roads in Makassar at 3 time intervals (morning, noon, afternoon) with 1 measurement point on each road. The results showed that the highest emission load value was on Perintis Kemerdekaan road which is 1,23770 g/s with 36.796 vehicles. The highest concentration of impinger is on Perintis Kemerdekaan street which is 65,12 µg/Nm³ and the concentration values in all locations didn't exceed the standard value for 24 hours measurement which is 400 µg/Nm³. The highest concentration from the AERMOD modelling results is on Perintis Kemerdekaan street which is 91,3 µg/m³

Keywords: Ammonia (NH₃), Divided Arterial Road , *Impinger*, AERMOD

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Ruang Lingkup.....	4
E. Manfaat Penelitian	5
F. Sistematika Penulisan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Udara Ambien	7
B. Pencemaran Udara.....	8
1. Pengertian Pencemaran Udara	8
2. Sumber Pencemaran Udara	9
C. Emisi Kendaraan Bermotor	13
1. Pengertian Emisi	13
2. Jenis Kendaraan Bermotor	17
3. Besaran Emisi Kendaraan Bermotor.....	18
D. Amoniak (NH ₃).....	20
1. Pengertian Amoniak (NH ₃).....	20
2. Dampak Amoniak (NH ₃).....	23
3. Pengukuran Konsentrasi NH ₃ menggunakan <i>Air Sampling Impinger</i>	24
4. Baku Mutu Amoniak (NH ₃).....	26
E. Klasifikasi Jalan	28

F. Dispersi Polutan	31
1. Radiasi Cahaya Matahari.....	32
2. Kecepatan dan Arah Angin.....	32
3. Suhu Udara dan Tutupan Awan.....	33
G. Wind Rose	34
H. Emisi Sumber Garis (<i>Line Source</i>)	35
I. AERMET	35
J. AERMOD	36
K. T-Test Independent Sample Test	38
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	40
A. Rancangan Penelitian	40
B. Waktu Penelitian	42
C. Gambaran Lokasi Penelitian	43
1. Jalan Perintis Kemerdekaan.....	44
2. Jalan Sultan Alauddin.....	45
3. Jalan AP Pettarani.....	45
4. Jalan Urip Sumoharjo.....	46
5. Jalan Veteran Selatan.....	46
6. Jalan Veteran Utara.....	47
D. Peralatan Yang Digunakan	47
1. Perangkat Laboratorium.....	47
2. Perangkat Keras saat Pengambilan Data.....	49
3. Perangkat Lunak.....	50
E. Metode Pengambilan Data	55
F. Metode Pengolahan Data	59
1. Pengolahan Data untuk Memperoleh Konsentrasi NH ₃ di Udara Ambien....	59
2. Pengolahan Data untuk Memperoleh Pola Sebaran Emisi.....	64
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	74
A. Karakteristik Jalan	74
B. Volume Kendaraan	75
C. Nilai Beban Emisi	88
D. Konsentrasi Amonia (NH₃) Menggunakan <i>Impinger</i>	106
E. Hasil <i>Windrose</i>	109
F. Hasil Pemodelan AERMOD	113

BAB V PENUTUP	122
A. Kesimpulan	122
B. Saran	123
DAFTAR PUSTAKA	124

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai Faktor Emisi untuk Parameter NH ₃	19
Tabel 2. Dampak Gas Amonia terhadap manusia sesuai tingkatan konsentrasinya	23
Tabel 3. Lebar dan Panjang Jalan Lokasi Penelitian.....	43
Tabel 4. Karakteristik Jalan Lokasi Penelitian.....	74
Tabel 5. Volume Kendaraan pada Lokasi Penelitian	75
Tabel 6. Beban Emisi NH ₃ pada Lokasi Penelitian.....	89
Tabel 7. Beban Emisi dan Volume Kendaraan Jalan Perintis Kemerdekaan	89
Tabel 8. Beban Emisi dan Volume Kendaraan Jalan Sultan Alauddin	92
Tabel 9. Beban Emisi dan Volume Kendaraan Jalan AP. Pettarani	94
Tabel 10. Beban Emisi dan Volume Kendaraan Jalan Urip Sumoharjo.....	97
Tabel 11. Beban Emisi dan Volume Kendaraan Jalan Veteran Selatan	99
Tabel 12. Beban Emisi dan Volume Kendaraan Jalan Veteran Utara	102
Tabel 13. Hasil Pengukuran Konsentrasi NH ₃	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Injeksi Larutan Pereduksi.....	16
Gambar 2. Prinsip Kerja SCR.....	17
Gambar 3. Proses Terbentuknya PM 2,5 di Atmosfer	21
Gambar 4. Prinsip Sampling Udara	24
Gambar 5. Bagan Alir Penelitian	41
Gambar 6. Peta Lokasi Penelitian.....	44
Gambar 7. Lokasi Pengukuran Jalan Perintis Kemerdekaan.....	44
Gambar 8. Lokasi Pengukuran Jalan Sultan Alauddin.....	45
Gambar 9. Lokasi Pengukuran Jalan AP Pettarani	45
Gambar 10. Lokasi Pengukuran Jalan Urip Sumoharjo	46
Gambar 11. Lokasi Pengukuran Jalan Veteran Selatan.....	46
Gambar 12. Lokasi Pengukuran Jalan Veteran Utara	47
Gambar 13. Alat Laboratorium.....	48
Gambar 14. Perangkat Pengambilan Data	50
Gambar 15. Aplikasi Google Earth.....	51
Gambar 16. <i>Software</i> WRPLOT View	52
Gambar 17. Flowchart Pengolahan Data Angin pada WRPLOT View.....	53
Gambar 18. <i>Software</i> AERMET View	54
Gambar 19. <i>Software</i> AERMOD View	55
Gambar 20. <i>Flowchart</i> Pembuatan Larutan Penjerap NH ₃	56
Gambar 21. <i>Flowchart</i> Pengambilan Data.....	59
Gambar 22. Flowchart Pembuatan Kurva Kalibrasi	61
Gambar 23. <i>Flowchart</i> Pembuatan Larutan Uji/Kerja	62
Gambar 24. Flowchart Pengujian Sampel NH ₃	63
Gambar 25. Flowchart Perhitungan Konsentrasi NH ₃	63
Gambar 26. <i>Flowchart</i> Pengolahan Data untuk	64
Gambar 27. Flowchart Pengolahan Data Angin pada WRPLOT View.....	65
Gambar 28. Flowchart Pengolahan Data pada AERMET View	68
Gambar 29. Flowchart Pengolahan Data pada AERMOD View	70
Gambar 30. Volume Kendaraan di Jalan Perintis Kemerdekaan	76
Gambar 31. Volume Kendaraan di Jalan Sultan Alauddin.....	78

Gambar 32. Volume Kendaraan di Jalan AP. Pettarani	80
Gambar 33. Volume Kendaraan di Jalan Urip Sumoharjo	82
Gambar 34. Volume Kendaraan di Jalan Veteran Selatan	84
Gambar 35. Volume Kendaraan di Jalan Veteran Utara	86
Gambar 36. Rekapitulasi Volume Kendaraan pada Seluruh Lokasi Penelitian.....	87
Gambar 37. Besaran Emisi Kendaraan di Jalan Perintis Kemerdekaan	91
Gambar 38. Besaran Emisi Kendaraan di Jalan Sultan Alauddin	93
Gambar 39. Besaran Emisi Kendaraan di Jalan AP. Pettarani	96
Gambar 40. Besaran Emisi Kendaraan di Jalan Urip Sumoharjo.....	98
Gambar 41. Besaran Emisi Kendaraan di Jalan Veteran Selatan	101
Gambar 42. Besaran Emisi Kendaraan di Jalan Veteran Utara	103
Gambar 43. Rekapitulasi Total Beban Emisi di Seluruh Lokasi Penelitian	104
Gambar 44. Rata-Rata Beban Emisi di Seluruh Lokasi Penelitian.....	105
Gambar 45. Hasil Pengukuran Konsentrasi NH ₃ (Pengukuran 24 Jam).....	108
Gambar 46. Hasil Pengukuran Konsentrasi NH ₃ (Pengukuran 1 Jam).....	108
Gambar 47. Windrose Jalan Perintis Kemerdekaan	110
Gambar 48. Windrose Jalan Sultan Alauddin	110
Gambar 49. Windrose Jalan AP. Pettarani	111
Gambar 50. Windrose Jalan Urip Sumoharjo	111
Gambar 51. Windrose Jalan Veteran Selatan.....	112
Gambar 52. Windrose Jalan Veteran Utara.....	112
Gambar 53. Isopleth NH ₃ Pada Ruas Jalan Perintis Kemerdekaan	113
Gambar 54. Hubungan Konsentrasi dan Jarak Pada Ruas.....	114
Gambar 55. Isopleth NH ₃ Pada Ruas Jalan Sultan Alauddin	115
Gambar 56. Hubungan Konsentrasi dan Jarak Pada Ruas Jalan Sultan Alauddin	115
Gambar 57. Isopleth NH ₃ Pada Ruas Jalan AP. Pettarani	116
Gambar 58. Hubungan Konsentrasi dan Jarak Pada Ruas Jalan AP. Pettarani.....	117
Gambar 59. Isopleth NH ₃ Pada Ruas Jalan Urip Sumoharjo.....	117
Gambar 60. Hubungan Konsentrasi dan Jarak Pada Ruas Jalan Urip Sumoharjo	118
Gambar 61. Isopleth NH ₃ Pada Ruas Jalan Veteran Selatan	119
Gambar 62. Hubungan Konsentrasi dan Jarak Pada Ruas Jalan Veteran Selatan	119
Gambar 63. Isopleth NH ₃ Pada Ruas Jalan Veteran Utara.....	120
Gambar 64. Hubungan Konsentrasi dan Jarak Pada Ruas Jalan Veteran Utara	121

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Perhitungan Nilai Adsorbansi

Lampiran 2. Data Meteorologi

Lampiran 3. Tabel Perhitungan Konsentrasi NH₃ Udara Ambien

Lampiran 4. Tabel Perhitungan Emisi Kendaraan Bermotor

Lampiran 5. Pengolahan WRPLOT *View*

Lampiran 6. Pengolahan AERMET *View*

Lampiran 7. Pengolahan AERMOD *View*

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kebutuhan akan udara bersih merupakan kebutuhan mendasar bagi manusia untuk dapat melangsungkan kehidupan. Di dalam udara terkandung berbagai macam gas dengan komponen penyusun yang terdiri atas gas nitrogen 78%, oksigen 20%, argon 0,93%, karbon dioksida 0,03%, dan sisanya dalam bentuk gas yang lain seperti gas-gas mulia, nitrogen oksida, hidrogen, metana, belerang dioksida, ammonia, dan lain-lain (Kamal, 2015). Perubahan komposisi udara terhadap lingkungan dapat disebabkan oleh pencemaran udara sehingga terjadi penurunan kualitas udara.

Di kota-kota besar kualitas udara semakin mengalami penurunan akibat pesatnya perkembangan pembangunan fisik kota dan juga pusat-pusat industri, serta berkembangnya moda transportasi. Keberadaan transportasi dalam menunjang aktivitas dan mempermudah mobilitas masyarakat membuat keberadaannya tidak dapat dipisahkan dari kehidupan sehari-hari, akibatnya terjadi peningkatan jumlah kendaraan bermotor dari tahun ke tahun.

Berdasarkan publikasi yang diterbitkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah kendaraan bermotor di Indonesia mengalami peningkatan sebesar 7.108.236 unit atau 5,3% per tahun 2019. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor juga terjadi di Kota Makassar. Data dari Samsat Kota Makassar menyebutkan bahwa terjadi kenaikan angka kepemilikan kendaraan dari tahun 2016 sampai 2018 sebesar 5 hingga 6 persen jika dirata-ratakan, dimana jumlah kendaraan bermotor pada tahun 2016 sebanyak 1.425.150 unit, tahun 2017 sebanyak 1.505.835 unit, dan 2018 sebanyak 1.563.608 unit. Meskipun kondisi tersebut memberikan dampak positif terhadap perekonomian, namun di sisi lain juga memberi dampak negatif terhadap penurunan kualitas udara.

Kemampuan jalan raya menampung arus lalu lintas akan sangat bergantung pada keadaan fisik jalanan tersebut (Muis, 2013). Jalan arteri merupakan jalan yang melayani perjalanan jarak jauh dengan kecepatan tinggi, dan lebar jalan tidak kurang dari 8 meter sehingga memiliki kapasitas yang besar. Kapasitas jalan yang besar akan menyebabkan volume kendaraan yang dapat ditampung juga semakin banyak sehingga kendaraan akan semakin padat. Selain itu, volume lalu lintas yang dapat ditampung oleh suatu jalan juga dipengaruhi tipe jalan. Jalan dengan karakteristik seperti dua lajur dua jalur (2/2) tentu akan berbeda dengan jalan empat lajur dua jalur (4/2) dalam menampung volume kendaraan bermotor yang lewat tiap harinya. Begitu pula dengan ada atau tidaknya sebuah median di jalan tersebut.

Berdasarkan hasil evaluasi Kementerian Lingkungan Hidup pada tahun 2013, Kota Makassar masuk dalam kategori *Level of Service* (LOS) F yaitu kondisi jalan dengan arus terhambat, kecepatan rendah, volume di atas kapasitas, dan banyak berhenti. Pada beberapa ruas jalan yang ada di Kota Makassar, masalah lalu lintas seperti kemacetan menjadi masalah yang sering kali dijumpai. Hal tersebut umumnya terjadi pada jam-jam tertentu (jam-jam sibuk/puncak), yaitu pada saat orang ingin bergerak pada waktu yang bersamaan. Kondisi ini akan menyebabkan terjadinya penumpukan kendaraan bermotor yang berbanding lurus dengan terjadinya peningkatan konsentrasi polutan udara dan berbanding terbalik dengan kualitas udara di areal jalan tersebut. Berdasarkan data dari WHO, sekitar 70% penduduk kota di dunia pernah menghirup udara kotor dari emisi kendaraan bermotor

Pada umumnya, dari berbagai sektor yang potensial dalam mencemari udara, maka, sektor transportasi memegang peran yang sangat besar dibanding dengan sektor yang lainnya. Di kota-kota besar, kontribusi gas buang kendaraan bermotor sebagai sumber polusi udara mencapai 60-70% (BPLH DKI Jakarta, 2013). Kendaraan bermotor membutuhkan bahan bakar dalam pengoperasian mesinnya. Bahan bakar yang digunakan akan menghasilkan produk sampingan berupa emisi. Emisi kendaraan bermotor mengandung berbagai senyawa kimia. Komposisi dari kandungan senyawa kimianya tergantung dari kondisi mengemudi, jenis mesin, alat

pengendali emisi bahan bakar, suhu operasi dan faktor lain yang semuanya ini membuat pola emisi menjadi rumit (Kusuma et al., 2017).

Bahan pencemar yang paling banyak terdapat didalam gas buang buang kendaraan bermotor adalah karbon monoksida (CO), berbagai senyawa hidrokarbon, berbagai oksida nitrogen (NO_x) dan sulfur (SO_x), dan partikulat debu termasuk timbal (Pb) (Haryanto, 2019). Namun selain senyawa-senyawa pencemar tersebut, terdapat senyawa lain yang keberadaannya belum banyak mendapat perhatian yaitu senyawa ammonia (NH₃).

Amoniak (NH₃) adalah indikator pencemar udara pada bentuk kebauan. Gas amoniak adalah gas yang tidak berwarna, memiliki bau yang menyengat. Biasanya, amoniak berasal dari aktifitas mikroba, industri amoniak, pengolahan limbah dan pengolahan batu bara. Gas Amonia yang terdapat di udara dapat masuk ke dalam tubuh melalui sistem pernapasan. Dari paru-paru, amonia akan diserap oleh sistem peredaran darah dan menyebar ke seluruh tubuh dan dapat menyebabkan batuk, infeksi saluran pernapasan, bahkan kematian. (Haryoto et.al, 2014).

Pengukuran senyawa ammonia (NH₃) pada penelitian terdahulu banyak dilakukan di lokasi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sampah dan masih belum banyak dilakukan pengukuran di jalan raya. Sedangkan pengukuran kualitas udara di jalan raya pada penelitian-penelitian terdahulu cenderung masih mengarah ke analisis konsentrasi parameter seperti CO, SO_x, NO_x dan masih belum banyak penelitian untuk parameter NH₃. Padahal dari sektor transportasi, US EPA menetapkan kontribusi senyawa NH₃ pada total emisi sebesar 8%. Meskipun persentasenya tergolong rendah, namun penggunaan kendaraan bermotor dapat terbilang cukup besar dan memberikan dampak besar terhadap emisi gas di udara sehingga perlu dilakukan penelitian agar dapat mengetahui kualitas udara di jalan raya untuk parameter NH₃ (Bauer, 2016).

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penulis tertarik melakukan penelitian Tugas Akhir dengan judul **“Analisis Kualitas Udara untuk Parameter NH₃ pada Jalan Arteri Bermedian di Kota Makassar”**

B. Rumusan Masalah

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

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

C. Tujuan Penelitian

Adapun beberapa tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

- 1) Menganalisis beban emisi Amonia (NH_3) yang bersumber dari kendaraan bermotor di Jalan Arteri Bermedian di Kota Makassar.
- 2) Menganalisis tingkat konsentrasi Amonia (NH_3) menggunakan *impinger* di Jalan Arteri Bermedian di Kota Makassar.
- 3) Menganalisis pola sebaran tingkat konsentrasi Amonia (NH_3) menggunakan pemodelan aplikasi AERMOD.

D. Ruang Lingkup

Batasan-batasan dari penelitian ini yaitu:

- 1) Parameter yang diukur dalam penelitian adalah amonia (NH_3)
- 2) Lokasi penelitian terletak di 6 Jalan Arteri Bermedian di Kota Makassar meliputi Jalan Perintis Kemerdekaan, Jalan Sultan Alauddin, Jalan AP. Pettarani, Jalan Urip Sumoharjo, Jalan Veteran Utara, dan Jalan Veteran Selatan.

Penelitian dilakukan selama 6 hari pada hari kerja (*weekdays*) yaitu pada 27 – 28 Mei, 31 Mei, 3 dan 9 – 10 Juni 2021 selama 1 jam pada tiap interval waktu pagi, siang, dan sore.

- 3) Pengambilan sampel udara dilakukan dengan 1 titik impinger pada setiap ruas jalan.
- 4) Volume kendaraan diasumsikan sama sepanjang jalan tersebut tanpa mempertimbangkan setiap persimpangan / belokan yang ada (volume kendaraan yang masuk sama besar dengan volume kendaraan saat keluar dari jalan tersebut).

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini yaitu:

- 1) **Bagi Penulis**
Sebagai syarat untuk dapat menyelesaikan studi agar mendapat gelas ST (Sarjana Teknik) di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- 2) **Bagi Universitas**
Dapat dijadikan referensi bagi generasi-generasi selanjutnya yang berada di Departemen Teknik Lingkungan, terutama yang mengambil konsentrasi/ lab riset Kualitas Udara dalam mengerjakan tugas, pembuatan laporan praktikum, dan dalam tahap penyusunan tugas akhir.
- 3) **Bagi Masyarakat**
Memberikan pengetahuan bagi masyarakat terutama pengguna jalan di lokasi penelitian mengenai pencemaran udara dengan parameter NH_3 yang dihasilkan kendaraan bermotor yang melintasi jalan tersebut.

F. Sistematika Penulisan

Penulisan laporan penelitian tugas akhir ini terdiri atas beberapa bab dimana masing-masing bab akan membahas masalah tersendiri. Sistematika penulisan laporan sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam bab ini dijelaskan latar belakang, identifikasi permasalahan pada objek penelitian tugas akhir, maksud dan tujuan, ruang lingkup/ batasan masalah, manfaat penelitian, dan bagaimana sistematika penulisan.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Dalam bab ini dijelaskan landasan latar belakang, identifikasi permasalahan pada objek penelitian tugas akhir, maksud dan tujuan, ruang lingkup/ batasan masalah, manfaat penelitian, dan bagaimana sistematika penulisan.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini dijelaskan langkah-langkah atau prosedur pengambilan serta pengolahan data hasil penelitian.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

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

BAB 5 PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil analisis data yang telah dilakukan di bab sebelumnya serta saran yang diberikan berkaitan penelitian yang telah dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Udara Ambien

Udara merupakan komponen yang membentuk atmosfer bumi, yang membentuk zona kehidupan pada permukaan bumi. Di dalam udara terkandung campuran dari berbagai macam gas dengan komponen penyusun yang terdiri atas gas nitrogen 78%, oksigen 20%, argon 0,93%, karbon dioksida 0,03%, dan sisanya dalam bentuk gas yang lain seperti gas-gas mulia, nitrogen oksida, hidrogen, metana, belerang dioksida, ammonia, dan lain-lain (Kamal, 2015).

Udara dapat dikelompokkan ke dalam dua jenis, yaitu udara ambient dan udara emisi. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PPRI) No. 41 Tahun 1999, emisi adalah zat, energi dan/atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk dan/atau dimasukkannya ke dalam udara ambien yang mempunyai dan/atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar. Sedangkan udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfir yang dibutuhkan dan memengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup dan unsur lingkungan hidup lainnya.

Udara terdiri dari berbagai gas dalam kadar yang tetap pada permukaan bumi, kecuali gas metana, amonia, hidrogen sulfida, karbon monoksida dan nitrogen oksida yang mempunyai kadar yang berbeda-beda tergantung daerah/lokasi. Umumnya konsentrasi metana, amonia, hidrogen sulfida, karbon monoksida dan nitrogen oksida sangat tinggi di area rawa-rawa atau industri kimia (Chandra, 2007).

Udara dikatakan normal dan dapat mendukung kehidupan manusia apabila tidak terjadi penambahan gas lain yang menimbulkan gangguan dan/atau perubahan komposisi udara, sehingga udara bebas yang telah mengalami penambahan dan perubahan komposisi di atas nilai batas normal udara ambien dapat dikatakan udara tersebut sudah tercemar atau terpolusi (Mukono dalam Putri G.L., 2018).

Dalam upaya menjaga mutu udara ambien agar tetap dapat memberikan daya dukung bagi makhluk hidup sesuai fungsinya maka dilakukan pencegahan atau penanggulangan pencemaran udara, salah satunya melalui kegiatan pengukuran kualitas udara. Pengukuran kualitas udara ambien bertujuan untuk mengetahui konsentrasi zat pencemar yang ada di udara. Data hasil pengukuran tersebut sangat diperlukan untuk berbagai kepentingan, diantaranya untuk mengetahui tingkat pencemaran udara di suatu daerah atau untuk menilai keberhasilan program pengendalian pencemaran udara yang sedang dijalankan (PP No. 41 Tahun 1999).

B. Pencemaran Udara

1. Pengertian Pencemaran Udara

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

Berlebihnya tingkat konsentrasi zat pencemar hingga melampaui ambang batas toleransi yang diperkenankan akan mempunyai dampak negatif yang berbahaya terhadap lingkungan, baik bagi manusia, tumbuh-tumbuhan, hewan dan rusaknya benda-benda (material) serta berpengaruh pada kualitas air hujan (hujan asam), yang berakibat pada mata rantai berikutnya yaitu pada ekosistem (Budiyono, 2018).

Menurut *"The Engineers" Joint Council in Air Pollutions and Its Control* dalam Kamal (2015), pencemaran udara diartikan hadirnya satu atau beberapa kontaminan di dalam udara atmosfer di luar, antara lain oleh debu, busa, gas, kabut, bau-bauan, asap atau uap dalam kuantitas yang banyak, dengan berbagai sifat maupun lama berlangsungnya di udara tersebut, hingga menimbulkan gangguan terhadap kehidupan manusia, tumbuh-tumbuhan atau binatang maupun benda, atau tanpa alasan jelas sudah dapat memengaruhi kelestarian organisme maupun benda.

2. Sumber Pencemaran Udara

Sumber pencemar adalah setiap usaha dan/atau kegiatan yang mengeluarkan bahan pencemar ke udara yang menyebabkan udara tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya (PP No. 41 Tahun 1999). Menurut Amalia (2017) pada wilayah perkotaan, sebagian besar pencemaran udara disebabkan karena pembakaran sumber energi yang kekuatan emisinya sangat bergantung pada intensitas aktivitas antropogenik di daerah yang bersangkutan. Emisi pencemar yang bersumber dari aktivitas manusia umumnya dihasilkan dalam jumlah yang jauh lebih besar daripada emisi pencemar dari sumber alami. Sumber pencemar alami hanya memberikan kontribusi terhadap konsentrasi latar di daerah perkotaan dan tidak memberikan dampak yang signifikan, sedangkan kualitas udara ambien lebih dipengaruhi oleh aktivitas kehidupan manusia. Pada umumnya pencemaran yang diakibatkan oleh sumber alami sukar diketahui besarnya. Walaupun demikian masih mungkin kita memperkirakan banyaknya polutan udara dari aktivitas ini. Polutan udara sebagai hasil aktivitas manusia umumnya lebih mudah diperkirakan banyaknya, terlebih lagi jika diketahui jenis bahan, spesifikasi bahan, serta proses berlangsungnya aktivitas.

Berdasarkan PP No. 41 Tahun 1999, terdapat delapan parameter pencemar udara yang terdiri atas debu, NH_3 , Pb, CO, SO_2 , hidrokarbon, NO_x , dan H_2S . Kedelapan parameter tersebut secara bersamaan atau sendiri-sendiri memiliki potensi bahaya bagi lingkungan, baik bahaya bagi kesehatan masyarakat, hewan, tanaman, maupun bagi material (benda) seperti bangunan, logam, dan lain-lain (Yunita, 2017).

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara menggolongkan sumber pencemaran udara dalam lima jenis, yakni :

1. Sumber bergerak : sumber emisi yang bergerak atau tetap pada suatu tempat yang berasal dari kendaraan bermotor.
2. Sumber bergerak spesifik : serupa dengan sumber bergerak namun berasal dari kereta api, pesawat terbang, kapal, laut dan kendaraan berat lainnya.

3. Sumber tidak bergerak : sumber emisi yang tetap pada suatu tempat.
4. Sumber tidak bergerak spesifik : serupa dengan sumber tidak bergerak namun berasal dari kebakaran hutan dan pembakaran sampah.
5. Sumber gangguan : sumber pencemar yang menggunakan media udara atau padat untuk penyebarannya, sumber ini berupa dari kebisingan, getaran, kebauan dan gangguan lain

Menurut Soedomo (2001) dalam Amalia (2017), jenis sumber-sumber pencemar dibedakan berdasarkan:

a. Perilakunya di Atmosfer

1. Pencemar udara primer, komposisinya tidak akan mengalami perubahan di atmosfer baik secara kimia maupun fisis dalam jangka waktu yang relatif lama (harian sampai tahunan dan akan tetap seperti komposisinya seperti waktu diemisikan oleh sumber). Pencemar ini misalnya CO, CO₂, NO₂, TSP, metana, senyawa halogen, partikel logam dan lain-lain. Pencemar ini memiliki waktu tinggal yang lama di atmosfer karena sifatnya yang stabil terhadap reaksi-reaksi kimia fisik atmosfer.
2. Pencemar udara sekunder, terbentuk di atmosfer sebagai hasil reaksi-reaksi atmosfer seperti hidrolisis, oksidasi, dan reaksi fotokimia. Berbagai jenis bahan pencemar terkadang akan bereaksi satu sama lain dan menghasilkan jenis pencemar baru, yang justru lebih membahayakan kehidupan. Reaksi ini dapat terjadi secara otomatis ataupun dengan cara bantuan katalisator, seperti sinar matahari. Contoh pencemar sekunder adalah Ozon, formal dehidat, dan Peroxy Acyl Nitrate (PAN).

b. Pola Emisinya

1. Sumber pencemaran titik (*point source*), sumber pencemar dari lokasi tertentu yang mengemisikan gas secara kontinyu dalam bentuk tidak bergerak (titik). Contohnya adalah cerobong asap

2. Sumber pencemaran garis (*line source*), sumber pencemaran yang mengemisikan gas dalam bentuk garis. Contohnya adalah pencemaran udara di sepanjang jalan raya, emisi gas buang kendaraan bermotor, dan juga kepulan asap dari bangunan industri yang tanpa cerobong asap sehingga emisinya menyebar secara memanjang.
3. Sumber pencemaran area (*area source*), sumber pencemaran yang mengemisikan gas pada luasan tertentu. Contohnya adalah emisi gas dari peristiwa kebakaran hutan yang luas, penyebaran emisi terjadi secara luas dalam satu area luasan.
4. Sumber pencemar volume (*volume source*), emisi gas yang berasal dari sumber yang memiliki volume tertentu. Misalnya emisi gas dari bangunan lengan jendela, pintu dan ventilasi terbuka.
5. Sumber pencemaran *puff*, sumber pencemar yang bersifat sesaat. Misalnya pengeluaran emisi gas debu pada waktu akibat rusaknya salah satu alat prediksi.

Menurut Sunu (2001) dalam Abdullah (2018), jenis pencemaran udara antara lain:

- a. Berdasarkan Bentuk
 1. Gas, adalah uap yang dihasilkan dari zat padat atau zat cair karena dipanaskan atau menguap sendiri. Misalnya CO₂, H₂S, NH₃, dan lain-lain.
 2. Partikel, adalah suatu bentuk pencemaran udara yang berasal dari zarah-zarah kecil yang terdispersi ke udara, baik berupa padatan, cairan, maupun padatan dan cairan secara bersama-sama. Contohnya seperti asap, debu, kabut, dan lain-lain.
- b. Berdasarkan Tempat
 1. Pencemaran udara dalam ruang (*indoor air pollution*) yang juga disebut sebagai udara tidak bebas, seperti di rumah, pabrik, bioskop, sekolah, rumah sakit, dan bangunan-bangunan lainnya. Sumber pencemar indoor adalah kegiatan yang dilakukan di dalam ruangan

dan menghasilkan zat pencemar udara yang dapat mempengaruhi kualitas udara di dalam ruangan tersebut, contohnya kegiatan sehari-hari seperti memasak, fotokopi, cat rumah, bahan kimia pembersih, radiasi *microwave*, dan lain sebagainya.

2. Pencemaran udara luar ruang (*outdoor pollution*) yang disebut juga udara bebas seperti asap-asap dari cerobong industri maupun kendaraan bermotor. Sumber pencemar outdoor adalah kegiatan yang dilakukan di luar lapangan yang berpotensi menghasilkan zat pencemar udara yang dapat mempengaruhi kualitas udara ambien, contohnya adalah kegiatan transportasi, pembakaran sampah, cerobong industri, dan lain-lain.

c. Berdasarkan Gangguan atau Efeknya Terhadap Kesehatan

1. *Irritansia*, yaitu zat pencemar yang dapat menimbulkan iritasi jaringan tubuh, seperti SO₂, O₃, dan NO₂.

2. *Aspeksia*, adalah keadaan dimana darah kekurangan oksigen dan tidak mampu melepas CO₂. Gas penyebab tersebut seperti CO, H₂S, NH₃, dan CH₄.

3. *Anestesia*, adalah zat yang mempunyai efek membius dan biasanya merupakan pencemaran udara dalam ruang. Contohnya Formaldehide dan Alkohol.

4. *Toksis*, adalah zat pencemar yang menyebabkan keracunan. Zat penyebabnya seperti Timbal, Cadmium, Flour, dan Insektisida.

d. Berdasarkan Susunan Kimia

1. Anorganik, adalah zat pencemar yang tidak mengandung karbon seperti asbestos, amonia, asam sulfat, dan lain-lain.

2. Organik, adalah zat pencemar yang mengandung karbon seperti pestisida, herbisida, beberapa jenis alkohol, dan lain-lain.

e. Berdasarkan Asalnya

1. Primer, adalah semua pencemar yang berada di udara dalam bentuk hampir tidak berubah. Pencemar primer pada umumnya berasal dari

sumber-sumber yang diakibatkan oleh aktifitas manusia dan dapat juga diakibatkan oleh aktivitas alam. Sebagai contoh pencemaran yang timbul akibat gunung meletus maupun pencemaran yang bersumber dari industri maupun emisi kendaraan bermotor seperti CO, SO₂, NO_x, H₂S, dan NH₃ bertindak sebagai *precursor* untuk terbentuknya zat pencemar sekunder.

2. Sekunder, adalah semua pencemar di udara yang sudah berubah karena hasil reaksi tertentu antara dua atau lebih kontaminan/cemaran primer dengan kontaminan/cemaran lain yang ada dalam udara. Contohnya Peroxy Acetil Nitrat (PAN)

C. Emisi Kendaraan Bermotor

1. Pengertian Emisi

Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 13 Tahun 1995 emisi didefinisikan sebagai masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan atau komponen lain ke udara ambien. Emisi kendaraan bermotor mengandung berbagai senyawa kimia. Bahan bakar yang dikeluarkan oleh mesin dengan bahan bakar bensin maupun solar sebenarnya memiliki kandungan gas buang yang tidak jauh berbeda komposisinya. Komposisi dari gas buang ini bergantung kepada kondisi mengemudi, jenis mesin, alat pengendali emisi bahan bakar, suhu operasi dan faktor lain yang membuat pola emisi menjadi rumit (Hickman, 1999 dalam Tarigan 2008).

Emisi utama yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor meliputi prekursor (pembentuk) ozon (CO, NO_x, senyawa organik volatil non-metana), gas rumah kaca (CO₂, CH₄, N₂O), 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 di jalan raya timbul dari pembakaran bahan bakar seperti bensin, solar, bahan bakar gas cair (LPG), dan gas alam pada mesin pembakaran internal.

Fenomena meningkatnya jumlah kendaraan bermotor secara signifikan dan terus menerus akan mengakibatkan kebutuhan akan pemakaian bahan bakar minyak

(BBM) juga semakin meningkat khususnya bahan bakar solar dan bensin. Penggunaan bahan bakar yang banyak tentu akan menyebabkan emisi gas buang yang banyak pula. Meskipun perkembangan teknologi terbaru secara signifikan dapat mengurangi jumlah emisi, namun tingkat kenaikan dari jumlah kendaraan bermotor yang cukup tinggi masih belum dapat mengatasi permasalahan emisi tersebut.

Proses pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor menghasilkan gas CO₂ dan H₂O sebagai produk utama. Namun selain kedua gas tersebut, proses pembakaran juga menghasilkan beberapa produk sampingan yang berasal dari oksidasi bahan bakar yang tidak sempurna (CO, hidrokarbon (THC), PM) atau dari oksidasi senyawa-senyawa seperti NO_x dari N₂ di udara, SO_x dari S dalam bahan bakar dan pelumas, dan lain-lain. Untuk mematuhi regulasi/ undang-undang tentang emisi, pada kendaraan telah dipasang berbagai perangkat untuk mengendalikan emisi gas buang dari kendaraan ke udara ambien misalnya konverter katalitik. Namun, sebagai akibat dari aksinya, perangkat tersebut menghasilkan polutan dalam jumlah kecil seperti NH₃ dan N₂O (EEA, 2019).

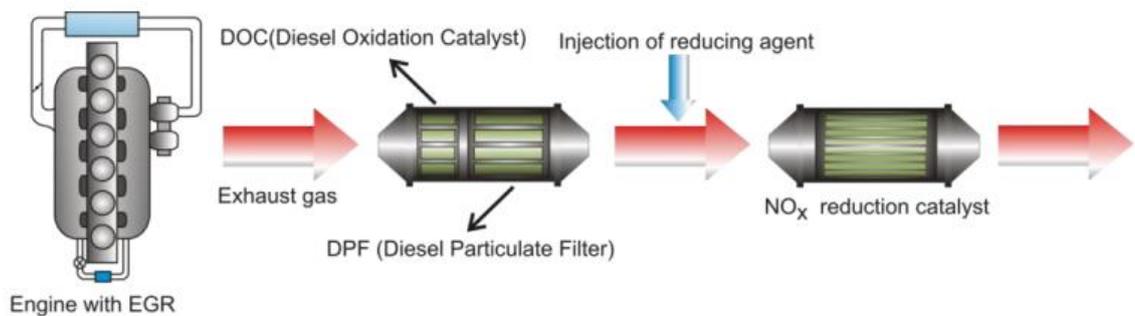
Konverter katalitik mulai diperkenalkan pada tahun 1981 dan telah menjadi perlengkapan standar pada mobil dan truk ringan (*light duty vehicles*). Konverter katalitik merupakan struktur keramik yang dilapisi dengan kombinasi platinum, rhodium, atau paladium dan berfungsi untuk mengubah polutan yang membahayakan pada gas buang menjadi gas yang tidak membahayakan. Alat ini dipasang pada sistem pembuangan, sehingga semua gas buang harus mengalir melaluinya. Di dalam katalitik konverter, gas buang melewati suatu permukaan luas yang dilapisi katalis. Lapisan ini berbentuk butiran kecil atau pelet yang ditempatkan pada sebuah alas atau pada keramik berbentuk sarang madu.

Pada tahun 70an, regulasi *Clean Air Act* di Amerika Serikat telah mendorong inovasi teknologi dalam dunia otomotif yaitu dengan munculnya penggunaan katalisis untuk memproses gas buang kendaraan. Pada awal pemanfaatan katalis dalam dunia otomotif, katalis digunakan untuk mengurangi emisi CO dalam mesin bensin dengan dukungan katalis yang mengoksidasi CO menjadi CO₂ (Azis, 2019)

Pada perkembangan selanjutnya, katalis otomotif berkembang menjadi *three-way catalyst* (TWC) dengan fungsi oksidasi dan reduksi. TWC mengubah 3 polutan yaitu CO dan Hidrokarbon menjadi CO₂ (fungsi oksidasi) serta mengubah NO_x menjadi N₂ (fungsi reduksi) secara simultan. 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*). Pada katalitik tiga arah atau TWC, NH₃ terbentuk melalui *steam reforming* (salah satu proses pembuatan gas hidrogen dari bahan yang mengandung karbon seperti biomassa dan etanol) dan / atau melalui reaksi nitrogen monoksida (NO) dengan molekul hidrogen (H₂) yang dihasilkan dari reaksi pergeseran air-gas antara CO dan air (Bertoa dkk, 2014).

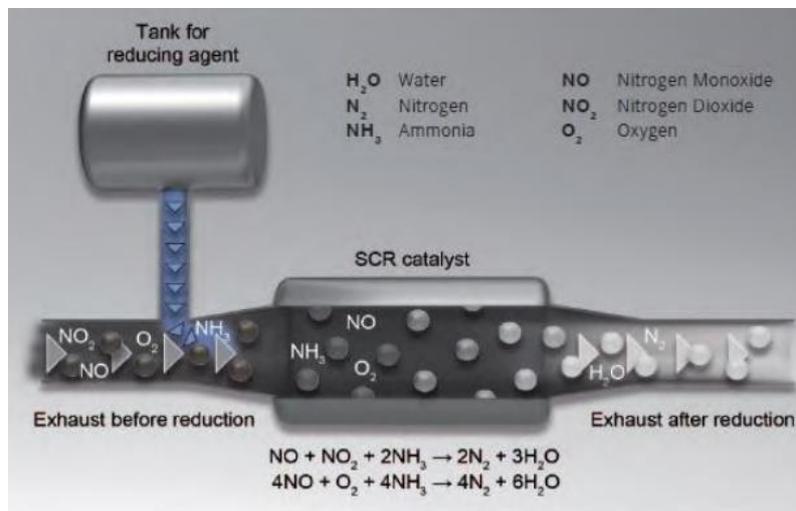
Meski efektif dalam menekan polutan gas, TWC hanya efektif digunakan pada mesin berbahan bakar bensin yang beroperasi pada *stoichiometric conditions*. Pada mesin bensin, jumlah O₂ yang disuplai kedalam mesin pembakaran dikontrol secara ketat sesuai dengan jumlah bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar. Untuk mencapai kondisi stoikiometris, rasio antara udara (sumber pembawa O₂) dan bahan bakar ini berkisar 14.7 (massa/massa) atau dikenal juga sebagai lambda ratio 1. Sayangnya, penggunaan TWC dalam kendaraan bermesin diesel tidak efektif lagi dalam menurunkan emisi NO karena proses pembersihan gas buang pada kendaraan diesel lebih rumit dengan melibatkan berbagai unit. Oleh karena itu perlu dilakukan penambahan katalis. Sistem pembersihan gas buang kendaraan diesel berbasis katalis umumnya menggunakan 3 unit dasar yaitu *Diesel Oxidation Catalyst* (DOC), *Diesel Particulate Filter* (DPF) dan *Selective Catalytic Reduction* (SCR). DOC berfungsi membantu proses oksidasi komponen NO, CO dan HC. Idealnya, produk utama dari DOC akan didominasi oleh NO₂ dan CO₂. Meski demikian, selain ketiga reaksi utama di atas, ada juga reaksi samping yang tidak diharapkan yaitu konversi SO₂ menjadi H₂SO₄ yang dapat membentuk padatan dan dikenal sebagai particulate sulphate. Pembentukan padatan sulfat ini secara tidak langsung akan meningkatkan emisi *particulate matters* (PM) secara keseluruhan. Reaksi oksidasi NO merupakan salah satu reaksi utama dalam DOC. Meski DOC tidak mengubah sebagian besar NO menjadi N₂, pembentukan NO₂ dari oksidasi

NO menguntungkan bagi proses regenerasi DPF serta proses NH_3 - SCR. Setelah melewati DOC, gas buang selanjutnya diolah dalam *diesel particulate filter* (DPF) guna menyaring dan mengoksidasi polutan padatan PM. Prinsip kerja DPF dapat diibaratkan seperti filter (penyaring) pada umumnya yang didesain untuk menangkap padatan. Setelah melewati DPF, tahapan berikutnya dalam pembersihan gas buang adalah penghilangan senyawa NO_x dengan teknik *Selective Catalytic Reduction* (SCR). Teknologi NH_3 -SCR memanfaatkan penambahan urea kedalam umpan katalis SCR. Oleh karena itu, katalis tambahan dapat juga ditambahkan didepan katalis SCR guna membantu dekomposisi urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) yang menghasilkan NH_3 dan CO_2 . Selanjutnya, NH_3 yang dihasilkan akan bereaksi dengan NO_x di dalam katalis SCR dan mereduksi NO_x menjadi N_2 . Sebagai reduktan, NH_3 umumnya didapatkan dari larutan NH_3 atau larutan urea demi alasan keselamatan. Larutan ini selanjutnya diletakkan dalam tangki tambahan yang dikontrol oleh sopir. Larutan ini selanjutnya diinjeksikan kedalam saluran gas buang antara DPF dan katalis SCR seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Injeksi Larutan Pereduksi

Prinsip kerja pada SCR dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Prinsip Kerja SCR

Meski demikian, pemasangan katalis tambahan menyebabkan fenomena *ammonia slip* yaitu kondisi ketika amonia (NH₃) keluar ke udara ambien akibat berbagai faktor, misalnya umur kendaraan, perawatan kendaraan, maupun bahan bakar yang digunakan dalam kendaraan.

2. Jenis Kendaraan Bermotor

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

a. Sepeda Motor

Sepeda motor didefinisikan sebagai kendaraan bermotor roda dua dengan atau tanpa rumah-rumah dan dengan atau tanpa kereta samping atau kendaraan bermotor roda tiga tanpa rumah-rumah. Rodanya sebaris dan pada kecepatan tinggi sepeda motor tetap tidak terbalik dan stabil disebabkan oleh gaya giroskopik; pada kecepatan rendah pengaturan berkelanjutan setangnya oleh pengendara memberikan kestabilan. Pada saat ini, sepeda motor yang sering dipakai merupakan sepeda motor dengan 4 stak (*4-stroke*) (PPRI Nomor 55 Tahun 2012 tentang Kendaraan)

b. Mobil Penumpang (*Passengers Car*)

Mobil penumpang merupakan kendaraan yang digunakan untuk mengangkut penumpang dan terdiri tidak lebih dari delapan kursi selain kursi pengemudi (EEA, 2020). Di Indonesia bahan bakar yang umum digunakan pada mobil penumpang yaitu bensin (*petrol*) dan solar (*diesel*).

c. Kendaraan Komersial Ringan (*Light Commercial Vehicles*)

Kendaraan komersial ringan merupakan kendaraan bermotor yang digunakan untuk mengangkut barang dan memiliki berat maksimum tidak melebihi 3,5 ton (EEA, 2020). Bahan bakar yang umum digunakan adalah bensin (*petrol*) dan solar (*diesel*).

d. Kendaraan Berat (*Heavy Duty Vehicles*)

Kendaraan berat merupakan kendaraan bermotor yang digunakan untuk mengangkut barang dan memiliki berat maksimum 3,5 ton hingga 12 ton, biasanya menggunakan bahan bakar solar (*diesel*) (EEA, 2020).

e. Mobil Bus

Mobil bus merupakan kendaraan bermotor yang digunakan untuk mengangkut penumpang dan terdiri lebih dari delapan kursi selain kursi pengemudi, memiliki berat maksimum melebihi 5 ton.

3. Besaran Emisi Kendaraan Bermotor

Menurut Kusuma et al (2010), faktor emisi merupakan koefisien yang menghubungkan antara aktivitas dengan sumber emisi. Faktor ini dapat menyatakan emisi untuk masing-masing unit berdasarkan pada bahan bakar.

Menurut Hickman dalam Tarigan (2008), beberapa metode dapat digunakan untuk menghitung emisi, yaitu: perhitungan yang didasarkan kepada kegiatan transportasi. Ini merupakan metode dasar atau suatu metode yang umum menghitung emisi yang bersumber dari kendaraan bermotor di jalan; perhitungan yang didasarkan kepada konsumsi energi, perhitungan yang didasarkan kepada neraca karbon; serta perhitungan yang dilakukan untuk polutan spesifik.

Faktor emisi dinyatakan dalam satuan gram per kilometer kendaraan, dimana hal ini menunjukkan bahwa faktor emisi adalah massa polutan (gram) yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor setiap kilometer yang dijalani. Faktor emisi

dibedakan berdasarkan kategori jenis kendaraan. Faktor emisi parameter amonia (NH₃) diperoleh berdasarkan pengklasifikasian *European Environment Agency* (EEA) yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Faktor Emisi untuk Parameter NH₃

No	Kategori untuk Perhitungan Beban Pencemar Udara	Jenis Bahan Bakar	NH ₃ g/km
1	Mobil Penumpang (<i>Passenger Cars</i>)	<i>Petrol</i>	0,1043
		<i>Diesel</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>Diesel</i>	0,0029
5	Motor (<i>L-Category</i>)	<i>Petrol</i>	0,0019

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

Untuk ruas jalan arteri dengan panjang L, karakteristik lalu lintas dianggap tetap, maka intensitas emisi sumber garis dihitung dengan formula pada persamaan 1.

$$E_p = \sum_{i=1}^n L * Ni * Fpi \quad (1)$$

Dimana :

L = panjang jalan yang diteliti (km)

Ni = Jumlah kendaraan bermotor tipe I yang melintas ruas jalan (kend/jam)

Fpi = Faktor emisi kendaraan bermotor tipe I (g/km)

I = tipe kendaraan bermotor

Ep = Intensitas emisi dari satuan ruas (g/jam)

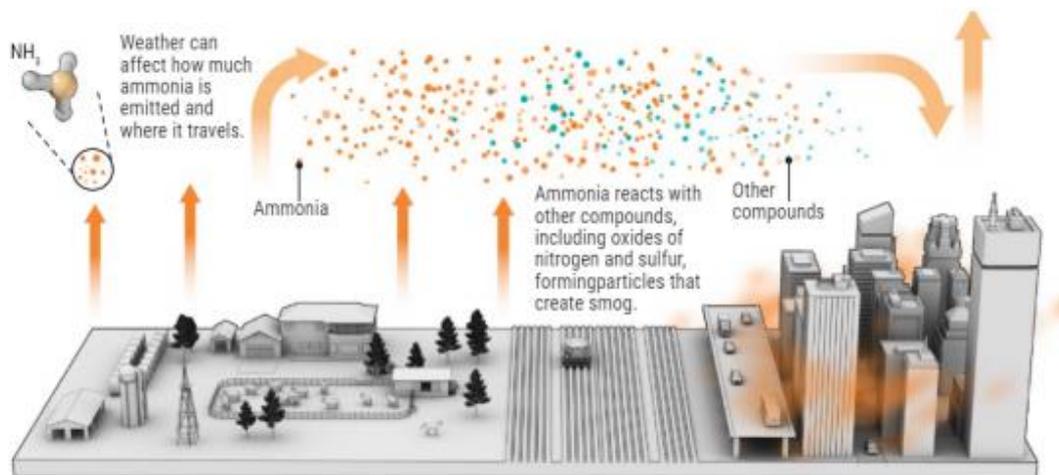
P = jenis polutan yang diestimasi

D. Amoniak (NH₃)

1. Pengertian Amoniak (NH₃)

Amoniak adalah salah satu indikator pencemar udara pada bentuk kebauan. Gas amoniak adalah gas yang tidak berwarna, memiliki bau yang menyengat. Biasanya, amoniak berasal dari aktifitas mikroba, industri amoniak, pengolahan limbah dan pengolahan batu bara. Gas amoniak memiliki waktu tinggal yang relatif pendek di atmosfer, karena diendapkan kembali ke permukaan tanah melalui proses deposisi kering (proses jatuhnya asam ke bumi melalui gas dan debu atau partikel akibat pengaruh gravitasi dan difusi atmosfer) atau bereaksi dengan cepat dengan polutan asam (Farren dkk, 2020).

Setelah dilepaskan ke atmosfer, amonia dikembalikan ke permukaan sebagai amonia gas atau sebagai ion amonium. Ion amonium dapat diasosiasikan dengan nitrat, sulfat, atau beberapa anion lain dan dimasukkan ke dalam aerosol atau sebagai bagian dari campuran ionik yang ditemukan di awan dan tetesan hujan. Amoniak di atmosfer bereaksi dengan nitrat dan sulfat sehingga terbentuk garam amoniak yang sangat korosif. Gas ammonia di atmosfer akan menyebabkan terbentuknya aerosol anorganik sekunder senyawa ammonium, termasuk ammonium sulfat ((NH₄)₂SO₄), ammonium bisulfat (NH₄HSO₄), dan ammonium nitrat (NH₄NO₃) (Bauer, 2016). 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 pula PM 2.5, yang dapat menempuh jarak jauh di atmosfer. Proses terbentuknya PM 2,5 di atmosfer dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Proses Terbentuknya PM 2,5 di Atmosfer

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

Sumber amoniak adalah reduksi gas nitrogen yang berasal dari proses difusi udara atmosfer, limbah industri dan domestik. Amoniak disintesis dengan reaksi reversibel antara hidrogen dengan nitrogen (Pohan, 2002). Pada tahun 2018, kegiatan pertanian diperkirakan menyumbang 84% dari total emisi NH₃ di Inggris dan negara-negara di Eropa. Namun, terdapat sumber tambahan NH₃ selain dari pertanian, termasuk emisi dari kendaraan bermotor (Farren dkk, 2020).

Sumber utama emisi NH₃ dari kendaraan bermotor berasal dari Konverter katalitik yang berada pada saluran buang kendaraan bermotor. Konverter katalitik ini merupakan teknologi yang dipasang untuk mengurangi gas berbahaya yang dikeluarkan kendaraan bermotor ke udara ambien, dalam hal ini pencemar NO_x. Teknologi ini mampu mengurangi 80-95 persen emisi NO_x. Sistem SCR ini

mengurangi NOx dengan cara mencampurkan urea cair/amonia (NH_3) dan oksigen (O_2) yang ada di katalis, dengan NOx dalam gas buang, untuk membentuk molekul nitrogen (N_2) dan air (H_2O). Namun, NH_3 tidak dilepaskan langsung dari mesin pembakaran internal, melainkan terbentuk sebagai konsekuensi yang tidak diinginkan dari teknologi yang diperkenalkan untuk mengurangi emisi NOx.

Saat ini penelitian terhadap keberadaan amonia (NH_3) di atmosfer atau udara masih sangat terbatas, utamanya yang bersumber dari kendaraan bermotor. Di Indonesia, salah satu pengukuran kualitas udara NH_3 di udara ambien pernah dilakukan di wilayah Puspiptek Serpong. Wilayah Puspiptek Serpong ini merupakan kawasan yang dekat dengan perkotaan, kegiatan industri, sektor agrikultural dan peternakan, serta dekat dengan jalur lintas Bogor – Tangerang yang dilalui oleh kendaraan bermotor, mobil dan truk besar yang sering melintas sehingga memicu adanya pencemaran di wilayah ini. Pengukuran NH_3 menghasilkan nilai konsentrasi pada rentang $0,76 - 1,76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan suhu $27,8^\circ\text{C} - 28,6^\circ\text{C}$ (Sodikin, 2020)

Penelitian lain tentang konsentrasi amonia (NH_3) di udara ambien juga dilakukan di Kota Ibadan, Nigeria. Pengambilan sampel dilakukan di 10 lokasi dekat jalan utama di kawasan perumahan, komersial, dan kawasan industri menggunakan impinger yang berisikan larutan penjerap. Sampel diambil 2 kali dalam sehari yaitu pada pagi dan sore hari. Konsentrasi amonia yang didapat berada pada rentang $5,2 - 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan volume kendaraan $2.253 - 24.930$ kendaraan/hari. Alasan utama tingginya tingkat emisi kendaraan di Ibadan adalah banyaknya kendaraan di jalan-jalan yang padat, kendaraan dengan perawatan yang buruk dan penggunaan bahan bakar yang buruk, serta manajemen transportasi yang tidak efektif. (Ipeaiyeda dan Adegboyega, 2017).

Selain di Nigeria, penelitian amonia di atmosfer juga dilakukan di India tepatnya pada Kota Durgapur, Distrik Burdwan. Penelitian dilakukan di 3 kawasan yaitu kawasan I yang mewakili daerah dengan tingkat kepadatan kendaraan tinggi yaitu dekat dengan Jalan Raya Nasional atau *Grand Trunk Road* (GT Road), kawasan II yang mewakili daerah pemukiman, dan kawasan III yang mewakili daerah industri. Penelitian dilakukan dari akhir Maret sampai pertengahan Juni

dengan rata-rata temperatur harian mendekati 32°C Konsentrasi amonia ambien ditentukan dengan metode indophenol blue di laboratorium. Konsentrasi amonia untuk pengukuran 24 jam yang tertinggi berada pada kawasan I dengan rata-rata 109,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada rentang 17,1 – 231,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan terendah di kawasan II dengan rata-rata 13,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada rentang 4,2 – 292 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Dey Sharadia, *et. al*, 2017).

2. Dampak Amoniak (NH_3)

Gas ammonia adalah suatu gas yang tidak berwarna, dan menimbulkan bau yang sangat kuat. Dalam udara, ammonia dapat bertahan kurang lebih satu minggu. Ketika terpapar ammonia, banyak faktor yang menentukan apakah ammonia berbahaya bagi tubuh. Faktor-faktor ini termasuk dosis (berapa banyak), durasi (berapa lama), dan bagaimana kita berinteraksi dengan polutan ini (ATSDR, 2004)

Gas ammonia terpajan melalui pernapasan dan dapat mengakibatkan iritasi yang kuat terhadap sistem pernapasan. Karena sifatnya yang iritasi, polutan ini dapat merangsang proses peradangan pada saluran pernapasan bagian atas yaitu saluran pernapasan mulai dari hidung hingga tenggorokan. Terpajan gas ammonia pada tingkatan tertentu dapat menyebabkan gangguan pada fungsi paru-paru dan sensitivitas indera penciuman (Prabowo dan Muslim, 2018).

Pajanan kronis tingkat rendah ammonia di udara (< 25 ppm) memberikan efek yang rendah pada fungsi paru dan menimbulkan sensitivitas bau (ASTDR, 2004). Efek jangka pendek terpapar ammonia adalah iritasi terhadap saluran pernapasan, hidung, tenggorokan, mata terjadi pada 400-700 ppm. Sedang pada 5000 ppm menimbulkan kematian. Kontak dengan mata dapat menimbulkan iritasi hingga kebutaan total. Kontak dengan kulit dapat menyebabkan luka bakar (*frostbise*). Efek jangka panjang (kronis) menghirup uap asam dalam jangka panjang dapat mengakibatkan iritasi pada hidung, tenggorokan dan paru-paru, dan bronchitis (Firdaus, 2015). Dampak gas ammonia terhadap kesehatan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Dampak Gas Amonia terhadap manusia sesuai tingkatan konsentrasinya

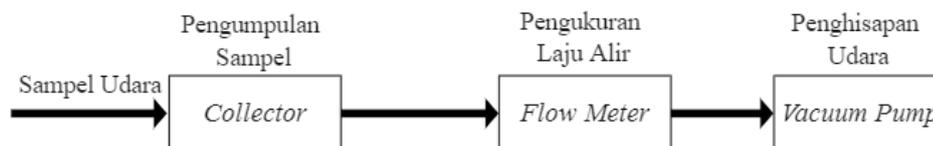
Konsentrasi (ppm)	Efek Pada Manusia
0,5 – 1,0 ppm	Bau mulai tercium

Konsentrasi (ppm)	Efek Pada Manusia
25 – 50 ppm	Bau dapat ditandai, pada umumnya sedikit menimbulkan dampak
50 – 100 ppm	Mengakibatkan iritasi ringan pada mata, hidung dan tenggorokan, toleransi dapat terjadi dalam 1-2 minggu tanpa memberi dampak
140 ppm	Menimbulkan iritasi tingkat menengah pada mata, tidak menimbulkan dampak yang lebih parah selama kurang dari 2 jam
400 ppm	Mengakibatkan iritasi tingkat menengah pada tenggorokan
500 ppm	Merupakan kadar yang memberikan dampak bahaya langsung pada kesehatan
700 ppm	Bahaya tingkat menengah pada mata
1000 ppm	Dampak langsung pada jalan pernapasan
1700 ppm	Mengakibatkan laryngo spasm
2500 ppm – 5000 ppm	Mengakibatkan nekrosis dan kerusakan jaringan permukaan jalan pernapasan sakit pada dada, edema paru, dan bronchospasm
5000 ppm	Berakibat fatal dapat mengakibatkan kematian mendadak

Sumber: Setiawan, 1996

3. Pengukuran Konsentrasi NH₃ menggunakan Air Sampling Impinger

Pelaksanaan pengambilan sampel udara dilaksanakan sesuai dengan prinsip sampling. Umumnya prinsip sampling udara seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Prinsip Sampling Udara

Peralatan sampling umumnya terdiri dari *collector*, *flowmeter*, dan *vacuum pump*. Untuk mengumpulkan sampel gas/udara dapat digunakan *collector* seperti *impinger*, *fritted bubbler* atau *tube adsorber* dimana sampel akan bereaksi terhadap penyerap yang spesifik. Sedangkan untuk mengumpulkan sampel berupa partikel

diperlukan filter. *Flowmeter* berfungsi untuk mengetahui volume udara yang terkumpul atau yang masuk ke dalam tabung *impinger*, dapat berupa *dry gas meter*, *wet gas meter* atau *rotameter*. *Vacuum pump* digunakan untuk menghisap udara ke dalam *collector*, dengan kapasitas hisap maksimum 2,0 liter udara/menit. Kecepatan pengisapan udara pada alat *impinger* berada pada rentang 0,25 – 2,5 L/menit. Kecepatan aliran udara merupakan nilai yang sangat berpengaruh pada pengambilan sampel udara, karena akan mempengaruhi perhitungan hasil analisis (Koesmawati dan Suryapranata, 2017).

Pengukuran kualitas udara ambien umumnya dilakukan menggunakan *Air Sampling Impinger* dan dilakukan berdasarkan prosedur masing-masing sesuai SNI yang telah ditetapkan. Pengambilan sampel dengan *impinger* pada hakekatnya adalah menarik udara terkontaminasi ke dalam larutan penangkap yang terdapat di dalam tabung *impinger*. Gas kontaminan bereaksi dengan larutan penyerap, dibantu dengan adanya tonjolan pada ujung pipa gelas bagian bawah sehingga terjadi gelembung udara yang dapat membantu reaksi antara udara dengan larutan penyerapnya. Semakin kecil gelembung udara yang terbentuk akan semakin baik reaksi yang terjadi (Koesmawati dan Suryapranata, 2017).

Untuk gas amonia (NH_3), pengukuran kualitas udara ambien dilakukan dengan metode indofenol menggunakan spektrofotometer. Prinsip pengukuran kualitas udara untuk parameter amonia (NH_3) adalah amonia dari udara ambien yang telah dijerap oleh larutan penyerap asam sulfat, akan membentuk ammonium sulfat. Kemudian direaksikan dengan fenol dan natrium hipoklorit dalam suasana basa, akan membentuk senyawa kompleks indofenol yang berwarna biru. Intensitas warna biru yang terbentuk diukur dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 630 nm.

Setelah diukur menggunakan spektrofotometer akan keluar nilai absorbansi yang digunakan dalam perhitungan konsentrasi. Volum contoh uji gas yang diambil, dikoreksi pada kondisi normal (25°C , 760 mmHg) dengan menggunakan rumus pada persamaan 2

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

Dimana:

V = volum udara yang dihisap dikoreksi pada kondisi normal 25°C, 760 mmHg

F₁ = laju alir awal (L/menit)

F₂ = laju alir akhir (L/menit)

t = waktu pengambilan contoh uji (menit)

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

T_a = temperature rata-rata selama pengambilan contoh uji (°K)

298 = temperature pada kondisi normal 25°C (°K)

760 = tekanan pada kondisi normal 1 atm (mmHg)

Perhitungan konsentrasi NH₃ di udara ambien dihitung dengan rumus pada persamaan 3

$$C = \frac{a}{V} \times 1000 \quad (3)$$

Dimana:

C = Konsentrasi NH₃ di udara (µg/Nm³)

a = Jumlah NH₃ dari contoh uji berdasarkan kurva kalibrasi (µg)

V = Volum udara yang dihisap dikoreksi pada kondisi normal 25°C, 760 mmHg

1000 = Konversi dari L ke m³

4. Baku Mutu Amoniak (NH₃)

Berdasarkan PP RI No.41 tahun 1999, 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. Dengan dikeluarkannya baku mutu ini, maka berarti bahwa udara yang mengandung unsur-unsur melebihi standar akan disebut tercemar (bukan lagi terkotori). Diharapkan bahwa bila kualitas udara dapat dipelihara sehingga kadar

berbagai zat pencemar tidak terlampaui sehingga tidak menimbulkan gangguan kesehatan terhadap manusia, hewan, tumbuhan, maupun harta benda lainnya. Baku mutu udara ambien nasional terdiri dari beberapa parameter dan untuk satuan nilai baku mutu, hampir seluruhnya menggunakan $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Huruf N sebelum satuan volume mengindikasikan bahwa volume yang dimaksud adalah volume gas pada keadaan normal yakni temperature 25°C dan tekanan 1 atm.

Baku mutu untuk gas pencemar ammonia (NH_3) pada udara ambien masih belum diatur dalam peraturan ataupun Undang-Undang di Indonesia. Emisi NH_3 global dari sektor transportasi saat ini masih belum banyak mendapat perhatian akibat sumber penghasil ammonia terbesar berasal dari sektor agrikultur/ pertanian.

Sejumlah lembaga di Amerika Serikat termasuk *US Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (US ATSDR), *US Environmental Protection Agency* (US EPA), dan *state agencies* di California dan Texas, menggunakan pedoman kualitas udara untuk parameter NH_3 mulai dari $17 - 208 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($25 - 300$ ppm) yang berlaku untuk kondisi paparan kronis (≥ 1 tahun) untuk tujuan tertentu. Pedoman kualitas udara berdasarkan *Alberta Environment* untuk parameter ammonia (NH_3) untuk pengukuran 1 jam adalah $1.400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan berdasarkan persepsi bau. Pedoman udara ambien yang digunakan oleh yuridiksi di Amerika Serikat sebagian besar didasarkan oleh penilaian risiko non-kanker dan efek iritasi pada sistem pernapasan manusia (*Alberta Environment*, 2004).

Untuk negara di Benua Asia, India merupakan satu-satunya negara yang menetapkan baku mutu udara ambien untuk parameter ammonia (NH_3) berdasarkan efeknya terhadap kesehatan manusia. Nilai baku mutu untuk ammonia (NH_3) di udara ambien yang berasal dari sektor transportasi ditetapkan untuk pengukuran harian (24 jam) dan tahunan, dimana baku mutu untuk pengukuran 24 jam adalah $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan nilai baku mutu untuk pengukuran 1 tahun adalah $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (*National Ambient Air Quality Standards*, 2009).

Nilai konsentrasi ammonia (NH_3) yang diperoleh dari hasil pengukuran di lapangan perlu dikonversi ke dalam pengukuran 24 jam terlebih dahulu sebelum nantinya dibandingkan dengan baku mutu udara ambien. Konversi dapat dilakukan menggunakan persamaan *Canter*, seperti pada persamaan 4 berikut ini

$$C1 = C2 \left(\frac{t2}{t1} \right)^p \quad (4)$$

Dimana :

C1 = Konsentrasi NH₃ yang setara dengan waktu pengambilan sampel selama 24 jam (µg/Nm³)

C2 = Konsentrasi 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

E. Klasifikasi Jalan

Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, jalan adalah seluruh bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas umum, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan rel dan jalan kabel. Peranan utama jalan adalah prasarana transportasi darat yang memegang peranan yang sangat penting dalam sektor perhubungan terutama untuk kesinambungan distribusi barang dan jasa. Keberadaan jalan raya sangat diperlukan untuk menunjang laju pertumbuhan ekonomi seiring dengan meningkatnya kebutuhan sarana transportasi.

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 mengenai jalan, jalan dapat diklasifikasikan menjadi:

1. Klasifikasi jalan menurut peran dan fungsi
 - a. Jalan arteri, merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan utama dengan ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk (akses) dibatasi secara berdaya guna. Jalan arteri terbagi atas jalan arteri primer dan jalan arteri sekunder.

- Jalan Arteri Primer, yaitu jalan yang secara efisien menghubungkan antar pusat kegiatan nasional atau antara pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan wilayah. Karakteristik jalan arteri primer ialah: didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 60 km/jam dan dengan lebar badan jalan tidak kurang dari 8 meter; mempunyai kapasitas lebih besar daripada volume lalu lintas rata-rata; lalu lintas jalan arteri primer tidak boleh diganggu oleh lalu lintas ulang alik, lalu lintas local dan kegiatan local, untuk itu persimpangan pada jalan ini perlu diatur; jumlah jalan masuk ke jalan arteri primer dibatasi; jalan arteri primer tidak terputus walaupun memasuki kota dan desa (SNI 03-6967-2003)
 - Jalan Arteri Sekunder, yaitu jalan yang menghubungkan kawasan primer dengan kawasan sekunder kesatu atau menghubungkan kawasan sekunder kesatu dengan kawasan sekunder kesatu atau menghubungkan kawasan sekunder kesatu dengan kawasan sekunder kedua. Karakteristiknya yaitu didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 30 km/jam dan dengan lebar badan jalan tidak kurang dari 8 meter; mempunyai kapasitas yang sama atau lebih besar dari volume lalu lintas rata-rata; pada jalan arteri sekunder lalu lintas cepat tidak boleh terganggu oleh lalu lintas lambat; untuk itu persimpangan pada jalan ini perlu diatur.
- b. Jalan kolektor, merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan pengumpul atau pembagi dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang, dan jumlah jalan masuk dibatasi.
 - c. Jalan lokal, merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan setempat dengan ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.
 - d. Jalan lingkungan, merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan lingkungan dengan ciri perjalanan jarak dekat, dan kecepatan rata-rata rendah.
2. Klasifikasi jalan menurut statusnya

- a. Jalan nasional, merupakan jalan arteri dan jalan kolektor dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan antaribukota provinsi, dan jalan strategis nasional, serta jalan tol.
- b. Jalan provinsi, merupakan jalan kolektor dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan ibukota provinsi dengan ibukota kabupaten/kota, atau antaribukota kabupaten/kota, dan jalan strategis provinsi.
- c. Jalan kabupaten merupakan jalan lokal dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan ibukota kabupaten dengan ibukota kecamatan, antaribukota kecamatan, ibukota kabupaten dengan pusat kegiatan lokal, antarpusat kegiatan lokal, serta jalan umum dalam sistem jaringan jalan sekunder dalam wilayah kabupaten, dan jalan strategis kabupaten.
- d. Jalan kota, merupakan jalan umum dalam sistem jaringan jalan sekunder yang menghubungkan antarpusat pelayanan dalam kota, menghubungkan pusat pelayanan dengan persil, menghubungkan antarpersil, serta menghubungkan antarpusat permukiman yang berada di dalam kota.
- e. Jalan desa, merupakan jalan umum yang menghubungkan kawasan dan/atau antar-permukiman di dalam desa, serta jalan lingkungan.

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

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

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

Kondisi dasar tipe jalan ini didefinisikan sebagai berikut:

- a. Lebar lajur 3,5 meter (lebar jalur lalu lintas total 14,0 meter)
 - b. Kereb (tanpa bahu)
 - c. Jarak antara kereb dan penghalang terdekat pada trotoar ≥ 2 meter
 - d. Ada median
 - e. Pemisahan arah lalulintas 50 – 50
 - f. Hambatan samping rendah
 - g. Ukuran kota 1,0 – 3,0 juta
 - h. Tipe alinyemen datar
2. Jalan enam lajur dua arah terbagi (6/2 D)
- Tipe jalan ini meliputi semua jalan dua arah dengan lebar jalur lalulintas antara 18 meter sampai dengan 24 meter. Kondisi dasar tipe jalan ini didefinisikan sebagai berikut:
- a. Lebar lajur 3,5 meter (lebar jalur lalu lintas total 21,0 meter)
 - b. Kereb (tanpa bahu)
 - c. Jarak antara kereb dan penghalang terdekat pada trotoar ≥ 2 meter
 - d. Ada median
 - e. Pemisahan arah lalulintas 50 – 50
 - f. Hambatan samping rendah
 - g. Tipe alinyemen datar
 - h. Tipe alinyemen datar

F. Dispersi Polutan

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

sumber emisi selain dipengaruhi oleh karakteristik sumber emisi juga dipengaruhi oleh karakteristik meteorologi dan topografi setempat.

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

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

1. Radiasi Cahaya Matahari

Radiasi matahari yang sampai di atmosfer maupun yang tiba di permukaan bumi merupakan energi utama dalam siklus cuaca termasuk persebaran polutan di atmosfer. Pengaruh radiasi matahari secara fisik dan dinamik dalam penyebaran polusi udara adalah sebagai sumber energi perpindahan massa udara. Hal ini disebabkan perbedaan pemanasan di permukaan bumi maupun di perairan yang menimbulkan angin dan turbulensi, sehingga mempengaruhi kondisi stabilitas atmosfer dan pencampuran polutan dengan lingkungan sekitar.

2. Kecepatan dan Arah Angin

Angin menjadi faktor utama dalam dispersi polutan di udara karena dapat mengakibatkan perpindahan suatu zat. Arah angin dapat digunakan untuk menentukan daerah penerima dispersi zat, sedangkan kecepatan angin dapat

digunakan untuk menentukan jangkauan daerah penerima. Dalam klimatologi, kecepatan angin merupakan jarak yang ditempuh oleh angin per satuan waktu yang dinyatakan dalam satuan knot, km/jam dan m/s. Kecepatan udara bergerak secara horizontal pada ketinggian dua meter di atas tanah. Kecepatan angin dipengaruhi oleh tekanan udara dan asal dari arah kecepatan angin tersebut sebagai faktor pendorong (Lakitan, 1994 dalam Ancilla, 2014). Kecepatan angin dapat digunakan dalam menentukan jangkauan daerah penerima. Kecepatan angin yang lebih tinggi pada suatu tempat dekat pembuangan polutan udara lebih cepat membawa polutan tersebut jauh dari sumbernya, sebaliknya bila kecepatan angin yang rendah akan menyebabkan terkonsentrasinya polutan di sekitar sumber pencemaran dan dapat berlangsung lebih lama pada daerah yang bersangkutan. Sedangkan arah angin dapat digunakan untuk menentukan daerah penerima dispersi zat (Rahmawati, 1999 dalam Puspita, 2011).

3. Suhu Udara dan Tutupan Awan

Suhu udara dan tutupan awan dalam proses dispersi zat pencemar akan mempengaruhi stabilitas udara. Gradien perubahan suhu udara akan berpengaruh sangat kuat terhadap kestabilan atmosfer. Pada proses dispersi, stabilitas udara akan mempengaruhi tipe atau bentuk polutan ke daerah penerima. Terdapat beberapa kondisi atmosfer dalam kaitannya dengan stabilitas udara, yaitu kondisi tidak stabil terjadi apabila laju penurunan suhu di lingkungan lebih besar dari laju penurunan suhu udara kering, dan kondisi netral terjadi bila laju penurunan suhu lingkungan sama dengan laju penurunan suhu udara kering (Rahmawati, 1999 dalam Puspita, 2011).

Penelitian oleh Ramayana (2014) menyatakan semakin tinggi suhu udara maka konsentrasi pencemar gas akan semakin rendah. Hal ini disebabkan pada suhu udara tinggi, densitas udara di permukaan bumi akan menjadi lebih rendah daripada udara di atasnya sehingga menyebabkan terjadinya aliran konveksi ke atas yang membawa berbagai polutan dan menyebabkan konsentrasi polutan menjadi lebih rendah.

G. Wind Rose

Gerak udara yang sejajar dengan permukaan bumi disebut dengan angin. Udara akan bergerak turun, yaitu dari daerah bertekanan tinggi ke daerah dengan tekanan yang lebih rendah. Penamaan angin selalu diberikan sesuai dengan arah datangnya angin tersebut. Misalnya angin yang datang atau berhembus dari arah timur akan disebut dengan angin timur, begitu pula angin dari arah barat akan disebut dengan angin barat. Arah angin dinyatakan dalam derajat yang ditentukan dengan arah perputaran jarum jam dan dimulai dari titik utara bumi, atau dengan kata lain sesuai dengan titik kompas.

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

Grafik tentang bagaimana arah dan kecepatan angina terdistribusikan di sebuah lokasi dalam periode tertentu dapat digambarkan menggunakan *wind rose* (bunga angin). *Windrose* akan memberukan informasi dalam bentuk gambar tentang bagaimana arah dan kecepatan angina terdistribusi pada sebuah lokasi atau area, selain itu *windrose* akan menampilkan frekuensi dari arah mana angin berhembus dan akan berhembuh ke arah mana. Panjang dari masing-masing kriteria yang mengelilingi lingkaran diasumsikan sebagai frekuensi waktu dimana angin berhembus dari arah tertentu.

Software yang menyediakan tampilan *windrose* adalah aplikasi WRPLOT View dari *Lakes Environmental* 2013. *Software* ini selain dapat menampilkan diagram *wind rose* juga dapat menampilkan analisis frekuensi, dan diagram untuk beberapa format data meteorologi. *Wind rose* menggambarkan frekuensi kejadian dari angin untuk setiap sektor angin spesifik dan kelas-kelas kecepatan angin untuk setiap tempat pada periode tertentu (Fadholi, 2013).

H. Emisi Sumber Garis (*Line Source*)

Line source gaussian model adalah pengembangan dari model gaussian *plume* dengan mengasumsikan bahwa *line source* adalah sebuah deret *point source*, yang saling tergantung (*mutually dependent*), yang masing-masing menghasilkan kepulan polutan. Dengan demikian, konsentrasi suatu titik di sisi jalan dihitung sebagai jumlah dari deret konsentrasi titik-titik tersebut (Paramitadevi, 2014).

Penelitian berkaitan dengan *line source modeling* dilakukan oleh Nagendra yang menjelaskan bahwa model dispersi udara sumber garis (*line source dispersion*) merupakan metode yang sangat penting untuk mengatur dan mengontrol sumber emisi pencemar kendaraan bermotor di daerah perkotaan. Model ini telah banyak dikembangkan untuk menggambarkan pendistribusian waktu dan tempat persebaran emisi pencemar udara melalui jalan raya. Hasil pengukuran yang telah dilakukan menggunakan model *line source* menunjukkan angka yang relatif tinggi.

I. 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.

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^*).

J. AERMOD

AERMOD merupakan model penyebaran polutan dengan pendekatan Gaussian yang dikembangkan oleh AERMIC (*American Meteorological Society {AMS}/ United States Environmental Protection Agency {EPA} Regulatory Model Improvement Committee*). AERMOD merupakan sistem pemodelan dispersi atmosferik yang terdiri dari tiga modul yang terintegrasi yaitu model dispersi untuk kondisi tunak, pra pengolah data meteorologi dan pra pengolah data permukaan bumi. AERMOD menggunakan pendekatan Gaussian dan bi-Gaussian dalam model dispersinya, yang menghasilkan konsentrasi polutan di udara ambien dalam periode harian, bulanan maupun tahunan. AERMOD dapat digunakan untuk area perkotaan dan pedesaan, permukaan bumi yang rata atau berelevasi, emisi yang dihasilkan dari permukaan atau dari ketinggian, dan emisi yang dikeluarkan oleh banyak sumber (termasuk sumber titik, area atau volume).

AERMOD (Cimorelli, et al, 1998;. US EPA 1998a, b) merupakan model gaussian jangkauan pendek (kurang dari 50 km) untuk mensimulasikan penyebaran emisi cerobong dari aktivitas industri. Model ini telah dikalibrasi (Perry et. al., 2005) dan diadopsi oleh US.EPA sejak tahun 2005 untuk menggantikan model ISC3. AERMOD menggunakan teori similaritas *Planetary Boundary Layer* (PBL) (Monin dan Obukhov, 1954) untuk memperhitungkan dispersi yang dipengaruhi oleh pemanasan permukaan dan gesekan. Model ini membutuhkan informasi permukaan berupa panjang kekasaran, kelembaban, dan reflektivitas. Selain itu, informasi atmosfer atas yang lengkap diperlukan untuk menentukan kedalaman lapisan pencampuran (*mixing height*), dan membangun penetrasi plume parsial sepanjang bagian atas lapisan pencampuran (Assegaf dan Jayadipraja, 2015).

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).

AERMOD mengestimasi profil meteorologi melalui beberapa persamaan dan interpolasi pengukuran yang berdekatan. Untuk memperhitungkan konsentrasi, AERMOD mempertimbangkan berbagai parameter seperti efek vertikal angin, suhu, dan turbulensi (Cimorelli et al., 2004 dalam Ancilla, 2014). Persamaan profil umum dalam simulasi AERMOD dapat dikelompokkan menjadi profil kecepatan dan arah angin dan profil gradien temperatur potensial.

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).

K. T-Test Independent Sample Test

T-Test merupakan salah satu jenis uji statistik untuk membandingkan rata-rata dua kelompok. Jenis tes ini dapat digunakan jika sampel memenuhi kondisi normalitas, variansi yang sama, dan independensi. Terdapat dua jenis uji T yang dapat digunakan, yaitu uji t ketika dua kelompok yang akan dibandingkan tidak memiliki keterikatan (independen) dan uji t berpasangan ketika dua kelompok yang

dibandingkan saling bergantung (dependen). Uji t digunakan untuk menguji apakah ada perbedaan antara dua sampel independen. Ketika tidak terdapat perbedaan rata-rata dalam dua sampel, maka perbedaannya akan mendekati nol. Dalam kasus seperti itu, uji statistik tambahan harus dilakukan untuk memverifikasi apakah perbedaannya dapat dikatakan sama dengan nol (Kim, 2015).