

## **TUGAS AKHIR**

### **ANALISIS BEBAN EMISI PADA BUNDARAN JALAN RAYA KOTA MAKASSAR BERBASIS PEMODELAN VISSIM**



**NUR ASYA**

**D121 14 503**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**2019**





KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS HASANUDDIN FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

JL. PORDS MALINO, KM 5 BONTOMARANNI 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 Makassar.

Judul : Analisis Beban Emisi Pada Bundaran Jalan Raya Kota Makassar Berbasis Pemodelan Software Vissim

Disusun Oleh :

Nama : Nur Asya

D121 14 503

Telah diperiksa dan disetujui  
Oleh Dosen Pembimbing

Gowa, 10 Januari 2019

Pembimbing I

Dr.Eng. Muh. Isran Ramli, ST., MT.  
Nip. 19730926 200012 1002

Pembimbing II

Rasdiana Zakaria, S.T., M.T.  
NIDK 8867360018

Menyetujui  
Ketua Departemen Teknik Lingkungan

Dr. Eng. Muralia Hestim, S.T., M.T.  
Nip. 197204242000122001

TI - Uhasu 451/10 1/2019



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil alamin, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahuwata'ala karena atas berkat rahmat dan ridhoNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir ini dengan judul “ **Analisis Beban Emisi pada Bundaran Jalan Raya Kota Makassar berbasis Pemodelan VISSIM** ”. Shalawat dan salam semoga tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW pimpinan dan sebaik-baik teladan bagi umat 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 orang tua dan seluruh keluarga besar khususnya kepada Bapak M.Nasir Lahada dan Ibu Hawisa selaku orang tua penulis yang tiada hentinya memberikan support, nasehat dan 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.

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. Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Prof. Baharuddin Hamzah, ST.,M.Arch.,Ph.D. selaku Wakil Dekan dan Pembantu Dekan I Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dr. Eng. Muralia Hustim, ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Kungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.



4. Bapak Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli , ST., MT., selaku Dosen Pembimbing I dan Ibu Rasdiana Zakaria ST., MT., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan dan bimbingan, meluangkan waktu di tengah kesibukannya selama penulis melaksanakan penelitian dan penyusunan tugas akhir ini, dan juga selalu memberikan semangat selama penulis melaksanakan penelitian dan penyusunan tugas akhir.
5. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Departemen Teknik Lingkungan atas bimbingan, arahan, didikan, dan motivasi yang telah diberikan selama kurang lebih empat tahun.
6. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya selama penulis menempuh perkuliahan terutama kepada Bapak Sawali dan juga staf S1 Teknik Lingkungan Ibu Sumiati dan Kak Olan.
7. Untuk partner TA saya Maitsa Fikri Nabila dan Nurnia Fatmawati S, terima kasih banyak atas kerjasama timnya yang selalu setia saling menemani, membantu dan mendukung satu sama lain mulai dari proses bertemu dengan pembimbing, pengurusan keperluan alat untuk survey, membantu dalam proses pengambilan data, proses asistensi dengan pembimbing, hingga proses penulisan tugas akhir ini selesai.
8. Untuk teman-teman asisten Laboratorium Transportasi Teknik Sipil;, Arif, Iqra, Nunuk, Abi, Aul, kak Rahmat, Kak Sesil, dan Kak Irfan saya ucapkan terima kasih banyak atas bantuan, motivasi dan pencerahan nya dalam mengerjakan tugas akhir ini.
9. Untuk sahabat se-Kalimantan ku Ulfa Yunita dan Nurul Audina terima kasih atas dukungan dan semangatnya selama melakukan proses pengerjaan Tugas Akhir ini
10. Untuk teman-teman kumbang (Mutia, Famas, Aul, Nuril, Ina, Arini, Tari, Yuni dan Denissa selaku partner KP saya) terima kasih atas *support* dan bantuan yang telah dilakukan selama masa kuliah hingga penyelesaian tugas akhir ini.

Terima Kasih juga untuk Mitra, Lulu, Tina, Ode, Ika, Anti, Leli, Ebi, Faqih, An, Budi, Echa dan Mugi yang telah meluangkan waktu dan dukungan dalam proses pengambilan data untuk penyelesaian tugas akhir ini.



12. Untuk teman-teman Lab Udara;, Fahri, Nadiyah dan Wulan terima kasih atas motivasi dan dukungannya dalam proses penyelesaian TA ini.
13. Untuk seluruh teman-teman Teknik Lingkungan 2014 tercinta terima kasih atas segala kebersamaan, bantuan dan dorongan selama perkuliahan yang kurang lebih 4 tahun ini.
14. Untuk Saudara dan saudariku Portal 2015, Terima kasih telah memberikan cerita, telah memberikan warna-warni dalam dunia perkuliahan, dan telah mengajarkan arti persaudaraan, tetap semangat,dan tetap berikan warna pada 2014.
15. Dan kepada seluruh rekan, sahabat, saudara dan berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, penulis ucapakan banyak terimakasih atas setiap bantuan dan doa yang diberikan.

Semoga Allah SWT membalaskan kebaikan kebada 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, 12 Februari 2019  
Penulis,

**NUR ASYA**  
**D121 14 503**



# ANALISIS BEBAN EMISI PADA BUNDARAN JALAN RAYA KOTA MAKASSAR BERBASIS PEMODELAN VISSIM

Muhammad Isran Ramli <sup>1)</sup> Rasdiana Zakaria <sup>2)</sup>, Nur Asya <sup>3)</sup>

1 Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Kampus Teknik Gowa, Jl.Poros Malino Km.6 Bontomarannu, Gowa, Sulawesi  
Selatan

2 Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

## ABSTRAK

Transportasi merupakan sektor utama penyumbang pencemaran udara. Tingginya populasi kendaraan, kurangnya ketersediaan ruang jalan, serta aktivitas kegiatan sisi jalan merupakan penyebab kemacetan lalu lintas. Kemacetan lalu lintas menyebabkan tingginya kadar polutan yang ada di jalan raya terutama di daerah perkotaan. Penelitian ini difokuskan pada analisis jumlah emisi gas buang kendaraan (CO dan NO<sub>x</sub>) yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor. Penelitian ini dilakukan di 3 lokasi tepatnya di daerah bundaran Jalan Raya kota Makassar yaitu Bundaran Samata, Bundaran Tugu Mandiri, dan Bundaran Mandai. Metode yang digunakan adalah dengan pendekatan secara mikrosimulasi dengan alat bantu yang berupa *Software VISSIM*. Dalam hal ini juga dilakukan analisis beban emisi mengenai faktor yang mempengaruhi beban emisi CO dan NO<sub>x</sub> dari kendaraan bermotor pada Jalan Raya.

Dari hasil simulasi *Vissim* yang telah dikalibrasi, maka diperoleh nilai CO terbesar untuk bundaran Samata sebesar 4,016.31 gr/Jam sedangkan nilai NO<sub>x</sub> sebesar 781.43 gr/Jam. Untuk bundaran Tugu Mandiri nilai emisi terbesar untuk CO sebesar 605.44 gr/Jam sedangkan nilai NO<sub>x</sub> sebesar 117.80 gr/Jam. Kemudian untuk Bundaran Mandai nilai emisi terbesar untuk CO sebesar 6,391.77 gr/Jam sedangkan nilai NO<sub>x</sub> sebesar 1,243.61 gr/Jam.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa beban emisi CO dan NO<sub>x</sub> dari hasil pemodelan *Vissim* di Bundaran Samata, Mandiri dan Mandai Kota Makassar memiliki nilai yang berbeda dengan hasil perhitungan beban emisi. Beberapa hal yang menyebabkan terjadinya perbedaan tersebut ialah adanya perbedaan antara nilai faktor emisi yang digunakan pada perhitungan rumus dengan yang digunakan pada pemodelan *Vissim* untuk setiap jenis kendaraan bermotor.

Kata Kunci : *Emisi gas Buang, CO dan NO<sub>x</sub>, Mikro-simulasi, Vissim.*



## **EMISSION LOAD ANALYSIS AT THE MAKASSAR CITY HIGHWAY ROUNDAABOUT BASED ON VISSIM SOFTWARE MODELING**

*Muhammad Isran Ramli <sup>1)</sup> Rasdiana Zakaria <sup>2)</sup>, Nur Asya <sup>3)</sup>*

*1 Environmental Engineering Department, Engineering Faculty of Hasanuddin University, Gowa, Jl.Poros Malino Km.6 Bontomarannu, Gowa South Sulawesi*

*2 Environmental Engineering Department, Engineering Faculty of Hasanuddin*

### **ABSTRACT**

*Transportation is a major contributor of the air pollution. The high population of vehicles, lack of availability of road space, as well as their activity is a cause side road traffic congestion especially in an urban area. Traffic congestion leading to high levels of pollutants that are in the way. This study focused on analyzing the amount of vehicle exhaust emissions (CO and NOx) produced from the combustion process of motorized vehicles. This research was conducted in 3 locations, precisely in the highway roundabout in Makassar, namely the Samata Roundabout, the Mandiri Tugu Roundabout, and the Mandai Roundabout. The method used is a microsimulation approach with a tool in the form of VISSIM Software. In this case an emission load analysis is also carried out regarding factors that affect the burden of CO and NOx emissions from motor vehicles on the Highway.*

*From the results of the Vissim calibrated simulation, the largest CO value obtained for the Samata roundabout is 4,016.31 gr / Hour while the NOx value is 781.43 gr / Hour. For the Tugu Mandiri roundabout the biggest emission value for CO is 605.44 gr / hour while the NOx value is 117.80 gr / hour. Then for the Mandai Roundabout the biggest emission value for CO is 6.391.77 gr / Hour while the NOx value is 1.243.61 gr / Hour.*

*The results showed that the load of CO and NOx emissions from the results of Vissim modeling at the Samata, Mandiri and Mandai Roundabouts in Makassar City had different values with the calculation of emissions load. Some of the things that cause these differences are the calculation of the formula using the value of the emission factor for each type of motorized vehicle between Vissim modeling and formula.*

*Key words: Exhaust gas emissions, CO and NOx, microsimulation, Vissim.*



## DAFTAR ISI

	<b>halaman</b>
SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	5
D. Ruang Lingkup Wilayah	5
E. Manfaat Penelitian	6
F. Sistematika Penulisan	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Udara	8
1. Pengertian Udara	8
2. Baku Mutu Udara Ambien	8
	
Optimization Software: <a href="http://www.balesio.com">www.balesio.com</a>	viii



B. Pencemaran Udara	10
1. Pengertian Pencemaran Udara	10
2. Jenis Pencemaran Udara	10
3. Sumber Pencemaran Udara	15
4. Klasifikasi Bahan Pencemar Udara	17
C. Emisi Kendaraan Bermotor	19
1. Pengertian Emisi	19
2. Jenis-jenis Kendaraan Bermotor	20
3. Faktor yang Mempengaruhi Emisi Kendaraan Bermotor	22
4. Komposisi Gas Buang Kendaraan Bermotor	26
5. Pengukuran Emisi Kendaraan Bermotor	28
6. Besaran Faktor Emisi Kendaraan Bermotor	30
D. Uji Statistik <i>T-Test</i>	31
E. Jalan	31
1. Definisi Jalan	31
2. Klasifikasi menurut Fungsi Jalan	32
3. Klasifikasi menurut Kelas Jalan	32
4. Simpang Tak Bersinyal	33
5. Simpang Bersinyal	33
6. Bundaran	34
7. Karakteristik Makro Lalu Lintas	35
8. Karakteristik Mikro Lalu Lintas	36
PTV Vissim	37



1. PTV Vissim	37
2. Parameter Mikrosimulasi Lalu Lintas Berbasis Vissim	38
3. Konsep Kalibrasi dan Validasi Simulasi	40

### **BAB III METODE PENELITIAN**

A. Rancangan Penelitian	42
B. Tahapan Penelitian	42
C. Waktu Penelitian	44
D. Gambaran Lokasi Penelitian	44
E. Kondisi Geometrik Jalan	46
F. Metode Survey	48
G. Peralatan yang Digunakan	49
H. Metode Analisis Data	50
1. Kompilasi Data	50
2. Metode Mikro-Simulasi Vissim	50
I. Kalibrasi & Validasi dengan Uji Statistik GEH	51

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

A. Volume Lalu lintas	52
1. Volume Lalu lintas Bundaran Samata	52
2. Volume Lalu lintas Bundaran Tugu Mandiri	61
3. Volume Lalu lintas Bundaran Mandai	67
B. Jenis dan Dimensi Kendaraan	76
Kecepatan Kendaraan	77
1. Kecepatan Kendaraan Bundaran Samata	78



2. Kecepatan Kendaraan Bundaran Tugu Mandiri	79
3. Kecepatan Kendaraan Bundaran Mandai	80
D. Pengaturan Sinyal APILL	81
E. Kalibrasi Model Mikro-Simulasi	82
F. Validasi Hasil Model Mikrosimulasi	89
G. Emisi Kendaraan Bermotor Pemodelan PTV Vissim	92
1. Emisi Pemodelan PTV Vissim Bundaran Samata	92
2. Emisi Pemodelan PTV Vissim Bundaran Tugu Mandiri	94
3. Emisi Pemodelan PTV Vissim Bundaran Mandai	96
H. Hasil Perhitungan Beban Emisi	98
1. Hasil Perhitungan Beban Emisi Bundaran Samata	99
2. Hasil Perhitungan Beban Emisi Bundaran Tugu Mandiri	102
3. Hasil Perhitungan Beban Emisi Bundaran Mandai	104
I. Perbandingan Emisi Pemodelan Vissim dengan Rumus	107
1. Perbandingan Emisi 3 Lokasi Pemodelan Vissim	107
2. Perbandingan Emisi 3 Lokasi Perhitungan Rumus	110
3. Perbandingan Emisi Vissim dengan Perhitungan Rumus	113
J. Uji Statistik (t-test)	116
1. Uji Statistik Beban Emisi Bundaran Samata	116
2. Uji Statistik Beban Emisi Bundaran Mandiri	121
3. Uji Statistik Beban Emisi Bundaran Mandai	124
Faktor Berpengaruh terhadap Nilai Emisi	128



## **BAB V PENUTUP**

A. Kesimpulan 130

B. Saran 131

**DAFTAR PUSTAKA** 132

**LAMPIRAN** 134



## DAFTAR TABEL

	<b>halaman</b>
1. Baku Mutu Udara Ambien	9
2. Baku Mutu Udara Emisi Sumber Bergerak	16
3. Baku Mutu Emisi Gas Buang Bermotor dengan metode Uji WMTC	17
4. Satuan Mobil Penumpang	21
5. Nilai Faktor Emisi Indonesia	30
6. Klasifikasi Jalan Raya menurut Kelas Jalan	32
7. Rumus Statistik GEH ( <i>Geoffrey E.Havers</i> )	41
8. Kondisi Geometrik Bundaran Jalan Samata	46
9. Kondisi Geometrik Bundaran Jalan Tugu Mandiri	47
10. Kondisi Geometrik Bundaran Jalan Mandai	47
11. Alat Survei dan Fungsinya	49
12. Tipe dan Dimensi Kendaraan	77
13. Nilai Kalibrasi Pada Simpang Bundaran Samata	83
14. Nilai Kalibrasi Pada Simpang Bundaran Samata	83
15. Nilai Kalibrasi Pada Simpang Bundaran Samata	84
16. Hasil Kalibrasi Uji <i>GEH</i> pada Volume Lalu Lintas Bundaran Samata	86
17. Hasil Kalibrasi Uji <i>GEH</i> pada Volume Lalu Lintas Bundaran Mandiri	86
18. Hasil Kalibrasi Uji <i>GEH</i> pada Volume Lalu Lintas Bundaran Mandai	87
19. Validasi dengan Uji Chi-Square untuk Bundaran Samata	89
20. Validasi dengan Uji Chi-Square untuk Bundaran Tugu Mandiri	90



21. Hasil Validasi dengan Uji Chi-Square untuk Bundaran Mandai	91
22. Uji <i>t-test</i> Beban Emisi Bundaran Samata	117
23. Uji <i>t-test</i> Beban Emisi Bundaran Tugu Mandiri	121
24. Uji <i>t-test</i> Beban Emisi Bundaran Mandai	124



## DAFTAR GAMBAR

	<b>halaman</b>
1. Pengukuran Emisi Kendaraan Statsioner	29
2. Metode Pengukuran Emisi dengan Alat Ukur PCGA	29
3. Tipe Simpang	33
4. Contoh Persimpang Sebidang dan Bundaran	35
5. Mikrosimulasi Bundaran	37
6. Kerangka Tahapan Penelitian	43
7. Bundaran Samata	45
8. Bundaran Tugu Mandiri	45
9. Bundaran Mandai	45
10. Diagram Alir Mikrosimulasi Vissim	51
11. Volume Lalu Lintas Jl.Yasin Limpo-Jl.Tun Abdul Razaq	52
12. Volume Lalu Lintas Jl.Yasin Limpo – Jl.Mustafa DG Bunga	53
13. Volume Lalu Lintas Jl.Yasin Limpo – Jl.Abdul Kadir	54
14. Volume Lalu Lintas Jl.Mustafa DG Bunga – Jl. Yasin Limpo	54
15. Volume Lalu Lintas Jl.Mustafa DG Bunga – Jl. Abdul Kadir	55
16. Volume Lalu Lintas Jl.Mustafa DG Bunga – Jl. Tun Abdul Razaq	56
17. Volume Lalu Lintas Jl. Tun Abdul Razaq – Jl. Abdul Kadir	56
18. Volume Lalu Lintas Jl. Tun Abdul Razaq – Jl. Yasin Limpo	57

Volume Lalu Lintas Jl. Tun Abdul Razaq – Jl. Tun Abdul Razaq 58

Volume Lalu Lintas Jl. Tun Abdul Razaq – Jl. Mustafa DG Bunga 59



21. Volume Lalu Lintas Jl. Abdul Kadir – Jl.Yasin Limpo	59
22. Volume Lalu Lintas Jl. Abdul Kadir – Jl.Mustafa DG Bunga	60
23. Volume Lalu Lintas Jl. Abdul Kadir – Jl.Tun Abdul Razaq	61
24. Volume Lalu Lintas Jl. Riburane – Jl. Riburane	62
25. Volume Lalu Lintas Jl. Riburane – Jl. Nusantara	63
26. Volume Lalu Lintas Jl. Riburane – Jl.Ujung Pandang	63
27. Volume Lalu Lintas Jl. Ujung Pandang – Jl. Riburane	64
28. Volume Lalu Lintas Jl. Ujung Pandang – Jl. Nusantara	65
29. Volume Lalu Lintas Jl. Ujung Pandang – Jl. Ujung Pandang	66
30. Volume Lalu Lintas Jl. Nusantara – Jl. Riburane	66
31. Volume Lalu Lintas Jl. Nusantara – Jl. Ujung Pandang	67
32. Jl. Poros Bandara – Jl.Poros Maros	68
33. Jl. Poros Bandara – Jl.Tol Ir.Sutami	69
34. Jl.Poros Bandara – Jl.Perintis Kemerdekaan belok kiri langsung	69
35. Jl.Perintis Kemerdekaan – Jl. Poros masuk Bandara	70
36. Jl.Perintis Kemerdekaan – Jl. Tol Ir Sutami belok kiri langsung	71
37. Jl.Perintis Kemerdekaan – Jl. Perintis Kemerdekaan	71
38. Jl. Perintis Kemerdekaan – Jl. Poros Maros	72
39. Jl.Tol Ir Sutami – Jl.Poros Bandara Masuk	73
40. Jl.Tol Ir Sutami – Jl.Perintis Kemerdekaan	73
41. Jl.Tol Ir Sutami – Jl.Poros Maros	74

os Maros – Jl.Poros masuk Bandara 75

os Maros – Jl.Tol Ir.Sutami 75





44. Jl.Poros Maros – Jl.Perintis Kemerdekaan	76
45. Kecepatan Kendaraan Ringan Samata	78
46. Kecepatan Kendaraan Roda Dua Samata	78
47. Kecepatan Kendaraan Berat Samata	78
48. Kecepatan Kendaraan Ringan Mandiri	79
49. Kecepatan Kendaraan Berat Mandiri	79
50. Kecepatan Kendaraan Roda Dua Mandiri	79
51. Kecepatan Kendaraan Ringan Mandai	80
52. Kecepatan Kendaraan Berat Mandai	80
53. Kecepatan Kendaraan Roda Dua Mandai	80
54. Waktu APILL Bundaran Mandai	81
55. Visualisasi 3D Mikro – Simulasi Vissim Simpang Bundaran Samata	88
56. Visualisasi 3D Mikro – Simulasi Vissim Simpang Bundaran Tugu Mandiri	88
57. Visualisasi 3D Mikro – Simulasi Vissim Simpang Bundaran Mandai	88
58. Emisi Vissim CO Bundaran Samata	92
59. Emisi Vissim NOx Samata	93
60. Emisi Vissim CO Tugu Mandiri	94
61. Emisi Vissim NOx Tugu Mandiri	95
62. Emisi Vissim CO Mandai	96
63. Emisi Vissim NOx Mandai	97
64. Hasil Perhitungan Emisi CO Bundaran Samata	99
Perhitungan Emisi NOx Bundaran Samata	100
Perhitungan Beban Emisi CO Tugu Mandiri	102



67. Hasil Perhitungan Beban Emisi NOx Bundaran Tugu Mandiri	103
68. Hasil Perhitungan Beban Emisi CO Bundaran Mandai	104
69. Hasil Perhitungan Beban Emisi NOx Bundaran Mandai	105
70. Emisi Vissim Parameter CO 3 Bundaran	107
71. Emisi Vissim Parameter NOx 3 Bundaran	108
72. Hasil Perhitungan Beban Emisi Parameter CO 3 Bundaran	110
73. Hasil Perhitungan Beban Emisi Parameter NOx 3 Bundaran	111
74. Perbandingan Hasil Emisi CO Vissim dan Perhitungan Bundaran Samata	113
75. Perbandingan Hasil Emisi NOx Vissim dan Perhitungan Bundaran Samata	113
76. Perbandingan Hasil Emisi CO Vissim dan Perhitungan Bundaran Mandiri	114
77. Perbandingan Hasil Emisi NOx Vissim dan Perhitungan Bundaran Mandiri	114
78. Perbandingan Hasil Emisi CO Vissim dan Perhitungan Bundaran Mandai	115
79. Perbandingan Hasil Emisi NOx Vissim dan Perhitungan Bundaran Mandai	115



## DAFTAR LAMPIRAN

	<b>halaman</b>
1. Hasil Simulasi Vissim Bundaran Samata	135
2. Hasil Simulasi Vissim Bundaran Mandiri	139
3. Hasil Simulasi Vissim Bundaran Mandai	144
4. Tutorial Vissim	163
5. Dokumentasi	164



# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Di bidang transportasi, khususnya di daerah perkotaan, kemajuan dapat terlihat dengan semakin banyaknya jumlah kendaraan yang terus bertambah dari tahun ke tahun. Kemajuan ini juga seiring dengan meningkatnya populasi penduduk di daerah perkotaan, meningkatnya ekonomi masyarakat, serta tingginya aktivitas kerja masyarakat. Meningkatnya ekonomi masyarakat perkotaan menjadi salah satu alasan semakin cepatnya peningkatan jumlah kendaraan bermotor. Adanya aktivitas kerja masyarakat kota yang tinggi, juga menyebabkan masyarakat perkotaan menjadi sangat bergantung pada sarana transportasi khususnya kendaraan bermotor.

Tidak seimbang pertambahan antara jumlah kendaraan dengan sarana jalan yang tersedia, mengakibatkan pada beberapa ruas jalan yang menjadi jalur utama kendaraan umum di daerah perkotaan sering mengalami kemacetan, terutama kemacetan yang terjadi pada jam-jam sibuk. Kemacetan kendaraan bermotor ini tentunya memberi dampak negatif pada lingkungan sekitar salah satu dampak negatif tersebut ialah berupa pencemaran udara.

Pencemaran udara sudah menjadi masalah yang serius di kota-kota besar di dunia. Polusi udara perkotaan yang berdampak pada kesehatan manusia dan lingkungan telah dikenal secara luas selama kurang lebih 50 tahun terakhir (Azmi et al., 2010; Gurjar et al., 2008; Ozden et al., 2008). Selain dampak terhadap kesehatan manusia, polusi udara juga dapat berdampak negatif terhadap ekosistem, material, bangunan-bangunan, serta vegetasi dan visibilitas (Ilyas et al., 2009).

Pencemaran udara dikenal sebagai masalah lingkungan yang terasosiasi dengan wilayah perkotaan di seluruh dunia. Berbagai program pemantauan telah digunakan

untuk menentukan kualitas udara dengan menggeneralisasikan sejumlah data dari konsentrasi polutan (Wu dan Kuo 2013). Pencemaran udara juga menjadi salah satu indikator kualitas lingkungan yang berdampak pada kesehatan



masyarakat dan mempengaruhi kualitas udara di wilayah tersebut. Menurut Setiawan (1992), terjadinya pencemaran udara luar ruangan dapat menyebabkan berbagai penyakit saluran pernapasan seperti batuk, bronkhitis, asma, pneumonia, dan bahkan kanker paru. Indikator yang dapat digunakan untuk mengetahui besarnya pencemaran udara dan kualitas udara adalah indeks standar pencemar udara (ISPU). Sesuai PP No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, ISPU merupakan nilai ukuran yang tidak mempunyai satuan untuk menggambarkan kondisi kualitas udara ambien pada lokasi dan waktu tertentu. Peningkatan yang paling signifikan dari penggunaan energi dan emisi gas rumah kaca terjadi di kota metropolitan yang memiliki laju perkembangan populasi yang pesat dengan standar hidup dan tingkat kemakmuran lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah perdesaan atau kota yang lebih kecil (Imura 2003).

Udara sendiri adalah salah satu komponen penting bagi kelangsungan makhluk hidup, terutama manusia. Menurut Hesam (2005) dalam Naddafi et al. (2006), kebutuhan udara bagi manusia lebih diutamakan daripada kebutuhan terhadap makanan dan air. Rata-rata kebutuhan udara orang dewasa adalah 15 kg/hari, sedangkan kebutuhan makanan dan air orang dewasa masing-masing sebesar 1.5 kg/hari dan 2.5 kg/hari. Hesam (2005) dalam Naddafi et al. (2006) juga menyatakan bahwa manusia dapat terus hidup tanpa makanan selama lima minggu dan tanpa air selama 5 hari, namun tidak lebih dari beberapa menit tanpa udara. Aktivitas transportasi sendiri khususnya kendaraan bermotor merupakan sumber utama pencemaran udara di daerah perkotaan. Kendaraan bermotor menghasilkan 85% dari seluruh pencemaran udara yang terjadi. Emisi yang dikeluarkan kendaraan bermotor menghasilkan berbagai polutan seperti Karbon Monoksida (CO), Hidrokarbon (HC), Oksida Nitrogen (NO<sub>x</sub>), Oksida Sulfur (SO<sub>x</sub>), partikulat dan Timbal (Pb) (Senkey, Jansen, dan Wallah, 2011).

Karbon monoksida (CO) adalah gas tidak berbau, tidak berwarna, tidak berasa dan tidak mengiritasi, mudah terbakar dan sangat beracun. Gas CO merupakan gas yang umum ditemui di industri. Gas ini merupakan hasil pembakaran tidak sempurna dari kendaraan bermotor, alat pemanas, peralatan yang menggunakan bahan bakar berbasis karbon dan nyala api (seperti tungku kayu), asap dari kereta



api, pembakaran gas, asap tembakau. (Hadiyani, 2009). Keberadaan gas CO akan sangat berbahaya jika terhirup oleh manusia karena gas CO akan menggantikan posisi oksigen yang berkaitan dengan hemoglobin dalam darah. Berkurangnya penyediaan oksigen ke seluruh tubuh ini akan membuat sesak napas dan menyebabkan kematian, apabila tidak segera mendapat udara segar kembali (Soedomo, 2001).

Kota Makassar sebagai sebagai pusat pengembangan kawasan strategis di kawasan timur Indonesia, cenderung mengalami pertumbuhan yang pesat di berbagai bidang termasuk sektor transportasi sebagai penunjang aktivitas masyarakat yang sangat penting dirasakan saat ini. Pertumbuhan ekonomi dan peningkatan jumlah penduduk memberi dampak pertumbuhan sektor transportasi yang meningkat sangat cepat. Hal ini terlihat dari peningkatan jumlah kendaraan di Kota Makassar, baik kendaraan umum maupun pribadi yang mencapai sekitar 856 ribu unit pada tahun 2010 dengan tingkat pertumbuhan mencapai 12% pertahun (Dinas Perhubungan Kota Makassar, 2010).

Pertumbuhan kendaraan yang pesat di kota-kota besar mencerminkan kurang memadainya sistem transportasi kota. Masyarakat terdorong untuk menggunakan mobil pribadi dan sepeda motor karena ketiadaan transportasi umum yang nyaman, aman, murah dan tepat waktu. Pertumbuhan jumlah kendaraan yang tidak sebanding dengan peningkatan volume jalan yang cenderung statis mengakibatkan terjadinya perlambatan hingga kemacetan di berbagai ruas jalan kota. Hal ini berakibat pada pemborosan konsumsi bahan bakar kendaraan dan juga terjadinya akumulasi jumlah emisi dan degradasi kualitas udara (WRI, 2008).

Dari hasil evaluasi Kementerian Lingkungan Hidup pada tahun 2013, Kota Makassar masuk dalam *Level of Service* (LOS) F dimana LOS F menjelaskan kondisi arus terhambat, kecepatan rendah, volume di atas kapasitas, banyak berhenti. Berdasarkan evaluasi tersebut dapat diketahui bagaimana tingkat kemacetan dan volume kendaraan di Kota Makassar. Sehubungan dengan kondisi

Kementerian Lingkungan Hidup menyatakan nilai polutan CO yang dari kendaraan bermotor di Kota Makassar dari tahun 2011 ke tahun 2012



meningkat sebesar 38.46%. Jika kondisi tersebut terus terjadi maka kesehatan masyarakat akan terancam. (BLHD Kota Makassar. 2013)

Berdasarkan latar belakang diatas, maka perlunya melakukan penelitian untuk mengetahui tingkat pencemaran udara dari emisi kendaraan bermotor di bundaran jalan raya dengan melakukan analisis untuk mengetahui berapa besarnya konsentrasi polutan khususnya gas CO dan NOx yang ditimbulkan dari emisi kendaraan bermotor pada ruas jalan dan simpangan bundaran jalan. Hal ini dilakukan pada bundaran jalan yang cukup padat dilalui oleh kendaraan bermotor. Analisis emisi yang digunakan pada penelitian kali ini dilakukan dengan pendekatan mikrosimulasi lalu lintas dengan alat bantu *Software* VISSIM untuk mengetahui jumlah emisi gas buang (CO dan NOx) dari kendaraan bermotor yang berada di bundaran jalan raya kota Makassar.

Oleh karena itu, maka peneliti tertarik mengadakan penelitian sebagai Tugas Akhir dengan judul :

**“Analisis Beban Emisi Pada Bundaran Jalan Raya Kota Makassar Berdasarkan Pemodelan VISSIM”.**

## **B. Rumusan Masalah**

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

- 1). Berapa beban emisi CO dan NOx berdasarkan volume kendaraan bermotor di daerah jalan bundaran Samata, bundaran Tugu Mandiri, dan bundaran Mandai kota Makassar dengan menggunakan pemodelan Vissim ?
- 2). Berapa beban emisi CO dan NOx berdasarkan volume kendaraan bermotor di daerah jalan bundaran Samata, bundaran Tugu Mandiri, dan bundaran Mandai kota Makassar dengan menggunakan perhitungan standar faktor emisi Indonesia ?

Bagaimana hasil komparasi antara emisi CO dan NOx pemodelan Vissim dan perhitungan standar faktor emisi Indonesia ?



### C. Tujuan Penelitian

Adapun beberapa tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini ialah sebagai berikut :

- 1). Mengetahui beban emisi CO dan NO<sub>x</sub> yang dihasilkan pada aktivitas kendaraan bermotor di daerah jalan bundaran Samata, Tugu Mandiri dan bundaran Mandai kota Makassar dengan menggunakan pemodelan *software* VISSIM.
- 2). Mengetahui beban emisi CO dan NO<sub>x</sub> yang dihasilkan pada aktivitas kendaraan bermotor di daerah jalan bundaran Samata, Tugu Mandiri dan bundaran Mandai kota Makassar dengan menggunakan rumus perhitungan standar faktor emisi.
- 3). Mengkomparasi besar beban emisi berbasis mikrosimulasi dan standar faktor emisi Indonesia.

### D. Ruang Lingkup Wilayah

Adapun batasan – batasan dari penelitian ini ialah :

- 1). Parameter pencemar yang digunakan dalam permodelan dan pemantauan adalah gas Karbon Monoksida (CO), dan NO<sub>x</sub>.
- 2). Penelitian ini dilakukan selama 12 jam selama 3 hari yang dilaksanakan pada periode pukul jam 07:00 – 19.00 WITA.
- 3). Lokasi penelitian yaitu Bundaran Samata, Bundaran Tugu Mandiri, dan Bundaran Mandai. Yang merupakan bundaran yang berada di kota Makassar.
- 4). Analisis data menggunakan data primer yaitu berupa data yang diperoleh saat survei volume lalu lintas pada bundaran tersebut.
- 5). Jenis kendaraan yang dianalisis pada penelitian ini terdiri atas 13 jenis kendaraan. Yang berupa kendaraan ringan, kendaraan berat dan sepeda motor.





- 6). Kecepatan kendaraan diukur dengan *Speed Gun* di lapangan dan diambil secara acak pada semua jenis kendaraan.
- 7). Analisis jumlah emisi dari kendaraan bermotor dianalisis dengan menggunakan *Software* PTV Vissim.

### **E. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian analisis pencemaran udara dari emisi kendaraan dengan menggunakan *Software* VISSIM pada 3 daerah bundaran jalan kota Makassar yaitu :

1) Bagi Penulis

Sebagai syarat untuk menyelesaikan studi dan mendapat gelar ST (Sarjana Teknik) di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

2) Bagi Universitas

Dapat dijadikan sebagai referensi bagi generasi-generasi selanjutnya yang berada di Departemen Teknik Lingkungan khususnya yang mengambil konsentrasi dibidang Kualitas Udara atau sejenisnya dalam pengerjaan tugas, pembuatan laporan praktikum, atau dalam tahap penyusunan tugas akhir.

3) Bagi Masyarakat

Memberikan pengetahuan bagi pengguna jalan raya mengenai besaran pencemaran polutan CO dan NO<sub>x</sub> yang telah dihasilkan oleh kendaraan bermotor pada daerah jalan Bundaran Samata, Bundaran Tugu Mandiri dan Bundaran Mandai kota Makassar.

### **F. Sistematika Penulisan**

Penulisan laporan penelitian tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab mana masing-masing bab membahas masalah tersendiri, selanjutnya sistematika laporan ini sebagai berikut :



## **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, identifikasi permasalahan objek tugas akhir, maksud dan tujuan, batasan masalah, dan bagaimana sistematika penulisannya.

## **BAB 2 LANDASAN TEORITIS**

Bab ini menjelaskan suatu landasan teori dari suatu penelitian tertentu atau karya ilmiah sering juga disebut sebagai studi literatur atau tinjauan pustaka.

## **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Menjelaskan mengenai langkah-langkah atau prosedur pengambilan dan pengolahan data hasil penelitian.

## **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

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

## **BAB 5 PENUTUP**

Dalam bab ini berisi kesimpulan dari hasil analisis data yang telah dilakukan serta saran.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Udara

##### 1. Pengertian Udara

Udara adalah atmosfer yang ada di sekeliling bumi yang fungsinya sangat penting untuk kehidupan di muka bumi ini, dalam udara terdapat oksigen (O<sub>2</sub>) untuk bernafas, karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) untuk proses fotosintesis oleh khlorofil daun, dan ozon (O<sub>3</sub>) untuk menahan sinar ultraviolet dari matahari (Sunu, 2001).

Udara adalah campuran gas yang terdapat pada lapisan yang mengelilingi bumi. Komponen yang konsentrasinya paling bervariasi yaitu uap air dan CO<sub>2</sub>, kegiatan yang berpotensi menaikkan konsentrasi CO<sub>2</sub> seperti pembusukan sampah tanaman, pembakaran atau sekumpulan massa manusia di dalam ruangan terbatas yaitu karena proses pernapasan (Agusnar, 2007).

Menurut Sunu (2001), komposisi udara terutama uap air (H<sub>2</sub>O) sangat dipengaruhi oleh keadaan suhu udara, tekanan udara, dan lingkungan sekitarnya. Komposisi udara bersih dan kering, pada umumnya sebagai berikut:

- a. Nitrogen (N<sub>2</sub>) = 78,09 %
- b. Oksigen (O<sub>2</sub>) = 20,94 %
- c. Argon (Ar) = 0,93 %
- d. Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) = 0,032 %

##### 2. Baku Mutu Udara Ambien

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 keberadaannya dalam udara ambien (PP RI No.41 tahun 1999).

Dikeluarkannya baku mutu ini, maka berarti bahwa udara yang mengandung unsur – unsur melebihi standar akan disebut tercemar (bukan lagi i). 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. Berikut adalah parameter – parameter yang menjadi standar pengukuran (Balihristi, 2011).

**Tabel 1.** Baku Mutu Udara Ambien

No	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu	Metode Analisis	Peralatan
1	SO <sub>2</sub> (Sulfur dioksida)	1 jam 24 jam 1 thn	900 µg/Nm <sup>3</sup> 365 µg/Nm <sup>3</sup> 60 µg/Nm <sup>3</sup>	Pararosanilin	Spektrofotometer
2	CO (Karbon Monoksida)	1 jam 24 jam 1 thn	30.000 µg/Nm <sup>3</sup> 10.000 µg/Nm <sup>3</sup> -	NDIR	NDIR Analyzer
3	NO <sub>2</sub> (Nitrogen Dioksida)	1 jam 24 jam 1 thn	400 µg/Nm <sup>3</sup> 150 µg/Nm <sup>3</sup> 100 µg/Nm <sup>3</sup>	Saltzman	Spektrofotometer
4	O <sub>3</sub> (Oksidan)	1 jam 1 thn	235 µg/Nm <sup>3</sup> 50 µg/Nm <sup>3</sup>	Chemiluminescent	Spektrofotometer
5	HC (Hidro Karbon)	3 jam	160 µg/Nm <sup>3</sup>	Flame Ionization	Gas Chromatogarfi
6	PM 10 (Partikel < 10 µm )	24 jam	150 µg/Nm <sup>3</sup>	Gravimetric	Hi – Vol
	PM2,5 (*) (Partikel < 2,5 µm )	24 jam 1 thn	65 µg/Nm <sup>3</sup> 15 µg/Nm <sup>3</sup>	Gravimetric Gravimetric	Hi – Vol Hi – Vol
7	TSP (Debu)	24 jam 1 thn	230 µg/Nm <sup>3</sup> 90 µg/Nm <sup>3</sup>	Gravimetric	Hi – Vol
8	Pb (Timah Hitam)	24 jam 1 thn	2 µg/Nm <sup>3</sup> 1 µg/Nm <sup>3</sup>	Gravimetric Ekstrak Pengabuan	Hi – Vol AAS
	Debu total (TSP)	30 hari	10 Ton/km <sup>2</sup> / Bulan (Pemukiman) 20 Ton/km <sup>2</sup> /Bulan	Gravimetric	Cannister



No	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu	Metode Analisis	Peralatan
			(Industri)		

Sumber : PP RI No. 41 Tahun 1999

## B. Pencemaran Udara

### 1. Pengertian Pencemaran Udara

Pencemaran udara adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi atau komponen lain ke udara oleh kegiatan manusia atau proses alam, sehingga kualitas udara menurun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya. (Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup R.I No. KEP-03/MENKLH/II/1991). Pencemaran udara menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya.

Menurut Mukono (2003), yang dimaksud dengan pencemaran udara adalah bertambahnya bahan atau substrat fisik atau kimia ke dalam lingkungan udara normal yang mencapai sejumlah tertentu, sehingga dapat dideteksi oleh manusia (atau dapat dihitung dan diukur) serta memberikan efek pada manusia, binatang, vegetasi dan material. Selain itu, pencemaran udara juga memiliki arti yaitu adanya bahan-bahan atau zat-zat asing di dalam udara yang menyebabkan perubahan susunan (komposisi) udara dari keadaan normalnya. (Wardhana, 2004)

### Definisi Pencemaran Udara

Pencemaran udara mempengaruhi sistem kehidupan makhluk hidup seperti gangguan kesehatan, ekosistem yang berkaitan dengan manusia. Menurut



Mukono (2008) terdapat berbagai macam jenis zat pencemar udara terhadap penurunan kualitas udara seperti gas pencemar yang secara garis besar di bedakan menjadi Karbon Monoksida (CO), Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>), Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>), Ozon (O<sub>3</sub>), dan partikulat. (Daryanto, 2004)

**a. Karbon Monoksida (CO).** Karbon monoksida (CO) yang terdapat di alam terbentuk dari salah satu proses yaitu Pembakaran tidak lengkap terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon, reaksi antara karbon dioksida dan komponen yang mengandung karbon pada suhu tinggi. Pada suhu tinggi, CO<sub>2</sub> terurai menjadi CO dan O<sub>2</sub>. Pembebasan CO ke atmosfer sebagai aktivitas manusia lebih nyata, misalnya dari transportasi, pembakaran minyak, gas arang atau kayu, proses – proses industri, industri besi, kertas, kayu, pembuangan limbah padat, kebakaran hutan dan lain–lain. (Daryanto, 2004)

Dengan sifatnya yang tidak berwarna, tidak berbau, tidak mempunyai rasa yang terdapat dalam bentuk gas pada suhu di atas – 192°C. Gas ini mempunyai berat sebesar 96,5% dari berat air dan tidak larut dalam air dan dapat memberikan kelainan seperti kerusakan otot jantung dan susunan saraf pusat (SSP) dengan keluhan yang di rasakan seperti rasa pusing, pandangan menjadi kabur, kehilangan daya pikir, penurunan koordinasi syaraf, dan akhirnya sampai berujung pada kematian (Daryanto, 2004)

Mekanisme alami di mana karbonmonoksida hilang dari udara banyak diteliti dan pembersihan CO dari udara kemungkinan terjadi karena beberapa proses yaitu reaksi atmosfer yang berjalan sangat lambat sehingga jumlah CO yang hilang sangat sedikit, aktivitas mikroorganisme yang terdapat dalam tanah dapat menghilangkan CO dengan kecepatan relatif tinggi dari udara. Meskipun tanah dengan mikroorganisme didalamnya dapat berfungsi dalam pembersihan CO di atmosfer, tetapi kenaikan konsentrasi CO di udara masih saja terjadi. Hal ini disebabkan tanah yang tersedia tidak tersebar rata (Daryanto, 2004).

Karbon monoksida (CO) adalah gas yang tidak berbau, tidak berasa dan tidak berwarna. Oleh karena itu lingkungan yang telah tercemar oleh gas tidak dapat dilihat oleh mata. Di daerah perkotaan dengan lalu lintas yang



padat konsentrasi gas CO berkisar antara 10–15 ppm. Gas CO dalam jumlah banyak (konsentrasi tinggi) dapat menyebabkan gangguan kesehatan, bahkan dapat menimbulkan kematian (Wardhana,2004).

CO yang terdapat di alam terbentuk melalui salah satu reaksi berikut:

- 1) Pembakaran tidak lengkap terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon.
- 2) Reaksi antara CO<sub>2</sub> dengan komponen yang mengandung karbon pada suhu tinggi.
- 3) Penguraian CO<sub>2</sub> menjadi CO dan O.

Berbagai proses geofisika dan biologis diketahui dapat memproduksi CO, misalnya aktivitas vulkanik, pancaran listrik dari kilat, emisi gas alami, dan lainlain. Sumber CO lainnya yaitu dari proses pembakaran dan industri (Fardiaz, 1992).

Karbon Monoksida secara praktis diproduksi oleh proses-proses yang artifisial dan 80% diduga berasal dari asap kendaraan bermotor. Konsentrasi CO di udara perkotaan menunjukkan korelasi yang positif dengan kepadatan lalu lintas, dan korelasi yang negatif dengan kecepatan angin. Efeknya terhadap kesehatan disebabkan karena CO dapat menggeser oksigen yang terkait pada Hemoglobin (Hb) dan mengikat Hb menjadi karbon monoksida hemoglobin (COHb) (Soemirat, 2009).

Pengaruh karbon Monoksida ternyata (CO) terhadap tubuh manusia ternyata tidak sama untuk manusia satu dengan manusia lainnya. Daya tahan tubuh ikut menentukan toleransi tubuh terhadap pengaruh adanya karbon monoksida. Keracunan gas karbon monoksida (CO) dapat ditandai dari keadaan yang ringan, berupa musing, sakit kepala dan mual. Keadaan yang lebih berat dapat berupa menurunnya kemampuan gerak tubuh, gangguan sistem kardiovaskuler, serangan jantung sampai pada kematian (Wardhana,

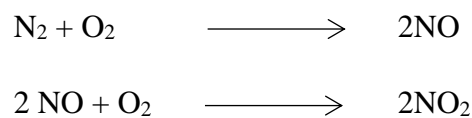
).

**Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>).** Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>) adalah kelompok gas nitrogen yang terdapat di atmosfer yang terdiri dari nitrogen monoksida (NO)



dan nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>). Walaupun ada bentuk nitrogen oksida lainnya, tetapi kedua gas tersebut yang paling banyak diketahui sebagai bahan pencemar udara. Nitrogen monoksida merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau sebaliknya nitrogen dioksida berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam. Selain itu, kadar NO<sub>x</sub> di udara dalam suatu kota bervariasi sepanjang hari tergantung dari intensitas sinar matahari dan aktivitas kendaraan bermotor.

Adapun persamaan reaksi dari pembentukan senyawa Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>) adalah sebagai berikut :



Pembentukan NO<sub>2</sub> sangat dipengaruhi oleh suhu dan konsentrasi NO, sedangkan pembentukan NO dirangsang hanya pada suhu tinggi. Dalam proses pembakaran, suhu yang digunakan biasanya mencapai 1.210 – 1.765 °C, oleh karena itu reaksi ini merupakan sumber NO yang penting. Jadi reaksi pembentukan NO merupakan hasil samping dari proses pembakaran.

Kadar NO<sub>x</sub> diudara perkotaan biasanya 10 – 100 kali lebih tinggi dari pada di udara pedesaan. Kadar NO<sub>x</sub> diudara daerah perkotaan dapat mencapai 0,5 ppm. Seperti halnya CO, emisi NO<sub>x</sub> dipengaruhi oleh kepadatan penduduk karena sumber utama NO<sub>x</sub> yang diproduksi manusia adalah dari pembakaran dan kebanyakan pembakaran disebabkan oleh kendaraan bermotor, produksi energy dan pembuangan sampah. Sebagian besar emisi NO<sub>x</sub> buatan manusia berasal dari pembakaran arang, minyak, gas, dan bensin.

Kendaraan bermotor memproduksi nitrogen oksida dalam bentuk NO sebanyak 98%. Di dalam udara NO ini akan berubah menjadi NO<sub>2</sub>. Kedua bentuk nitrogen oksida, yaitu NO dan NO<sub>2</sub> berbahaya terhadap manusia, penelitian aktivitas mortalitas kedua komponen tersebut menunjukkan bahwa empat kali lebih beracun daripada NO ( Fardiaz,1992).

Nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) adalah gas yang toksik bagi manusia. Efek yang di tergantung pada dosis serta lamanya pemaparan yang diterima oleh



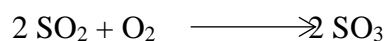


seseorang. Konsentrasi oleh NO<sub>2</sub> yang berkisar antara 50-100 ppm dapat menyebabkan peradangan paru-paru bila orang terpapar selama beberapa menit saja. Pada fase ini seseorang masih dapat sembuh kembali dalam waktu 6-8 minggu. Konsentrasi 150-200 ppm dapat menyebabkan pemampatan bronkioli. Seseorang dapat meninggal dalam waktu 3-5 minggu setelah pemaparan oleh gas tersebut. Bahkan konsentrasi yang lebih dari 500 ppm dapat mematikan dalam waktu 2-10 hari. (Daryanto, 2004)

Gas NO<sub>2</sub> merupakan gas yang sangat berbahaya terhadap manusia, pada konsentrasi yang normal ditemukan di atmosfer, NO tidak mengakibatkan iritasi dan tidak berbahaya tetapi pada konsentrasi udara ambien yang normal NO dapat mengalami oksidasi menjadi NO<sub>2</sub> yang lebih beracun, dengan sifatnya berwarna cokelat kemerahan dan berbau tajam dapat menimbulkan keluhan yang berupa sakit mata (iritasi) dan sakit pada paru-paru. Kedua bentuk gas ini paling banyak ditemukan sebagai polutan udara yang sangat berbahaya terhadap manusia. (Daryanto, 2004)

**c. Sulfur Oksida (SO<sub>x</sub>).** Belerang oksida (SO<sub>x</sub>) terdiri atas gas SO<sub>2</sub> dan SO<sub>3</sub>. Gas SO<sub>2</sub> berbau tajam dan tidak mudah terbakar, sedangkan gas SO<sub>3</sub> bersifat sangat reaktif. Emisi SO<sub>x</sub> terbentuk dari fungsi kandungan sulfur dalam bahan bakar, selain itu kandungan sulfur dalam pelumas juga menjadi penyebab terbentuknya SO<sub>x</sub> emisi.

Adapun persamaan reaksi dari pembentukan senyawa Sulfur Oksida (SO<sub>x</sub>) adalah sebagai berikut :



Kandungan SO<sub>3</sub> dalam SO<sub>x</sub> sangat kecil sekali yaitu sekitar (1-5)%. Gas yang berbau tajam tapi tidak berwarna ini dapat menimbulkan serangan asma, gas ini pun apabila bereaksi di atmosfer akan membentuk zat asam. Badan kesehatan dunia (WHO) menyatakan bahwa tahun 1997-2003 jumlah sulfur oksida di udara telah mencapai ambang batas. Dampak gas SO<sub>x</sub> sangat berbahaya bagi manusia terutama pada konsentrasi di atas 0,4 ppm. Akibat



yang ditimbulkan jika mengganggu kesehatan manusia adalah; gangguan sistem pernafasan, karena gas  $SO_x$  yang mudah menjadi asam menyerang selaput lendir pada hidung, tenggorokan dan saluran pernafasan yang lain sampai ke paru-paru. Pada konsentrasi 1-2 ppm, bagi orang yang sensitif serangan gas  $SO_x$  ini menyebabkan iritasi pada bagian tubuh yang terkena langsung. Namun bagi orang yang cukup kebal akan terasa teriritasi pada konsentrasi 6 ppm dengan waktu pemaparan singkat. Pemaparan dengan  $SO_x$  lebih lama dapat menyebabkan peradangan yang hebat pada selaput lendir yang diikuti oleh kelumpuhan sistem pernafasan, kerusakan dinding ephitelium dan pada akhirnya diikuti oleh kematian. Pengaruh  $SO_2$  terhadap hewan sangat menyerupai efek  $SO_2$  terhadap tumbuhan tampak terutama pada daun yang menjadi putih atau terjadi nekrosis. Daun yang hijau dapat berubah menjadi kuning, ataupun bercak-bercak putih (Soemirat, 2009).

### 3. Sumber Pencemaran Udara

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara, sumber pencemar udara adalah setiap usaha dan/atau kegiatan yang mengeluarkan bahan pencemar ke udara yang menyebabkan udara tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya.

Sumber pencemaran dapat merupakan kegiatan yang bersifat alami (natural) dan kegiatan antropogenik. Contoh sumber alami adalah akibat letusan gunung berapi, kebakaran hutan, dekomposisi biotik, debu, spora tumbuhan dan lain sebagainya. Pencemaran udara akibat aktivitas manusia (kegiatan antropogenik), secara kuantitatif sering lebih besar. Untuk kategori ini sumber-sumber pencemaran dibagi dalam pencemaran akibat aktivitas transportasi, industri, dari persampahan, baik akibat dekomposisi ataupun pembakaran, dan rumah tangga. (Soedomo, 2001)

Pencemaran udara akibat kegiatan transportasi yang sangat penting adalah akibat kendaraan bermotor di darat. Kendaraan bermotor merupakan sumber pencemaran udara yaitu dengan dihasilkannya gas CO, NO<sub>x</sub>, hidrokarbon, SO<sub>2</sub> dan *etraethyl lead*, yang merupakan bahan logam timah yang ditambahkan ke bensin berkualitas rendah untuk meningkatkan nilai oktan guna



mencegah terjadinya letupan pada mesin. Parameter-parameter penting akibat aktivitas ini adalah CO, partikulat, NO<sub>x</sub>, HC, Pb, dan SO<sub>x</sub>. (Soedomo, 2001)

Sumber pencemar udara dapat dikelompokkan menjadi sumber bergerak dan sumber tidak bergerak (Sarudji, 2010).

### 1. Sumber Bergerak

Sumber pencemar udara bergerak dapat dikelompokkan menjadi:

- a) Kendaraan bermotor, (b). Pesawat terbang (c). Kereta api dan (d). Kapal, (Sarudji, 2010).

Dalam proses pembakaran bahan bakar maka timbullah gas buang dari masing-masing kendaraan, yang diemisikan ke udara ambien sebagai pencemar. Hasil pembakaran tersebut diantaranya adalah CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, Hidrokarbon dan bahan dengan penambahan bahan aditif yang digunakan untuk menyempurnakan proses pembakaran. Dalam berbagai penelitian menunjukkan bahwa pada sepeda motor merupakan kendaraan yang berkontribusi besar dalam pencemaran CO, SO<sub>2</sub> dan Pb. (Ryadi, 2002).

**Tabel 2.** Baku Mutu Udara Emisi Sumber Bergerak

No	Kategori Kendaraan	Bahan Bakar	Uji tahap Operasi	CO gr/Km		Baku Mutu Hidrokarbon gr/Km		Maks	Rata-rata
				Maks	Rata-rata	Maks	Rata-rata		
1.	Mobil penumpang dengan tempat duduk Maksimal 9 orang	Bensin	10	28,2	24,6	4,2	3,6	3,7	3,1
2.	Mobil dengan berat dari 2-3 ton	Bensin	10	31,4	26,8	4,8	4,3	3,7	3,3
3.	Kendaraan bermotor disel*)								
	-Direct injection	Solar	6	1.050	920			1.010	920
	-Indirect injection	Solar	6	1.050	920	680	590	1.010	920
4.	Kendaraan roda 2*)								
	-Untuk 4 tak	Bensin	Idling	4,5				3.300	
	-Untuk 2 tak	Bensin	Idling						

Keterangan : \*) dalam ppm

Sumber : Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup

Nomor Kep-02/MENKLH/I/1988



**Tabel 3.** Baku Mutu Emisi Gas Buang Bermotor dengan metode Uji WMTC

WMTC				
No	KATEGORI	PARAMETER	NILAI AMBANG BATAS gram/km	METODA UJI
1	a. ( $\geq 130$ km/jam)	CO HC NOx	2,62 0,33 0,22	WMTC
	b. ( $< 130$ km/jam)	CO HC NOx	2,62 0,75 0,17	

Kelas	Sub Kelas	Definisi
Kelas 1	-	50 cc < kapasitas silinder mesin < 150 cc dan $V_{max} > 50$ km/jam atau kapasitas silinder mesin < 150cc, 50 km/jam $\leq V_{max} < 100$ km/jam
Kelas 2	2-1	kapasitas silinder mesin < 150 cc dan 100 km/jam $\leq V_{max} < 115$ km/jam, atau kapasitas silinder mesin $\geq 150$ cc dan $V_{max} < 115$ km/jam
	2-2	115 km/jam $\leq V_{max} < 130$ km/jam
Kelas 3	3-1	130 km/jam $\leq V_{max} < 140$ km/jam
	3-2	$V_{max} \geq 140$ km/jam

Catatan: 1. WMTC: ( Worldwide Harmonized Motorcycle Emissions Certification Procedure) 2.  $V_{max}$  adalah kecepatan maksimum kendaraan sebagaimana dinyatakan oleh produsen, diukur sesuai dengan Directive Uni Eropa (UE) No. 95/1/EC.

**Sumber :** Permen LH No.10 tahun 2012

## 2. Sumber Tak Bergerak (Menetap)

Menurut (Sarudji, 2010), yang termasuk sumber pencemar dari bahan bakar bersumber menetap adalah pembakaran beberapa jenis bahan bakar yang diemisikan pada suatu lokasi yang tetap. Bahan bakar tersebut terdiri atas batu bara, minyak bakar, gas alam, dan kayu destilasi minyak. Berbeda dengan sarana transportasi, sumber pencemar udara menetap mengemisikan polutan pada udara ambien tetap, sehingga dalam pengelolaan lingkungannya perlu perencanaan yang matang, misalnya harus dipertimbangkan keadaan geografi dan topografi, metereologi, serta rencana tata ruang di wilayah tersebut.

## 4. Klasifikasi Bahan Pencemar Udara

pencemar udara atau polutan dapat dibagi menjadi 2 (dua) bagian:

### Polutan Primer

Menurut (Mukono, 2006), polutan primer adalah polutan yang dikeluarkan



langsung dari sumber tertentu dan dapat berupa :

a. Gas, terdiri dari:

- 1) Senyawa karbon, yaitu hidrokarbon, hidrokarbon teroksidasi, dan karbon oksida (CO dan CO<sub>2</sub>).
- 2) Senyawa sulfur, yaitu sulfur oksida.
- 3) Senyawa nitrogen, yaitu nitrogen oksida dan amoniak.
- 4) Senyawa halogen, yaitu flour, klorin, hidrogen klorida, hidrokarbon terklorinasi dan bromin.

Penyebab pencemaran lingkungan di atmosfer biasanya berasal dari sumber kendaraan bermotor dan atau industri. Bahan pencemar yang dikeluarkan antara lain adalah gas NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, ozon, CO, HC, dan partikel debu. Gas NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, HC dan CO dapat dihasilkan dari proses pembakaran oleh mesin yang menggunakan bahan bakar yang berasal dari bahan fosil (Mostardi dalam Mukono, 2008).

b. Partikel

Partikel dalam atmosfer mempunyai karakteristik spesifik, dapat berupa zat padat maupun suspensi aerosol cair. Bahan partikel tersebut dapat berasal dari proses kondensasi, proses dispersi (proses menyemprot (*spraying*) maupun proses erosi bahan tertentu. Asap (*smoke*) seringkali dipakai untuk menunjukkan campuran bahan partikulat (*particulate matter*), uap (*fumes*), gas dan kabut (*mist*) (Mukono, 2005).

Adapun yang dimaksud dengan:

1. Asap, adalah partikel karbon yang sangat halus (sering disebut jelaga) dan merupakan hasil dari pembakaran yang tidak sempurna.
2. Debu, adalah partikel padat yang dihasilkan oleh manusia atau alam dan merupakan hasil proses pemecahan suatu bahan.
3. Uap, adalah partikel padat yang merupakan hasil dari proses sublimasi, distilasi atau reaksi kimia.

Abut, adalah partikel cair dari reaksi kimia dan kondensasi uap air. Berdasarkan ukuran, secara garis besar partikel dapat merupakan suatu:

Partikel debu kasar (*coarse particle*), jika diameternya > 10 mikron.



- b. Partikel debu, uap dan asap, jika diameternya diantara 1 - 10 mikron.
- c. Aerosol, jika diameternya < 1 mikron.

## 2. Polutan Sekunder

Menurut (Mukono, 2005), polutan sekunder biasanya terjadi karena reaksi dari dua atau lebih bahan kimia di udara, misalnya reaksi foto kimia, sebagai contoh adalah disosiasi NO<sub>2</sub> yang menghasilkan NO dan O radikal. Proses kecepatan dan arah reaksinya dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Konsentrasi relatif dari bahan reaktan
2. Derajat foto aktivasi, kondisi iklim, topografi lokal dan adanya embun
3. Polutan sekunder ini mempunyai sifat fisik dan sifat kimia yang tidak stabil.
4. Termasuk dalam polutan sekunder ini adalah ozon, Peroxy acyl Nitrat (PAN) dan Formaldehida (Corman dan Chambers dalam Mukono, 2008).

## C. Emisi Kendaraan Bermotor

### 1. Pengertian Emisi

Menurut PP No. 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara yang dimaksud dengan emisi adalah zat, energi dan/atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk dan/atau dimasukkannya ke dalam udara ambien yang mempunyai dan/atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar. Sumber emisi adalah setiap usaha dan/atau kegiatan yang mengeluarkan emisi dari sumber bergerak, sumber bergerak spesifik, sumber tidak bergerak maupun sumber tidak bergerak spesifik.

Emisi turut membentuk efek gas rumah kaca. Emisi gas rumah kaca adalah hasil kegiatan manusia yang meningkatkan konsentrasi gas-gas rumah kaca karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana, klorofluoro karbon dan nitrogen oksida (Munro, 2001). Penelitian yang dilakukan oleh Kementerian Negara Lingkungan Hidup bekerjasama dengan Japan International Cooperation



Agency (JICA) tahun 1997 menunjukkan bahwa sekitar 70% kontribusi pencemaran udara berasal dari sektor transportasi.

## 2. Jenis – jenis kendaraan bermotor

Kendaraan bermotor menurut Peraturan Pemerintah RI No.55 Tahun 2012 tentang Kendaraan, adalah setiap kendaraan yang digerakkan oleh peralatan mekanik berupa mesin selain kendaraan yang berjalan di atas rel. Sedangkan menurut Peraturan Pemerintah RI No.44 Tahun 1993 tentang kendaraan dan pengemudi adalah kendaraan bermotor adalah kendaraan yang digerakkan oleh peralatan teknik yang berada pada kendaraan itu.

Berdasarkan peraturan Menteri dalam Negeri No.23 tahun 2011 tentang Penghitungan Dasar Pengenaan Pajak Kendaraan Bermotor dan Bea Balik Nama Kendaraan Bermotor, Kendaraan Bermotor didefinisikan sebagai semua kendaraan beroda beserta gandengannya yang digunakan di semua jenis jalan darat, dan digerakkan oleh peralatan teknik berupa motor atau peralatan lainnya yang berfungsi untuk mengubah suatu sumber daya energy tertentu menjadi tenaga gerak kendaraan bermotor yang bersangkutan, termasuk alat-alat berat dan alat-alat besar yang dalam operasinya menggunakan roda dan motor dan tidak melekat secara permanen serta kendaraan bermotor yang dioperasikan di air.

Hampir di seluruh bagian kota, seperti kota Makassar permintaan kendaraan bermotor terus meningkat. Hal ini menyebabkan berbagai perusahaan otomotif berlomba-lomba dalam mempromosikan dan memproduksi kendaraan bermotor, baik itu kendaraan beroda dua seperti motor ataupun kendaraan beroda empat dan lebih seperti mobil, bus, dan truk. Besarnya jumlah kendaraan yang diproduksi memberikan dampak meningkatnya volume lalu lintas.

Peraturan Menteri Perhubungan No.14 Tahun 2006 tentang Manajemen dan Rekayasa Lalu lintas di Jalan menjelaskan bahwa volume lalu lintas adalah

jumlah kendaraan yang melewati suatu titik tertentu pada ruas jalan per satuan waktu, dinyatakan dalam kendaraan/jam atau satuan mobil penumpang per jam.



**Tabel 4.** Satuan Mobil Penumpang

<b>Tipe Kendaraan</b>	<b>Nilai SMP</b>
Mobil penumpang, <i>pick up</i> , <i>station wagon</i>	1
Bus sedang	1.5
Bus besar	2
Truk	2

Sumber : Buku II NKLD DKI Jakarta 1997, hal 133

Adapun jenis kendaraan bermotor menurut Peraturan Pemerintah Nomor 55 Tahun 2012, yaitu :

1) 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 stangnya oleh pengendara memberikan kestabilan.

Berdasarkan siklus langkah kerjanya, sepeda motor dapat dikasifikasikan menjadi dua jenis :

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

2) Mobil Penumpang

Mobil penumpang yang di maksud yaitu kendaraan bermotor yang memiliki tempat duduk maksimal delapan orang.

3) Mobil Bus

Mobil bus yang di maksud yaitu kendaraan bermotor angkutan orang yang memiliki tempat duduk lebih dari 8 (delapan) orang, termasuk untuk Pengemudi atau yang beratnya lebih dari 3.500 (tiga ribu lima ratus) kilogram.





#### 4) Mobil Barang

Mobil barang yang di maksud adalah kendaraan bermotor yang digunakan untuk angkutan barang.

#### 5) Kendaraan Khusus

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

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

### 3. Faktor Yang Mempengaruhi Emisi Kendaraan Bermotor

Tiap kendaraan bermotor akan mengeluarkan emisi yang banyaknya antara lain tergantung kepada tahun kendaraan, jenis bahan bakar yang digunakan. Kendaraan dengan tahun pembuatan yang lebih lama akan mengeluarkan emisi yang lebih banyak dibandingkan dengan kendaraan baru. Demikian juga kendaraan dengan bahan bakar bensin akan mengeluarkan jenis emisi yang berbeda dengan kendaraan berbahan bakar solar (Marlok, 1991).

Kecepatan juga akan mempengaruhi jumlah emisi yang dikeluarkan oleh suatu kendaraan. Menurut Marlok (1991) yang melakukan uji emisi di Amerika Serikat, semakin tinggi kecepatan yang digunakan pada suatu kendaraan, maka jumlah CO yang dikeluarkan akan semakin kecil. Hal ini berbanding terbalik dengan NO<sub>2</sub>, dimana semakin tinggi kecepatan yang digunakan maka NO<sub>2</sub> yang dikeluarkan akan semakin besar.

Faktor penting yang menyebabkan emisi gas buang kendaraan terhadap pencemaran udara di perkotaan yaitu : (Tri Tugaswati, 2007).

Perkembangan jumlah kendaraan yang cepat.

Tidak seimbang nya prasarana transportasi dengan jumlah kendaraan yang ada.



- 3) Pola lalu lintas perkotaan yang berorientasi memusat, akibat terpusatnya kegiatan-kegiatan perekonomian dan perkantoran di pusat kota.
- 4) Masalah turunan akibat pelaksanaan kebijakan pengembangan kota yang ada, misalnya daerah pemukiman penduduk yang semakin menjauhi pusat kota.
- 5) Kesamaan waktu aliran lalu lintas.
- 6) Jenis, umur dan karakteristik kendaraan bermotor .
- 7) Faktor perawatan kendaraan dan jenis bahan bakar yang digunakan.
- 8) Jenis permukaan jalan dan struktur pembangunan jalan.
- 9) Siklus dan pola mengemudi (*driving pattern*).

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

Faktor penting yang menyebabkan dominannya pengaruh sektor transportasi terhadap pencemaran udara perkotaan di Indonesia antara lain:

**a) Jumlah Kendaraan**

Meningkatnya jumlah kendaraan bermotor yang signifikan mengakibatkan kebutuhan akan pemakaian bahan bakar minyak (BBM) juga semakin meningkat khususnya bahan bakar solar dan bensin. Penggunaan bahan bakar yang banyak tentunya akan menyebabkan emisi gas buang yang banyak pula. Pertambahan volume lalu lintas juga akan mengakibatkan bertambahnya emisi polusi udara sehingga dapat dianggap menurunkan kualitas udara. Meskipun perkembangan teknologi terbaru secara signifikan dapat mengurangi jumlah emisi, namun tingkat kenaikan dari jumlah kendaraan bermotor yang cukup

dan jauhnya jarak perjalanan membuat hal tersebut tidak berguna lagi. Peningkatan jumlah kendaraan sebanding dengan peningkatan jumlah emisi yang dihasilkan.



### **b) Umur Kendaraan**

Pembatasan usia kendaraan akan menekan tingkat kemacetan lalu lintas dan akan mengurangi emisi gas buang. Terjadinya kemacetan lalu lintas akan memperbesar emisi gas CO karena terjadi pembakaran yang tidak sempurna, hingga hampir 6 kali bila lalu lintas tidak mengalami kemacetan. Umur mesin berpengaruh terhadap konsentrasi emisi CO yang dihasilkan sepeda motor. Semakin tua umur mesin sepeda motor maka konsentrasi emisi CO yang dihasilkan semakin besar. Hal ini disebabkan oleh komponen – komponen mesin (yang berperan penting dalam proses pembakaran) telah banyak mengalami proses keausan selain itu, banyak kotoran – kotoran yang menempel di saringan udara.

### **c) Kecepatan Kendaraan**

Emisi gas buang kendaraan dan kebisingan berkaitan erat dengan arus lalu lintas dan kecepatan. Pada arus lalu lintas yang konstan emisi ini berkurang dengan pengurangan kecepatan selama jalan tidak mengalami kemacetan. Jika arus lalu-lintas mendekati kapasitas (derajat kejenuhan  $> 0,8$ ), kondisi turbulen “berhenti dan berjalan” yang disebabkan kemacetan terjadi dan menyebabkan kenaikan emisi gas buang dan kebisingan jika dibandingkan dengan kondisi lalu-lintas yang stabil. Alinyemen jalan yang tidak diinginkan seperti tikungan tajam dan kelandaian curam menaikkan kebisingan dan emisi gas buang.

### **d) Perawatan Kendaraan**

Kadar gas berbahaya CO dan NOx pada gas buang kendaraan bermotor bisa ditekan sekecil mungkin dengan perawatan yang baik terhadap mesin kendaraan tersebut. Namun demikian tidak semua pemilik kendaraan bermotor memiliki kesadaran yang tinggi, disamping enggan untuk mengeluarkan biaya perawatan yang mahal. Karburator yang tidak terawat, tidak dapat mencampur bahan bakar dengan udara dengan baik, sehingga pembakaran yang terjadi tidak sempurna. Perawatan yang dilakukan terhadap mesin kendaraan berpengaruh terhadap emisi yang dihasilkan. Semakin rutin sepeda motor melakukan servis maka emisi CO, HC, dan NOx yang dihasilkan semakin kecil.



Kendaraan tahun rendah (kendaraan tua) sebagian besar mencemari lingkungan artinya emisi gas buang yang dihasilkan sudah melebihi ambang batas yang ditetapkan, meskipun demikian ada juga kendaraan bertahun rendah yang ramah lingkungan. Tetapi, bukan berarti kendaraan yang bertahun tinggi (kendaraan baru) tidak mencemari lingkungan. Hal ini bisa terjadi karena pemakaian yang berlebihan sehingga perawatan terhadap kendaraan bermotorpun kurang diperhatikan dan tidak dilakukan perawatan secara teratur. Dengan demikian perawatan kendaraan ikut menentukan besarnya emisi gas buang kendaraan.

e) **Kapasitas Mesin**

Kapasitas mesin kendaraan mempengaruhi konsumsi bahan bakar, semakin besar kapasitas mesin, semakin besar pula bahan bakar yang dibutuhkan oleh kendaraan tersebut. Perbedaan kapasitas silinder mempengaruhi konsentrasi emisi gas buangnya. Mesin kendaraan dengan kapasitas silinder lebih besar akan mengeluarkan zat pencemar yang lebih besar.

f) **Jumlah Bahan Bakar**

Sektor transportasi memiliki ketergantungan yang tinggi terhadap sumber energi. Hampir sebagian besar produk kendaraan bermotor yang digunakan dalam sektor transportasi menggunakan bahan bakar minyak (BBM) sebagai sumber energi. Pola berkendara dengan besarnya frekuensi jalan-berhenti yang umumnya terjadi di persimpangan, membutuhkan bahan bakar semakin besar bila dibandingkan dengan pola berkendara yang berjalan dengan kecepatan konstan untuk semua jenis motor, baik berbahan bakar bensin maupun diesel. Kendaraan yang paling efisien dalam konsumsi bahan bakar adalah kendaraan umum (angkot). Disusul dengan kendaraan pribadi berbahan bakar premium lalu solar. Hal ini sudah sesuai dengan pustaka yang menyatakan bahwa kapasitas mesin kendaraan mempengaruhi konsumsi bahan bakar, semakin

kapasitas mesin, semakin besar pula bahan bakar yang dibutuhkan oleh kendaraan tersebut.



#### **g) Jenis Bahan Bakar**

Dalam pelaksanaan penelitian ini, jenis kendaraan yang digunakan terbagi dua, yaitu kendaraan yang menggunakan bahan bakar bensin dan yang menggunakan bahan bakar solar. Jenis bahan bakar pencemar yang dikeluarkan oleh mesin dengan bahan bakar bensin maupun bahan bakar solar sebenarnya sama saja, hanya berbeda proporsinya karena perbedaan cara operasi mesin (Muziansyah, 2015)

#### **4. Komposisi Gas Buang Kendaraan Bermotor**

Emisi kendaraan bermotor mengandung berbagai senyawa kimia. Komposisi dari kandungan senyawa kimianya tergantung dari kondisi mengemudi, jenis mesin, alat pengendali emisi bahan bakar, suhu operasi dan faktor lain yang semuanya ini membuat pola emisi menjadi rumit. Jenis bahan bakar pencemar yang dikeluarkan oleh mesin dengan bahan bakar bensin maupun bahan bakar solar sebenarnya sama saja, hanya berbeda proporsinya karena perbedaan cara operasi mesin. Secara visual selalu terlihat asap dari knalpot kendaraan bermotor dengan bahan bakar solar, yang umumnya tidak terlihat pada kendaraan bermotor dengan bahan bakar bensin (Tri, 2004)

Walaupun gas buang utama kendaraan bermotor terdiri dari senyawa yang tidak berbahaya seperti nitrogen, karbon dioksida dan uap air, tetapi jika senyawa tersebut memiliki kadar yang besar serta terkandung juga senyawa lain dengan jumlah yang cukup besar, dapat membahayakan kesehatan maupun lingkungan.

Bahan pencemar yang terutama terdapat didalam gas buang kendaraan bermotor adalah karbon monoksida (CO), berbagai senyawa hidrokarbon, berbagai oksida nitrogen (NOx) dan sulfur (SOx), dan partikulat debu termasuk timbel (PB). Bahan bakar tertentu seperti hidrokarbon dan timbel organik, dilepaskan keudara karena adanya penguapan dari sistem bahan bakar (Tri, 2004).

Menurut Wardhana (2001), emisi gas buang kendaraan bermotor berdampak negatif bagi kehidupan makhluk hidup terutama manusia. Udara yang tercemar dapat meningkatkan berbagai jenis penyakit seperti ISPA (Infeksi Saluran Pernapasan Atas). Untuk jangka waktu yang panjang penurunan kualitas udara



dapat menyebabkan kematian. Komposisi gas buang kendaraan bermotor yang dinyatakan dapat membahayakan kesehatan antara lain :

- 1) Karbon Monoksida (CO) dapat mengurangi kadar oksigen dalam darah, dapat menimbulkan pusing, gangguan berpikir, penurunan refleks dan gangguan jantung.
- 2) Hidrokarbon (HC) dapat menyebabkan iritasi mata, pusing, batuk, mengantuk, bercak kulit, perubahan kode genetik, memicu asma dan kanker paru – paru.
- 3) Oksida Nitrogen (NO) dapat menimbulkan iritasi mata, batuk, meningkatkan kasus asma, menimbulkan infeksi, saluran nafas, memicu kanker paru – paru, serta gangguan jantung dan paru.
- 4) Oksida Sulfur (SO) dapat menimbulkan efek iritasi pada saluran nafas sehingga menimbulkan gejala batuk dan sesak nafas.
- 5) Timbal (Pb) dapat meracuni sistem pembentukan darah merah sehingga dapat mengakibatkan beberapa hal antara lain, menimbulkan gangguan pembentukan sel darah merah, anemia, tekanan darah tinggi, mengurangi fungsi ginjal, reproduksi pria, menimbulkan penurunan kemampuan otak dan mengurangi kecerdasan.

Lalu lintas kendaraan bermotor, juga dapat meningkatkan kadar partikular debu yang berasal dari permukaan jalan, komponen ban dan rem. Setelah berada di udara, beberapa senyawa yang terkandung dalam gas buang kendaraan bermotor dapat berubah karena terjadinya suatu reaksi, misalnya dengan sinar matahari dan uap air, atau juga antara senyawa-senyawa tersebut satu sama lain. (Tri, 2004)

Proses reaksi senyawa pada gas buang kendaraan bermotor ada yang berlangsung cepat dan terjadi saat itu juga di lingkungan jalan raya, dan adapula yang berlangsung dengan lambat. Reaksi kimia di atmosfer kadangkala berlangsung dalam suatu rantai reaksi yang panjang dan rumit, dan menghasilkan

akhir yang dapat lebih aktif atau lebih lemah dibandingkan senyawa aslinya. Contoh, adanya reaksi di udara yang mengubah nitrogen monoksida (NO) yang terkandung di dalam gas buang kendaraan bermotor menjadi nitrogen dioksida



(NO<sub>2</sub>) yang lebih reaktif, dan reaksi kimia antara berbagai oksida nitrogen dengan senyawa hidrokarbon yang menghasilkan ozon dan oksida lain, yang dapat menyebabkan asap awan fotokimi (*photochemical smog*). Pembentukan *smog* ini kadang tidak terjadi di tempat asal sumber (kota), tetapi dapat terbentuk di pinggiran kota. Jarak pembentukan *smog* ini tergantung pada kondisi reaksi dan kecepatan angin. (Ferawati, 2014)

Untuk bahan pencemar yang sifatnya lebih stabil seperti limbah (Pb), beberapa hidrokarbon-halogen dan hidrokarbon poliaromatik, dapat jatuh ke tanah bersama air hujan atau mengendap bersama debu, dan mengkontaminasi tanah dan air. Senyawa tersebut selanjutnya juga dapat masuk ke dalam rantai makanan yang pada akhirnya masuk ke dalam tubuh manusia melalui sayuran, susu ternak, dan produk lainnya dari ternak hewan. Karena banyak industri makanan saat ini akan dapat memberikan dampak yang tidak diinginkan pada masyarakat kota maupun desa (Tri, 2004).

Emisi gas buang kendaraan bermotor juga cenderung membuat kondisi tanah dan air menjadi asam. Pengalaman di negara maju membuktikan bahwa kondisi seperti ini dapat menyebabkan terlepasnya ikatan tanah atau sedimen dengan beberapa mineral/logam, sehingga logam tersebut dapat mencemari lingkungan (Tri, 2004)

## 5. Pengukuran Emisi Kendaraan Bermotor

Pengukuran emisi kendaraan dilakukan dengan dua cara, yaitu pengukuran emisi kendaraan dilakukan pada saat kendaraan stasioner dan mesin tetap dihidupkan dan pengukuran emisi kendaraan dilakukan pada saat kendaraan bergerak di jalan raya.

### a. Metode Pengukuran Emisi Kendaraan Stasioner

Sebagai langkah awal untuk mengetahui faktor-faktor penyebab meningkatnya konsentrasi polutan dari kendaraan bermotor pada level analisis kendaraan adalah mengukur emisi kendaraan secara stasioner. Pengukuran emisi kendaraan secara stasioner dilakukan dengan menggunakan alat ukur



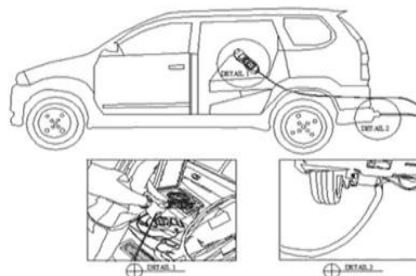
portabel pada saat kendaraan diam tetapi mesin tetap dihidupkan. Alat ukur Portabel dihubungkan langsung ke knalpot kendaraan dan mesin kendaraan digas tinggi sampai pembacaan di monitor alat sudah stabil. Emisi kendaraan stasioner yang diukur adalah polutan CO dan HC untuk emisi kendaraan ringan berbahan bakar premium dan polutan *opacity* untuk kendaraan ringan berbahan bakar solar (Aly, 2015).



**Gambar 1.** Pengukuran Emisi Kendaraan Stasioner  
Sumber : Aly, 2015

### **b. Metode Pengukuran Emisi Kendaraan Bergerak**

Pengukuran emisi kendaraan dilaksanakan langsung di jalan raya dengan menggunakan alat ukur PCGA. Metode pengukuran emisi kendaraan dilakukan dengan menghubungkan alat ukur *gas analyzer* ke selang plastik lalu ke knalpot kendaraan. Salah satu ujung selang plastik dihubungkan ke knalpot kendaraan dan ujung lainnya ke alat *gas analyser*. Selanjutnya, kendaraan dikemudikan di jalan araya. Data emisi kendaraan terekam pada alat PCGA dan data tersebut di print/di cetak untuk dianalisis lebih lanjut (Aly, 2015).



**Gambar 2.** Metode Pengukuran Emisi Kendaraan dengan  
Alat Ukur PCGA  
Sumber : Aly, 2015





## 6. Besaran Faktor Emisi Kendaraan Bermotor

Nilai faktor emisi yang digunakan adalah faktor emisi gas buang kendaraan untuk kota metropolitan dan kota besar di Indonesia yang ditetapkan berdasarkan kategori kendaraan berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah. Nilai faktor emisi dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Nilai Faktor Emisi Indonesia

No.	Kategori untuk perhitungan beban pencemar udara	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
		g/km	g/km	g/km	g/km	g/kg BBM	g/km
1	Sepeda motor	14	5,9	0,29	0,24	3180	0,008
2	Mobil (Bensin)	40	4	2	0,01	3180	0,026
3	Mobil (Solar)	2,8	0,2	3,5	0,53	3172	0,44

Sumber : Peraturan Menteri LH No. 12/ 2010

Besaran emisi dapat ditentukan melalui persamaan berikut berdasarkan peraturan menteri negara lingkungan hidup nomor 12 tahun 2010.

$$E = \text{Volume Kendaraan} \times \text{VKT} \times \text{FE} \quad (1)$$

dimana :

E = Beban emisi (ton/hari)

Volume Kendaraan = Jumlah kendaraan (kendaraan/hari)

VKT = Total panjang perjalanan yang dilewati (km)

Fe = Faktor emisi (g/km/kendaraan)

Terdapat pula persamaan berikut untuk menghitung emisi gas buang kendaraan (Smit dkk, 2006).

$$\text{TEj} = \Sigma ( E \times \text{TV} \times L ) \quad (2)$$

Dimana :

TEj = emisi gas buang kendaraan (g/jam)

L = faktor emisi prediksi rata-rata (g/km)



TV = volume lalu lintas (kend/jam)  
L = panjang jalan (km)

#### D. Uji Statistik *T-Test*

Pengujian statistik dapat dilakukan berbagai macam uji salah satunya adalah uji t yang digunakan untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan dari data yang diperoleh. Pengujian hipotesis menggunakan uji kesamaan dua rata - rata satu pihak dengan statistik yaitu menggunakan Uji-t (Bambang, 2013). Uji t 2 sampel independen (bebas) adalah metode yang digunakan untuk menguji kesamaan rata - rata dari 2 populasi yang bersifat independen, dimana peneliti tidak memiliki informasi mengenai ragam populasi.

Uji t terbagi menjadi dua yaitu uji satu pihak (*one tail test*) dan uji dua pihak (*two tail test*). Uji satu pihak digunakan ketika hipotesis nol ( $H_0$ ) berbunyi lebih besar atau sama dengan dan hipotesis alternatifnya ( $H_a$ ) berbunyi lebih kecil. Sedangkan uji dua pihak digunakan ketika hipotesis nol ( $H_0$ ) berbunyi sama dengan dan hipotesis alternatifnya ( $H_a$ ) berbunyi tidak sama dengan. Dalam pengujian hipotesis dua pihak, bila  $t - stat$  berada pada daerah  $t - critical$ , maka hipotesis nol ( $H_0$ ) diterima dan hipotesis alternatif ( $H_a$ ) ditolak. Sebaliknya, jika  $t - stat$  tidak berada pada daerah  $t - critical$ , maka hipotesis alternative ( $H_a$ ) diterima dan hipotesis nol ( $H_0$ ) ditolak.

#### E. Jalan

##### 1. Definisi Jalan

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang memegang peranan penting dalam konektifitas suatu daerah, sehingga kegiatan distribusi barang dan jasa dapat dilakukan secara baik. Berdasarkan Undang – Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas Dan Angkutan Jalan, definisi jalan adalah seluruh bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperutukkan bagi Lalu Lintas umum, yang berada pada



permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan ar, kecuali rel dan jalan kabel.

## 2. Klasifikasi Menurut Fungsi Jalan

Jalan raya pada umumnya dapat digolongkan dalam 4 klasifikasi yaitu: klasifikasi menurut fungsi jalan, klasifikasi menurut kelas jalan, klasifikasi menurut medan jalan dan klasifikasi menurut wewenang pembinaan jalan (Bina Marga 1997).

Klasifikasi menurut fungsi jalan terdiri atas 3 golongan yaitu:

- 1) Jalan arteri yaitu jalan yang melayani angkutan utama dengan ciri-ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara efisien.
- 2) Jalan kolektor yaitu jalan yang melayani angkutan pengumpul/pembagi dengan ciri-ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang dan jumlah jalan masuk dibatasi.
- 3) Jalan lokal yaitu Jalan yang melayani angkutan setempat dengan ciri-ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.

## 3. Klasifikasi Menurut Kelas Jalan

Klasifikasi menurut kelas jalan berkaitan dengan kemampuan jalan untuk menerima beban lalu lintas, dinyatakan dalam muatan sumbu terberat (MST) dalam satuan ton.

**Tabel 6.** Klasifikasi Jalan Raya Menurut Kelas Jalan

Fungsi	Kelas	Muatan Sumbu Terberat / MST (ton)
Arteri	I	>10
	II	10
	III A	8
Kolektor	III A	8
	III B	

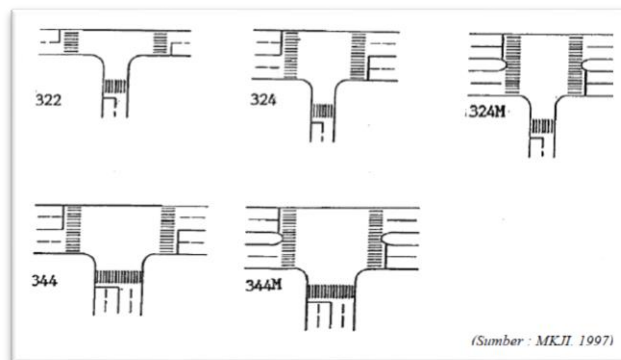
Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, Ditjen Bina Marga, 1997.



#### 4. Simpang Tak Bersinyal

Simpang tak bersinyal adalah perpotongan atau pertemuan pada suatu bidang antara dua atau lebih jalur jalan raya dengan simpang masing – masing, dan pada titik – titik simpang tidak dilengkapi dengan lampu sebagai rambu – rambu simpang.

Semua tipe simpang dianggap mempunyai kerb dan trotoar yang sesuai, dan ditempatkan pada daerah perkotaan dengan hambatan samping sedang. Semua gerak membelok dianggap diperbolehkan. Berikut ini gambar tipe simpang 3 lengan:



Gambar 3. Tipe Simpang

#### 5. Simpang Bersinyal

Simpang bersinyal adalah suatu persimpangan yang terdiri dari beberapa lengan dan dilengkapi dengan pengaturan sinyal lampu lalu lintas (*traffic light*). Berdasarkan MKJI 1997, adapun tujuan penggunaan sinyal lampu lalu lintas (*traffic light*) pada persimpangan antara lain:

- a. Untuk menghindari kemacetan simpang akibat adanya konflik arus lalu-lintas, sehingga terjamin bahwa suatu kapasitas tertentu dapat dipertahankan, bahkan selama kondisi lalu-lintas jam puncak.
- b. Untuk memberi kesempatan kepada kendaraan dan/atau pejalan kaki dari jalan simpang (kecil) untuk memotong jalan utama.
- c. Untuk mengurangi jumlah kecelakaan lalu-lintas akibat tabrakan antara kendaraan dari arah yang bertentangan.



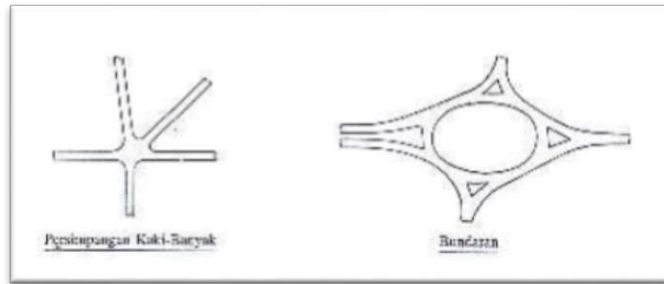
## 6. Bundaran

Bundaran (*roundabout*) dapat dianggap sebagai kasus istimewa dari kanalisasi yang pulau di tengahnya dapat bertindak sebagai pengontrol pembagi dan pengarah bagi sistem lalu lintas berputar satu arah. Pada cara ini gerakan penyilangan hilang dan digantikan dengan gerakan menyiap berpindah-pindah jalur. Dengan sebuah pulau lalu lintas berdiameter kurang dari 15 meter gerakan menyilang yang bukan tegak lurus akan dilakukan pada kecepatan relatif tinggi dan pada bundaran itu tidak menyediakan gerakan menyiap yang biasa lagi. Bundaran dengan diameter lebih besar dari 20 meter, gerakan menyiap biasanya terbentuk pada jalur masuk, jalur gerakan dan divergensi arus yang terletak pada titik keluar (Alik Ansyori,2005).

Sejak tahun 1964 berbagai eksperimen menunjukkan bahwa bundaran, dengan aturan prioritas samping, dapat melayani lalu lintas yang lebih banyak dengan bundaran yang lebih kecil dibandingkan dengan yang ada sekarang ini. Hal ini membawa pengenalan terhadap bundaran kecil dengan pulau ditengah berdiameter antara 5 dan 15 meter dan membesar dibagian pendekatan dan jalur keluar.

Bundaran atau pulau ditengah persimpangan dapat bertindak sebagai pengontrol, pembagi, pengarah bagi sistem lalu-lintas berputar satu arah. Pada cara ini gerakan penyilangan hilang dan digantikan dengan gerakan jalinan. Pengemudi yang masuk bundaran harus memberikan prioritas kepada kendaraan yang berada disisi kanannya. Tujuan utama bundaraan adalah melayani gerakan yang menerus, namun hal ini tergantung dari kapasitas dan luas daerah yang digunakan.





(Sumber: *Khisty, C.J., B.Kent Lall 1998*)

**Gambar 4.** Contoh-contoh Persimpangan Sebidang Kaki-Banyak dan Bundaran

## 7. Karakteristik Makro Lalu Lintas

Lalu lintas secara makro mempelajari operasional dari keseluruhan sistem yang ada pada lalu lintas yang mempengaruhi arus kendaraan, kecepatan, serta kepadatan yang mempengaruhi kapasitas prasarana lalu lintas secara umum. Untuk mendefinisikan makro lalu lintas secara lengkap perlu diketahui beberapa parameter yang terkait secara langsung dengan sistem lalu lintas (Khisty dan Lall, 2005).

### 1) Volume (q)

Volume kendaraan merupakan banyaknya kendaraan yang melintas pada suatu titik tertentu yang dengan kuantitas arus lalu lintas yang selalu berubah – berubah pada tiap – tiap periode tertentu dan dinyatakan dalam satuan kendaraan/ jam atau smp/jam. (Ansyori, 2003)

### 2) Kecepatan (s)

Kecepatan didefinisikan sebagai suatu laju pergerakan, seperti jarak per satuan waktu, umumnya dalam mil/jam (mph) atau kilometer/jam. Karena beragamnya kecepatan individual dalam lalu lintas, maka biasanya menggunakan kecepatan rata-rata (Khisty dan Lall, 2005).

Menurut Putranto (2016), kecepatan setempat adalah ukuran kecepatan sesaat di lokasi tertentu pada suatu ruas jalan. Terdapat dua jenis kecepatan setempat, yaitu:



- a. Kecepatan rata-rata waktu adalah rata-rata aritmatik kecepatan kendaraan yang melintasi suatu titik selama rentang waktu tertentu.
- b. Kecepatan rata-rata ruang adalah rata-rata aritmatik kecepatan kendaraan yang berada pada rentang jarak tertentu pada waktu tertentu.

### 3) Kepadatan (k)

Kepadatan (density) adalah jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang tertentu dari lajur atau lajur atau jalan, dirata-ratakan terhadap waktu, dan secara umum dinyatakan dalam kendaraan per mil atau kendaraan per kilometer (Khisty dan Lall, 2005).

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (1997), kerapatan adalah rasio perbandingan arus terhadap kecepatan rata - rata, dinyatakan dalam kendaraan (smp) per kilometer (km). Kepadatan merupakan parameter yang sangat penting dalam lalu lintas karena sangat mempengaruhi kinerja lalu lintas itu sendiri.

## 8. Karakteristik Mikro Lalu Lintas

Pendekatan lalu lintas secara mikroskopik menerangkan kondisi kendaraan secara berpisah pada penjelasan ini diterangkan bahwa pergerakan kendaraan sangat dipengaruhi oleh perilaku kendaraan itu secara individu, pendekatan secara mikroskopik mengkaji beberapa parameter penting yang sangat mempengaruhi respon terhadap kendaraan itu sendiri dalam berlalu lintas di jalan raya adapun parameter – parameter antara lain *spacing*, *headway*, *lane occupancy*, dan *gap (clearance)*.

Menurut Khisty dan Lall (2005), karakteristik mikro lalu lintas yaitu:

### 1) *Spacing* (s) dan *headway* (h)

Merupakan dua karakteristik tambahan dari arus lalu lintas. *Spacing* didefinisikan sebagai jarak antara dua kendaraan yang berurutan di dalam suatu lalu lintas yang diukur dari bumper depan satu kendaraan ke bumper depan dan dibelakangnya. *Headway* adalah waktu antara dua kendaraan yang melewati ketika melalui sebuah titik pada suatu jalan. Baik *spacing* maupun *headway* berhubungan erat dengan kecepatan, volume dan kepadatan.



## 2) *Lane Occupancy* (R)

*Lane occupancy* (tingkat hunian lajur) adalah salah satu ukuran yang digunakan dalam pengawasan jalan tol. *Lane occupancy* dapat juga dinyatakan sebagai perbandingan waktu ketika kendaraan ada di lokasi pengamatan pada lajur lalu lintas terhadap waktu pengambilan sampel.

## 3) *Clearance* (c) dan *Gap* (g)

*Clearance* dan *Gap* berhubungan dengan *spacing* dan *headway*, dimana selisih antara *spacing* dan *clearance* adalah panjang rata-rata kendaraan. Demikian pula, selisih antar *headway* dan *gap* adalah ekuivalen waktu dari panjang rata-rata sebuah kendaraan.

## F. PTV Vissim

### 1. PTV Vissim

PTV Vissim adalah perangkat lunak yang digunakan untuk simulasi arus lalu lintas secara mikroskopis terkemuka yang dikembangkan oleh PTV Planung Transportasi Verkehr AG di Karlsruhe, Jerman. Vissim pertama kali dikembangkan di Jerman pada tahun 1992 yang saat ini menjadi perangkat lunak transportasi yang paling sekarang sedang digunakan di seluruh dunia oleh *sector public*, perusahaan dan universitas. Vissim alat mikro-simulasi lalu lintas yang digunakan untuk perencanaan dan pemodelan lalu lintas untuk perkotaan mau pun pada pedesaan baik untuk analisis arus kendaraan atau pun arus pejalan kaki serta memiliki kemampuan untuk mensimulasi berbagai jenis moda lalu lintas secara bersamaan.



(Sumber : PTV Vissim guide first steps)

**Gambar 5.** Mikrosimulasi Bundaran





Menurut PTV Group (2015), Vissim dapat digunakan untuk beberapa kasus antara lain :

- 1) Membuat perbandingan geometrik persimpangan
- 2) Perencanaan pengembangan lalu lintas
- 3) Analisis kapasitas
- 4) Sistem control lalu lintas
- 5) Operasi sistem sinyal lalu lintas dan studi pengaturan ulang
- 6) Simulasi transportasi publik

## 2. Parameter Mikro – Simulasi Lalu Lintas Berbasis Vissim

Lalu lintas heterogen ditandai dengan adanya kendaraan-kendaraan yang memiliki karakteristik statis (perbedaan panjang, lebar, dll) dan dinamis (percepatan/perlambatan, kecepatan, dll) yang beragam. Kendaraan ini termasuk kendaraan bermotor tidak konvensional (roda tiga) dan kendaraan tidak bermotor (sepeda, gerobak, dll.). Aspek lain seperti tidak adanya marka lajur dan ketidakdisiplinan pengemudi menyebabkan gerakan kendaraan yang kompleks terutama pada persimpangan (Manjunatha et al., 2012).

Parameter mikro – simulasi berbasis vissim merupakan nilai akan digunakan dalam melakukan proses kalibrasi dan validasi dalam permodelan simulasi lalu lintas yang dilakukan. Pada perangkat lunak Vissim terdapat 168 parameter yang tertanam dalam perangkat lunak vissim dalam berdasarkan parameter tersebut dipilih beberapa parameter berkendara yang sesuai dengan kondisi lalu lintas heterogen yang ada di Indonesia untuk menghasilkan model yang sesuai dengan kondisi yang ada di lapangan, parameter berkendara yang dipilih pada permodelan antara lain:

- 1) Parameter *Following*
  - a) *Look Ahead Distance (min, max)* yaitu jarak minimum dan maksimum suatu kendaraan dapat melihat ke depan dalam tujuan melakukan reaksi terhadap kendaraan lain di depannya.



- b) *Observed Vehicle* yaitu banyaknya kendaraan yang dapat diamati oleh pengemudi yang mempengaruhi seberapa baik pengemudi ketika ingin melakukan pergerakan atau reaksi.
  - c) *Look Back Distance (min, max)* yaitu jarak minimum dan maksimum suatu kendaraan dapat melihat ke belakang dalam tujuan melakukan reaksi terhadap kendaraan lain di belakangnya.
  - d) *Average Standstill Distance* yaitu rata-rata jarak yang diinginkan antara dua kendaraan.
  - e) *Additive Part of Safety Distance* yaitu nilai penambah dalam penentuan jarak aman yang diinginkan.
  - f) *Multiplicative Part of Safety Distance* yaitu nilai pengali dalam penentuan jarak aman yang diinginkan. Nilai yang semakin besar menghasilkan distribusi yang besar.
- 2) Parameter *Lane Change*
- a. *Minimum Headway* yaitu jarak minimum yang harus tersedia di antara dua kendaraan setelah perpindahan lajur sehingga kendaraan di belakang dapat menyiap.
  - b. *Safety Distance Reduction* yaitu nilai reduksi jarak aman antar kendaraan didepan dan dibelakang yang mempengaruhi sifat agresif kendaraan yang menyiap. Semakin kecil maka perilaku menyiap semakin sering terjadi.
- 3) Parameter *Lateral*
- a. *Desired Position at Free Flow* yaitu posisi kendaraan terhadap lajur dalam kondisi arus bebas.
  - b. *Overtake at Same Lane* yaitu perilaku pengemudi kendaraan agar dapat menyiap baik dari sisi sebelah kanan mau pun sisi sebelah kiri.
  - c. *Minimum Lateral Distance* yaitu jarak lateral minimum kendaraan pada saat berada di samping kendaraan yang lain. Parameter ini dibagi menjadi dua yaitu jarak lateral kendaraan pada kecepatan 0 km/jam dan 50 km/jam.



#### 4) Parameter *Signal Control*

- a. *Behaviour at Red/Amber Signal* yaitu perilaku pengendara terhadap sinyal *red/amber* yang tergantung perilaku regional atau negara.

### 3. Konsep Kalibrasi dan Validitas Model Simulasi

Kalibrasi pada *Vissim* merupakan proses dalam membentuk nilai-nilai parameter yang sesuai sehingga model dapat mereplikasi lalu lintas hingga kondisi yang semirip mungkin. Proses kalibrasi dapat dilakukan berdasarkan perilaku pengemudi dengan mengacu pada penelitian-penelitian sebelumnya mengenai kalibrasi dan validasi menggunakan *Vissim*. Validasi pada *Vissim* merupakan proses pengujian kebenaran dari kalibrasi dengan membandingkan hasil observasi dan hasil simulasi. Proses kalibrasi dan validasi dilakukan berdasarkan jumlah volume arus lalu lintas dan panjang antrian (Putri, 2015).

Metode yang digunakan adalah dengan menggunakan rumus dasar *Chi-squared* dan rumus statistik *Geoffrey E. Havers (GEH)*. Uji *Chi-square* dilakukan dengan membandingkan antara *mean* hasil simulasi dengan *mean* hasil observasi. Rumus umum *Chi-square* ( $\chi^2$ ) dapat dilihat pada persamaan 2.15 sebagai berikut. (Sudjama dalam Saputra, 2016)

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \left| \frac{O_i - E_i}{E_i} \right|^2 \quad (3)$$

dimana :

$O_i$  = Tundaan Geometri (det/smp);

$E_i$  = Tundaan lalu lintas (det/smp);

Tingkat signifikan dengan derajat keyakinan Uji *Chi-square* sebesar 95 % atau  $\alpha = 0.05$  dan kriteria uji yaitu hasil diterima apabila hasil hitung  $\leq$  hasil tabel *Chi-square*.

Sedangkan rumus *GEH* merupakan rumus statistik modifikasi dari *Chi-squared* dengan menggabungkan perbedaan antara nilai relatif dan



mutlak. Rumus *GEH* sendiri dapat dilihat pada persamaan 2.15 dan memiliki ketentuan khusus dari nilai error yang dihasilkan seperti pada Tabel 2.3.

$$GEH = \sqrt{\frac{(q_{simulated} - q_{observed})^2}{0,5 \times (q_{simulated} + q_{observed})}} \quad (4)$$

dimana :

$q$  = Data volume arus lalu lintas (kendaraan/jam)

**Tabel 7.** Rumus Statistik *GEH* (*Geoffrey E. Havers*)

Nilai	Keterangan
$GEH < 5,0$	Diterima
$5,0 \leq GEH \leq 10,0$	Peringatan : kemungkinan model error atau data buruk
$GEH > 10,0$	Ditolak

