

DISERTASI

**STUDI EKSPERIMENTAL EMISI TRUK BERGERAK PADA
JALAN NASIONAL ANTAR KOTA
(STUDI KASUS JALAN POROS MALINO)**

***EXPERIMENTAL STUDY OF MOVING TRUCK EMISSION ON
INTER-CITY NATIONAL ROAD
(A CASE STUDY OF MALINO MAIN ROAD)***

MUKHTAR LUTFIE

P0800312407



**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2018



**STUDI EKSPERIMENTAL EMISI TRUK BERGERAK PADA
JALAN NASIONAL ANTAR KOTA
(STUDI KASUS JALAN POROS MALINO)**

Disertasi
Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Doktor

Program Studi
Teknik Sipil

Disusun dan diajukan oleh

MUKHTAR LUTFIE

**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2018



DISERTASI**STUDI EKSPERIMENTAL EMISI TRUK BERGERAK PADA JALAN
NASIONAL ANTAR KOTA
(STUDI KASUS JALAN POROS MALINO)**

Disusun dan diajukan oleh

MUKHTAR LUTFIE

Nomor Pokok P0800312407

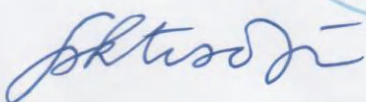
telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Disertasi
pada tanggal 13 Desember 2018
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

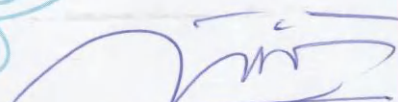
Komisi Penasehat,


Prof. Dr. Ir. H. Lawalenna Samang, MS., M.Eng



Promotor


Prof. Ir. Sakti Adji Adisasmita, M.Si., M.Eng., Sc.Ph.D

Ko-Promotor


Dr. Eng. Isran Ramli, ST., MT

Ko-Promotor

Ketua Program Studi
Doktor (S3) Teknik Sipil,
Prof. Ir. Sakti Adji Adisasmita, M.Si., M.Eng., Sc.Ph.DDekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin,
Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, MT

TIM PENILAI UJIAN PROMOSI DOKTOR

Promotor : Prof. Dr. Ir. H. Lawalenna Samang, MS., M.Eng

Kopromotor : Prof. Ir. Sakti Adji Adisasmita, M.S.,M.Eng.Sc. Ph.D
Dr. Eng. Isran Ramli, ST.,MT

Penilai : Prof. Ir. Leksmono Suryo Putranto, MT.,Ph.D
: Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, M.Sc
: Prof. Dr. M. Wihardi Tjaronge, S.T.,M.Eng
: Dr. Ir. Hj. Sumarni Hamid, MT
: Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T.,MT



PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Mukhtar Lutfie
Nomor mahasiswa : P0800312407
Program studi : Doktor Teknik Sipil

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan disertasi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Desember 2019
Yang menyatakan

Mukhtar Lutfie



PRAKATA

Puji syukur Penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas Rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan disertasi ini. Shalawat dan salam kepada nabi Muhammad SAW., kepada keluarga, sahabat dan pengikutnya sampai akhir zaman.

Sejak awal penyusunan Disertasi ini, kesulitan, hambatan dan kekurangan tidak dapat dihindari, namun dengan tekad kuat penulis dan dorongan serta bantuan berbagai pihak, kesulitan dan kekurangan itu dapat diatasi dengan baik.

Oleh sebab itu, dengan segala kerendahan hati penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. H. Lawalenna Samang, MS., M.Eng. sebagai Promotor, Prof. Ir. Sakti Adji Adisasmita, M.Si., M.Eng., Sc. Ph.D sebagai Co-Promotor 1 dan Dr.Eng. Muhammad Isran Ramli, ST., MT sebagai Co-Promotor 2 yang telah membimbing dalam penyusunan disertasi.
2. Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng., Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, M.Sc., Dr. Ir. Hj. Sumarni Hamid, MT., Dr.Eng. Muralia Hustim, ST., MT sebagai Tim Penguji yang telah banyak memberikan masukan dan saran untuk perbaikan disertasi.
3. Prof. Dr. Dwia Aries Tina Palubuhu, M.A sebagai Rektor Universitas Hasanuddin, Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT sebagai Dekan Fakultas Teknik, Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng sebagai Ketua Departemen Teknik Sipil, Prof. Ir. Sakti Adji Adisasmita, M.Si., M.Eng., Sc. Ph.D sebagai Ketua Prodi S3 Teknik Sipil, Dosen, dan Staf serta seluruh Civitas Akademik Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

tor, Dekan dan seluruh Civitas Akademik Universitas
ammadiyah Luwuk Banggai.



5. Teman-teman seangkatan, dan Tim Perakit Alat Uji Emisi yang telah membantu dalam penelitian.
6. Semua pihak (PT. Bosowa Berlian Motor dan PT. Daihatsu Internasional, dan lain-lain) yang telah terlibat dalam penelitian ini.
7. Teristimewa ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada kedua Orang tua terhormat, Ayahanda H. Lutfie Yusuf, S.Pd., MA dan Ibunda Alm. Hj. Sitti Mulia Daulay, A.Md. Keb. juga adik Lathifah Lutfie, A.Md,Keb., S.KM serta semua keluarga yang telah memberikan dukungan moril dan materil.
8. Khusus kepada isteri tercinta Tenri Ajeng, S.ST, yang selalu setia mendampingi dalam suka dan duka, pada kesempatan ini penulis mengucapkan dari hati yang paling dalam terima kasih sebesar-besarnya atas segala pengorbanan, kesabaran, pengertian, cinta, kasih sayang, dukungan dan doa yang tulus selama ini.
9. Kedua anak-anakku yang tersayang dan selalu kubanggakan Ameerah Khairunnisa dan Yusuf Ammar Syauqy yang insya Allah jadi anak yang sholeh/sholehah, kehadiran kalian telah memberikan warna, motivasi dan semangat baru dalam penyusunan disertasi ini.

Penulis menyadari bahwa meskipun telah berusaha semaksimal mungkin di dalam penyusunan disertasi ini, namun sebagai manusia biasa tentunya tidak luput dari kekurangan dan ketidaksempurnaan, oleh sebab itu kritik dan saran konstruktif sangat penulis harapkan dari semua pihak.

Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi semua, khususnya bagi penyusun disertasi ini sehingga meningkatkan kualitas ilmunya di bidang Teknik Sipil.

Makassar, 12 Desember 2018

Mukhtar Lutfie



ABSTRAK

MUKHTAR LUTFIE. *Studi Eksperimental Emisi Truk Bergerak Pada Jalan Nasional Antar Kota (Studi Kasus Jalan Poros Malino)*, dibimbing oleh Lawalenna Samang, Sakti Adji Adisasmita dan Muhammad Isran Ramli

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan: 1) Mengembangkan alat ukur emisi truk dalam kondisi bergerak 2) Menganalisis karakteristik pola *driving cycle* kendaraan truk dalam kondisi bergerak beserta karakteristik besaran emisinya untuk skenario terdapat dan tidak ada muatan pada kendaraan truk dengan kondisi permukaan jalan baik dan rusak, 3) Mengevaluasi pengaruh kondisi permukaan jalan dan muatan truk terhadap perubahan besaran emisi kendaraan truk. Penelitian ini dilaksanakan di Jalan Poros Malino Kabupaten Gowa. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah survei lapangan dengan mengambil data emisi *exhaust* dan kecepatan kendaraan truk bergerak. Pengambilan sampel dilakukan secara acak pada kendaraan Truk kecil 2 sumbu, Truk besar 2 sumbu dan Truk tandem 3 sumbu. Penelitian ini menginovasikan sistem pengukuran emisi kendaraan *mobile*. Sensor digital didesain mampu mengukur 5 jenis polutan: CO₂, NO_x, Asap, CO dan HC dengan akuisisi menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega tipe 2560 dan sistem perekaman MicroSD secara *real time*. Pengembangan sistem pengukur emisi ini memiliki nilai tambah: *portable*, adaptasi *post processing*, mudah kalibrasi, dan fleksibel diaplikasikan pada penelitian lebih lanjut. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kecepatan kendaraan truk mempengaruhi emisi gas yang dihasilkan, di mana jika kecepatan kendaraan meningkat maka konsentrasi emisi gas juga akan meningkat. Kendaraan truk dengan membawa muatan telah menghasilkan konsentrasi emisi gas yang relatif tinggi dari kondisi tanpa muatan, namun kenaikannya terhadap variasi kecepatan kendaraan tidak begitu signifikan (tidak berbeda jauh). Nilai emisi kendaraan Truk bergerak pada kondisi jalan rusak lebih tinggi dari kondisi jalan baik walaupun nilai emisinya juga tidak berbeda jauh. Pola emisi optimum *driving cycle* truk bergerak dengan muatan pada kondisi jalan baik berada pada kisaran kecepatan 14 km/jam, sedangkan kondisi jalan rusak mencerminkan kecepatan kisaran 13 km/jam. Pola emisi optimum *driving cycle* truk bergerak tanpa muatan pada kondisi jalan baik berada pada kisaran kecepatan 33 km/jam, sedangkan kondisi jalan rusak mencerminkan kecepatan kisaran 20 km/jam.

Kata Kunci: *uji emisi bergerak, pembebanan, kondisi permukaan jalan,*



ABSTRACT

MUKHTAR LUTFIE. *Experimental Study of Moving Trucks Emission on Inter-City National Road (A Case Study of Malino Main Road)*, supervised by Lawalenna Samang, Sakti Adji Adisasmita, and Muhammad Isran Ramli.

The research was conducted with objectives of 1) Developing a mobile truck emission measurement system simultaneously and in time 2) Analysis the characteristics of moving truck driving cycle patterns and characteristics emission with and without the load scenario on truck vehicle good and damaged road surface conditions, 3) Evaluate the effect of road surface conditions and loads trucks against emissions changes. This report was held on Jalan Poros Malino, Gowa Regency. The method used in the research is field survey by taking exhaust emission data and speed of moving truck vehicles. Sampling was done randomly on little truck, big truck, and tandem truck vehicles. This research innovates a mobile vehicle emission measurement system. Digital sensors are designed to be able to measure 5 types of pollutants: CO₂, NO_x, Smoke, CO and HC with aquisition using the Arduino Mega 2560 type microcontroller and MicroSD recording system in real time. The development of this emissions measurement system has added value: portable, post-processing adaptation, easy calibration, and flexibility applied to further research. The results of this study indicate that the speed of truck vehicles affects the gas emissions produced, where if vehicle speed increases, the concentration of gas emissions will also increase. Truck vehicles carrying cargo have produced relatively high concentrations of gas emissions from no-load conditions, but the increase in vehicle speed variations is not very significant (not much different). Vehicle emission values of trucks moving on damaged road conditions are higher than good road conditions even though the emission values are not too different. The optimum driving cycle pattern of moving trucks with loads on good road conditions is in the range of speeds of 14 km/h, while damaged road conditions reflect speeds of around 13 km/h. The optimum emission driving cycle pattern of without loaded trucks on good road conditions is at a speed of 33 km/h, while damaged road conditions reflect speeds of around 20 km/h.

Keywords: *Moving emission analyzer, loading, surface condition road, truck*



DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN KOMISI PENASEHAT	iii
TIM PENILAI UJIAN PROMOSI DOKTOR	iv
PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI	v
PRAKATA	vi
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian	6
D. Kegunaan Penelitian	6
E. Ruang Lingkup/ Batasan Penelitian	7
F. Organisasi/ Sistematika	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
A. Isu Strategis Emisi Udara Ruas Jalan	9
B. Kapasitas Ruas Jalan	20
C. Peralatan Uji Emisi Kendaraan Bergerak	21
D. Kendaraan Truk	27
E. Studi Penelitian Terdahulu	32
F. Kerangka Pikir Penelitian	37
METODE PENELITIAN	41
A. Lokasi dan Waktu Penelitian	41
B. Pengambilan Data Sekunder	42



C. Rancangan Survei Penelitian	42
D. Analisis Data	47
E. Definisi Operasional	48
F. Kerangka Alur Penelitian	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	55
A. Pengembangan Alat Uji Emisi Mobile Kendaraan Truk	55
B. Karakteristik Lalu Lintas Ruas Jalan Malino KM 6-8	66
C. Karakteristik Emisi Truk Bergerak Terdapat Muatan dan Tidak Ada Muatan Untuk Skenario Jalan Baik dan Rusak	75
D. Karakteristik Pola Driving Cycle Hubungan Emisi Terhadap Kecepatan Truk Terdapat Muatan Untuk Skenario Jalan Baik dan Jalan Rusak	80
E. Karakteristik Pola Driving Cycle Hubungan Emisi Terhadap Kecepatan Truk Tidak Ada Muatan Untuk Skenario Jalan Baik dan Jalan Rusak	85
G. Temuan Empiris	90
H. Rekomendasi Penelitian Lanjut	91
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	92
A. Kesimpulan	92
B. Saran	93
DAFTAR PUSTAKA	94
LAMPIRAN	98



DAFTAR TABEL

nomor		halaman
1.	Nilai PCI	12
2.	LHR dan nilai kelas jalan	13
3.	Parameter penilaian jenis kerusakan jalan	15
4.	Nilai kondisi jalan	16
5.	Golongan jenis kendaraan	28
6.	Truk berdasarkan sumbu, jenis, dan daya angkut	29
7.	Jenis tipe kendaraan truk untuk rancangan	31
8.	Pengelompokan sampel angkutan truk	44
9.	Tipe ruas jalan Poros Malino	66
10.	Lebar ruas jalan Poros Malino	67
11.	Kapasitas ruas Jalan Poros Malino	67
12.	Luas kerusakan pada ruas kiri jalan Poros Malino	70
13.	Luas kerusakan pada ruas kanan jalan Poros Malino	72
14.	Emisi optimum pola <i>driving cycle</i> kendaraan truk bergerak terdapat muatan untuk skenario jalan baik dan rusak	84
15.	Emisi optimum pola <i>driving cycle</i> kendaraan truk bergerak tidak ada muatan untuk skenario jalan baik dan rusak	89



DAFTAR GAMBAR

nomor		halaman
1.	Konstruksi perkerasan lentur	17
2.	Konstruksi perkerasan kaku	18
3.	Konstruksi perkerasan komposit	18
4.	Penggolongan kendaraan di jalan tol	28
5.	Kerangka pikir penelitian	37
6.	Lokasi penelitian	41
7.	Kerangka alur penelitian	50
8.	Blok diagram sistem kerja alat	56
9.	Perbandingan alat uji emisi NO _x di PT. Bosowa Berlian Motor	59
10.	Perbandingan alat uji emisi CO di PT. Bosowa Berlian Motor	60
11.	Perbandingan alat uji emisi CO ₂ di PT. Bosowa Berlian Motor	61
12.	Perbandingan alat uji emisi HC di PT. Bosowa Berlian Motor	62
13.	Perbandingan alat uji emisi CO di PT. Astra Internasional	63
14.	Perbandingan alat uji emisi CO ₂ di PT. Astra Internasional	64
15.	Perbandingan alat uji emisi HC di PT. Astra Internasional	65
16.	Hubungan CO ₂ , CO, <i>Smoke</i> , NO _x , dan HC terhadap kecepatan Truk kecil 2 sumbu terdapat muatan	75
17.	Hubungan CO ₂ , CO, <i>Smoke</i> , NO _x , dan HC terhadap kecepatan Truk kecil 2 sumbu tidak ada muatan	76
	Hubungan CO ₂ , CO, <i>Smoke</i> , NO _x , dan HC terhadap kecepatan Truk besar 2 sumbu terdapat muatan	77



19. Hubungan CO ₂ , CO, <i>Smoke</i> , NO _x , dan HC terhadap kecepatan Truk besar 2 sumbu tidak ada muatan	77
20. Hubungan CO ₂ , CO, <i>Smoke</i> , NO _x , dan HC terhadap kecepatan Truk tandem 3 sumbu terdapat muatan	78
21. Hubungan CO ₂ , CO, <i>Smoke</i> , NO _x , dan HC terhadap kecepatan Truk tandem 3 sumbu tidak ada muatan	79
22. Spektrum hubungan NO _x , HC, CO ₂ , CO dan <i>Smoke</i> terhadap kecepatan truk terdapat muatan di jalan baik dan rusak	80
23. Pola <i>driving cycle</i> emisi <i>exhaust</i> truk bergerak terdapat muatan pada jalan baik	82
24. Pola <i>driving cycle</i> emisi <i>exhaust</i> truk bergerak terdapat muatan pada jalan rusak	83
25. Emisi optimum pola <i>driving cycle</i> truk bergerak terdapat muatan untuk skenario jalan baik dan jalan rusak	84
26. Spektrum hubungan NO _x , HC, CO ₂ , CO dan <i>Smoke</i> terhadap kecepatan truk tidak ada muatan di jalan baik dan rusak	86
27. Pola <i>driving cycle</i> emisi <i>exhaust</i> truk bergerak tidak ada muatan untuk skenario jalan baik	87
28. Pola <i>driving cycle</i> emisi <i>exhaust</i> truk bergerak tidak ada muatan untuk skenario jalan rusak	88
29. Emisi optimum pola <i>driving cycle</i> truk bergerak tidak ada muatan	90



DAFTAR LAMPIRAN

nomor	halaman
1. Visual kondisi truk kecil 2 sumbu, truk besar 2 sumbu, dan truk tandem 3 sumbu	98
2. Komponen dasar alat pengukuran emisi	99
3. Sensor emisi gas	100
4. Cas dan batteray	101
5. Visual alat uji emisi <i>mobile</i>	102
6. Tahapan pengukuran emisi kendaraan truk	103
7. Visual validasi alat uji emisi buatan dan alat uji emisi bosowa	104
8. Visual uji reliabilitas emisi Truk di PT. Bosowa Berlian Motor	105
9. Laporan kegiatan pengujian emisi kendaraan bermotor di wilayah kota makassar bidang pengawasan dan pengendalian pencemaran	106



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Selama kita hidup tentu membutuhkan udara untuk bernapas. Komposisi di dalam udara normal terkandung gas yang terdiri dari 78% Nitrogen, 20% Oksigen, 0,93% Argon, 0,03% Karbon Dioksida, dan sisanya terdiri dari Neon, Helium, Metan dan Hydrogen (Chandra, 2006). Gas oksigen merupakan komponen esensial bagi kehidupan makhluk hidup, termasuk manusia. Komposisi seperti itu merupakan udara normal dan dapat mendukung kehidupan manusia. Namun, akibat aktivitas manusia yang tidak ramah lingkungan, udara sering kali menurun kualitasnya. Perubahan ini dapat berupa sifat-sifat fisis maupun kimiawi. Perubahan kimiawi dapat berupa pengurangan maupun penambahan salah satu komponen kimia yang terkandung dalam udara. Kondisi seperti itu lazim disebut dengan pencemaran (polusi) udara.

Udara tidak terlihat oleh mata, tidak berbau dan tidak ada rasanya. Kehadiran udara hanya dapat dilihat dari adanya angin yang menggerakkan benda. Udara termasuk salah satu jenis sumber daya alam karena memiliki banyak manfaat bagi makhluk hidup. Kandungan elemen

gas dan partikel dalam udara akan berubah-ubah dengan an dari permukaan tanah. Demikian juga massanya akan ng seiring dengan ketinggian. Semakin dekat dengan lapisan



troposfer, maka udara semakin tipis. Jika melewati batas gravitasi bumi maka udara akan hampa sama sekali. Udara terdiri dari tiga unsur utama, yaitu udara kering, uap air, dan aerosol. Uap air yang ada pada udara berasal dari evaporasi (penguapan) pada laut, sungai, danau, dan tempat berair lainnya. Aerosol adalah benda berukuran kecil seperti garam, karbon, sulfat, nitrat, kalium, kalsium, serta partikel dari gunung berapi.

Jumlah penduduk dunia terus meningkat setiap tahunnya sehingga menyebabkan peningkatan kebutuhan energi. Dewasa ini, hampir semua kebutuhan energi manusia diperoleh dari konversi sumber energi fosil, seperti alat transportasi yang menggunakan energi fosil sebagai sumber energinya. Secara langsung atau tidak langsung hal ini mengakibatkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan makhluk hidup karena sisa pembakaran energi fosil ini menghasilkan zat-zat pencemar yang berbahaya. Pencemaran udara terutama di kota-kota besar telah menyebabkan turunnya kualitas udara sehingga mengganggu kenyamanan lingkungan bahkan telah menyebabkan terjadinya gangguan kesehatan. Menurunnya kualitas udara tersebut terutama disebabkan oleh penggunaan bahan bakar fosil yang tidak terkendali dan tidak efisien pada sarana transportasi yang umumnya terpusat di kota-kota besar, di samping kegiatan industri, rumah tangga dan kebakaran hutan. Hasil penelitian di beberapa kota besar (Jakarta, Bandung, Semarang dan

a) menunjukkan bahwa kendaraan bermotor merupakan sumber pencemaran udara. Hasil penelitian di Jakarta menunjukkan bahwa



kendaraan bermotor memberikan kontribusi pencemaran CO sebesar 98,80%, NOx sebesar 73,40% dan HC sebesar 88,90% (Bapedal, 1992).

Semenjak dimulainya era revolusi industri pada tahun 1796 di Perancis, keadaan iklim global berangsur-angsur semakin memburuk. Laju pelepasan gas-gas berbahaya di atmosfer terutama gas CO₂ diperparah dengan laju pertumbuhan ekonomi yang berkorelasi positif terhadap laju pertumbuhan industri. Hal ini menyebabkan suhu rata-rata di permukaan bumi naik sebesar 1°C dalam beberapa tahun belakangan ini.

Dalam 100 tahun terakhir, emisi CO₂ mengalami kenaikan sebesar 2,5 % setiap tahun dan diperkirakan akan meningkat 3 tiga kali lipat dari keadaan saat ini. Konsentrasi CO₂ juga diperkirakan akan meningkat mencapai 500 sampai 600 ppmv pada pertengahan abad 21. Peningkatan ini cenderung tidak berhenti karena didukung penyusutan hutan yang cukup besar. Para ahli meyakini bahwa penyusutan hutan menyumbang 23% kenaikan CO₂. Prediksi terakhir dari IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) Working Group 1 (IPCC, 2001) sendiri menyatakan bahwa sejalan dengan kenaikan kadar CO₂ di atmosfer bumi, akan terjadi kenaikan suhu rerata permukaan terhadap keadaan tahun 1990 sebesar 1.4 - 5.8°C sampai tahun 2100 dengan keragaman yang berbeda secara regional.

Besarnya kontribusi pencemaran udara dari sektor transportasi

mulkan masalah dalam pemeliharaan standar kualitas udara.

pembakaran bahan bakar minyak yang tidak sempurna dalam



kendaraan bermotor menghasilkan unsur-unsur kimiawi yang mencemari udara seperti Karbon Monoksida (CO), Oksida-Oksida Sulfur (SO_x), Oksida-Oksida Nitrogen (NO_x), Hidro Karbon (HC), Partikulat dan Timbal (PB). (Hertel, O.Berkowics,R.,1989).

Menurut Dinas Perhubungan Kota Makassar, setiap tahunnya jumlah angka kendaraan di Makassar mengalami peningkatan sekitar 2-5%. Jumlah kendaraan roda dua dan roda empat pada Januari 2014 berkisar antara 8.000 – 10.000 unit (Dinas Perhubungan, 2014). Dengan tingginya tingkat penggunaan kendaraan bermotor termasuk kendaraan truk akan menyebabkan peningkatan pencemaran udara.

Komposisi polutan/ emisi kendaraan bermotor termasuk truk yang terbesar di jalan adalah CO₂ dengan lokasi studi penelitian terletak pada 35 ruas jalan utama yang terdiri dari 61 arah jalan di Kota Makassar. Komposisi CO₂ dari berbagai jenis kendaraan berkisar 84.14% bagi kendaraan truk yang menggunakan bensin dan 85.35% bagi kendaraan truk yang menggunakan bahan bakar solar (Lutfie, dkk. 2015).

Seiring bertambahnya jumlah kendaraan bermotor, mengakibatkan pencemaran udara semakin meningkat. Hal ini menyebabkan kondisi udara tidak sepenuhnya bersih, karena gas buang hasil dari pembakaran kendaraan mengandung racun yang berbahaya bagi lingkungan, terutama karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) yang sangat berbahaya

di lingkungan. Pada negara-negara yang memiliki standar emisi gas kendaraan yang ketat, ada 5 unsur dalam gas buang kendaraan



yang akan diukur yaitu senyawa HC, CO, CO₂, O₂ dan NO_x. Sedangkan pada negara-negara yang standar emisinya tidak terlalu ketat, hanya mengukur 4 unsur gas buang yaitu senyawa HC, CO, CO₂ dan O₂. Monitoring emisi kendaraan merupakan salah satu isu penting pemanasan global di kota-kota besar negara berkembang dewasa ini. Namun demikian, terdapat keterbatasan untuk melakukan pengukuran besaran emisi kendaraan secara dinamis, khususnya terhadap jenis kendaraan truk. Kebanyakan alat pengukuran emisi sangat tidak efisien saat digunakan, karena alat pengukuran emisi tersebut tidak bisa digunakan dalam kondisi kendaraan sedang beroperasi.

Berdasarkan konteks permasalahan estimasi emisi kendaraan truk tersebut, maka dilakukan penelitian tentang karakteristik besaran emisi kendaraan truk dalam kondisi bergerak dalam rangka pengukuran besaran emisi kendaraan truk secara eksperimental pada ruas jalan nasional antar kota. Studi ini berupaya mengembangkan alat ukur emisi yang bersifat *portable/mobile*.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah yang terkait dengan studi emisi truk, maka rumusan masalah penelitian dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bagaimana mengukur besaran emisi truk dalam kondisi bergerak ?



1. Bagaimana karakteristik pola *driving cycle* kendaraan truk dalam kondisi bergerak beserta karakteristik besaran emisinya untuk skenario

terdapat dan tidak ada muatan pada kendaraan truk dengan kondisi permukaan jalan baik dan rusak ?

3. Bagaimana pengaruh kondisi permukaan jalan dan muatan truk terhadap perubahan besaran emisi kendaraan truk ?

C. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan antara lain:

1. Mengembangkan alat ukur emisi truk dalam kondisi bergerak.
2. Menganalisis karakteristik pola *driving cycle* kendaraan truk dalam kondisi bergerak beserta karakteristik besaran emisinya untuk skenario terdapat dan tidak ada muatan pada kendaraan truk dengan kondisi permukaan jalan baik dan rusak.
3. Mengevaluasi pengaruh kondisi permukaan jalan dan muatan truk terhadap perubahan besaran emisi kendaraan truk.

D. Kegunaan Penelitian

Manfaat secara teoritis yang diperoleh dari hasil penelitian ini antara lain:

1. Peningkatan pemahaman betapa besar kerugian yang diakibatkan oleh emisi truk di jalan raya.
2. Dengan memahami proses riset emisi truk, maka dapat mengetahui gambaran umum emisi *exhaust* dari knalpot kendaraan truk.

pengembangan model yang didapat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah terhadap pengembangan ilmu



pengetahuan khususnya dalam bidang rekayasa transportasi dan pengaruhnya terhadap lingkungan.

4. Memberikan suatu bahan telaahan tentang riset emisi truk.

E. Ruang Lingkup/ Batasan Penelitian

Agar tidak terjadi penyimpangan dalam pembahasan masalah nantinya, maka perlu dibuat batasan sebagai berikut:

1. Pengambilan lokasi penelitian dilakukan di jalan Poros Malino Gowa.
2. Pemantauan tingkat emisi dilakukan pada knalpot kendaraan truk.
3. Metode dalam pengolahan data menggunakan metode perhitungan standar emisi dari Badan Lingkungan Hidup.
4. Parameter udara yang diukur meliputi Nitrogen Oksida (NO_x), Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO_2), *Smoke*, dan Hidro Karbon (HC).
5. Penelitian ini dilakukan saat kendaraan bergerak secara dinamis.

F. Organisasi/ Sistematika

Sistematika penulisan dalam disertasi ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Bagian ini meliputi penjelasan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, kegunaan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian ini akan diuraikan teori hasil penelaahan pustaka dari beberapa referensi dan hasil penelitian yang telah dilakukan peneliti sebelumnya tentang pembahasan yang dikaji dalam disertasi. Tinjauan pustaka yang dituliskan kembali terbatas berkaitan dengan indeks emisi truk.

BAB III METODE PENELITIAN

Bagian ini meliputi jenis penelitian, lokasi dan waktu penelitian, peralatan penelitian serta desain sampel dan prosedur penelitian. Metode penelitian ini digunakan untuk menentukan langkah demi langkah sehingga memudahkan dalam pembahasan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengolahan data kemudian dilakukan analisa dan interpretasi untuk menentukan kesimpulan dari hasil penelitian emisi ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini berisi tentang kesimpulan yang dapat diambil dari hasil dan pembahasan. Sedangkan saran berisi tentang materi-materi penelitian apa yang seharusnya dilakukan untuk kajian berikutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Isu Strategis Emisi Udara Ruas Jalan

1. Kondisi lalu lintas heterogen (*heterogenic traffic*)

Permasalahan transportasi yang sering dijumpai berupa kemacetan, keterlambatan dan antrian merupakan permasalahan lalu lintas yang bersifat heterogen pada kota-kota besar di Indonesia, termasuk di Kota Makassar. Permasalahan yang terjadi bukan saja disebabkan oleh terbatasnya sarana transportasi yang ada, tetapi ditambah lagi dengan permasalahan lainnya, seperti pendapatan rendah, urbanisasi yang sangat cepat, terbatasnya sumber daya manusia, tingkat disiplin yang rendah dan lemahnya perencanaan dan kontrol. Hal ini membuat permasalahan transportasi semakin parah. Masalah lalu lintas yang timbul tersebut berupa kemacetan dan antrian tentunya akan menimbulkan kerugian yang besar pada pemakai jalan, terutama dalam hal pemborosan waktu, rendahnya tingkat kenyamanan dan polusi (Aly, 2012).

Melihat kompleksnya masalah lalu lintas yang terjadi di Kota Makassar, maka perlu kiranya dicarikan alternatif pemecahannya. Namun

memberikan suatu solusi alternatif, maka terlebih dulu perlu diidentifikasi perilaku/ karakteristik arus lalu lintas yang ada, khususnya karakteristik lalu lintas yang bersifat heterogen, dalam hal ini



khususnya mengenai model hubungan antara volume, kecepatan dan kerapatan arus lalu lintas pada jalan-jalan yang sering mengalami masalah-masalah lalu lintas.

Volume maksimum terjadi pada interval priode pengamatan pukul 07.00 sampai pukul 20.00 malam sebesar 6091 smp/jam dengan volume rata-rata 5052 smp/jam. Untuk kecepatan kendaraan minimum terjadi pada periode pengamatan pukul 17.00 hingga 18.00 sebesar 29,54 km/jam. Penelitian ini memperlihatkan bahwa nilai kepadatan kendaraan maksimum terjadi pada periode pengamatan pukul 17.00 hingga 18.00 sore sebesar 186.39 smp/km di mana pada waktu tersebut terjadi kecepatan yang minimum.

Karakteristik lalu lintas kondisi heterogen sangat berbeda dengan kondisi lalu lintas homogen, khususnya terkait dengan perilaku karakteristik kecepatan dan volume lalu lintas. Pada kondisi lalu lintas heterogen, nilai kecepatan sangat bervariasi dari kecepatan sangat rendah hingga mampu mencapai kecepatan yang sangat tinggi, karena adanya perilaku pengguna kendaraan yang tidak disiplin dalam menggunakan lajur lalu lintas (Aly, 2012).

Hal ini akan menjadi pertimbangan dalam uji emisi Truk dimana karakteristik lalu lintas kondisi heterogen sangat berbeda dengan kondisi lalu lintas homogen.



2. Jenis dan tingkat kerusakan jalan

Kerusakan jalan terjadi sebagai akibat repetisi/ beban berulang beban kendaraan yang lewat di atasnya, kualitas/ mutu bahan campuran pelaksanaan konstruksi perkerasan jalan dan kondisi drainase yang tidak berfungsi (Achmad, dkk, 2011).

Menurut Shahin (1994) dalam Hardiyatmo (2007), kerusakan yang terjadi pada perkerasan lentur adalah mencakup 19 kerusakan, yakni: retak kulit buaya (*alligator cracking*), kegemukan (*bleeding*), retak blok (*block cracking*), benjol dan turun (*bums and sags*), bergelombang (*corrugation*), amblas (*depression*), retak pinggir (*edge cracking*), retak reflektif sambungan (*joint reflection*), jalur/bahu turun (*lane/shoulder drop off*), retak memanjang dan melintang (*longitudinal and transverse cracking*), tambalan dan tambalan galian utilitas (*patching and utility cut patching*), agregat licin (*polished aggregate*), lubang (*potholes*), persilangan jalan rel (*railroad crossings*), alur (*rutting*), sungkur (*shoving*), retak selip (*slippage cracking*), mengembang (*swell*), pelapukan dan butiran lepas (*weathering and raveling*).

Menurut Shahin (1994) dalam Hardiyatmo (2007), bahwa indeks kondisi perkerasan adalah tingkatan dari kondisi permukaan perkerasan dan ukuran yang ditinjau mengacu pada kondisi dan kerusakan di permukaan perkerasan yang terjadi. Tingkat kerusakan yang digunakan

perhitungan *Pavement Condition Index (PCI)* adalah *low severity medium severity level (M)*, dan *high severity level (H)*.



Tabel 1. Nilai PCI (Shahin, 1994)

Nilai PCI	Kondisi
0 – 10	Gagal (<i>failed</i>)
11 – 25	Sangat buruk (<i>very poor</i>)
26 – 40	Buruk (<i>poor</i>)
41 – 55	Sedang (<i>fair</i>)
56 – 70	Baik (<i>good</i>)
71 – 85	Sangat baik (<i>very good</i>)
86 – 100	Sempurna (<i>excellent</i>)

Kondisi ruas jalan arteri primer yang juga termasuk bagian dari jalan nasional yang ada di Indonesia saat ini sebagian besar mengalami kerusakan. Berdasarkan data dari sebuah artikel koran Kompas (2010), menurut Ditjen Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum, jalan nasional di Indonesia yang kondisinya baik hingga kini mencapai 49,67 persen, kondisi rusak sedang 33,56 persen, dan rusak ringan 13,34 persen, sedangkan jalan nasional yang rusak parah 3,44 persen, sehingga total jalan yang rusak melebihi 50 persen dari jalan nasional di Indonesia.

Metode lainnya yang digunakan untuk menganalisis nilai kondisi jalan adalah metode Bina Marga yang dikeluarkan oleh Direktorat Bina Marga No. 018/T/BNKT/1990. Untuk dapat menganalisis kondisi jalan tersebut, dilakukan terlebih dahulu survei visual di



lapangan. Kemudian dari hasil analisis tersebut, dapat diperoleh jenis program pemeliharaan jalan.

Adapun langkah-langkah untuk memperoleh nilai kondisi jalan yang dijelaskan dalam metode ini adalah sebagai berikut:

Menetapkan nilai kelas jalan pada ruas jalan yang menjadi lokasi kegiatan penelitian dengan mendapatkan terlebih dahulu data Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR) pada ruas jalan tersebut. Adapun penentuan nilai kelas jalan berdasarkan data LHR dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2. LHR dan nilai kelas jalan

LHR (smp/hari)	Nilai Kelas Jalan
< 20	0
20 – 50	1
50 – 200	2
200 – 500	3
500 – 2000	4
2000 – 5000	5
5000 - 20000	6
20000 - 50000	7
> 50000	8

Sumber: Tata cara penyusunan program pemeliharaan jalan kota, Ditjen Bina Marga



alu lintas harian rata-rata (LHR) adalah volume lalu lintas dua arah melalui suatu titik rata-rata dalam satu hari, biasanya dihitung

sepanjang tahun. LHR sering digunakan sebagai dasar untuk perencanaan jalan raya dan pengamatan secara umum dan terhadap kecenderungan pola perjalanan. LHR dinyatakan dalam satuan mobil penumpang (smp) per hari. LHR diperoleh dengan cara pengamatan volume lalu lintas selama 24 jam pada suatu ruas jalan tertentu yang dilakukan dalam beberapa hari kemudian hasilnya dirata-ratakan sehingga menjadi lalu lintas harian rata-rata. Atau rumusnya dinyatakan sebagai berikut:

$$LHR = \frac{\text{Jumlah lalu lintas selama pengamatan}}{\text{Lamanya pengamatan}} \quad (1)$$

Menabelkan hasil survei dan mengelompokkan data sesuai dengan jenis kerusakannya. Adapun jenis kerusakan jalan yang perlu diperhatikan saat melakukan survei adalah sebagai berikut:

1. Kekasaran permukaan (*surface texture*)
 2. Lubang-lubang (*potholes*)
 3. Tambalan (*patching*)
 4. Retak-retak (*cracking*)
 5. Alur (*rutting*)
 6. Amblas (*depression*)
3. Menghitung parameter dan melakukan penilaian terhadap setiap jenis kerusakan berdasarkan tabel di bawah ini.



Tabel 3. Parameter penilaian jenis kerusakan jalan

Retak-retak (<i>Cracking</i>)	
Tipe	Angka
Buaya	5
Acak	4
Melintang	3
Memanjang	2
Tidak Ada	1
Lebar	Angka
> 2 mm	3
1 – 2 mm	2
< 1 mm	1
Tidak ada	0
Alur	
Kedalaman	Angka
> 20 mm	7
11 – 20 mm	5
6 – 10 mm	3
0 – 5 mm	1
Tidak ada	0
Tambalan dan Lubang	
Luas	Angka
> 30%	3
20 – 30%	2
10 – 20%	1
< 10%	0
Kekasaran Permukaan	
Jenis	Angka
Distegration	4
Pelepasan butir	3
Rough	2
Fatty	1
Close texture	0
Amblas	
	Angka
> 5 / 100 m	4
2 – 5 / 100 m	2
0 – 2 / 100 m	1
Tidak ada	0



Tata cara penyusunan program pemeliharaan jalan kota, Ditjen
arga

Menjumlahkan setiap angka untuk semua jenis kerusakan dan menetapkan nilai kondisi jalan berdasarkan tabel di bawah ini.

Tabel 4. Nilai kondisi jalan

Total Angka Kerusakan	Nilai Kondisi Jalan
26 – 29	9
22 – 25	8
19 – 21	7
16 – 18	6
13 – 15	5
10 – 12	4
7 – 9	3
4 – 6	2
0 - 3	1

Sumber: Tata cara penyusunan program pemeliharaan jalan kota, Ditjen Bina Marga

Menghitung nilai prioritas kondisi jalan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Nilai Prioritas} = 17 - (\text{Kelas LHR atau Kelas Jalan} + \text{Nilai Kondisi Jalan}) \quad (2)$$

Adapun penentuan program pemeliharaan jalan dapat dilihat pada nilai prioritas kondisi jalan di atas, di mana:

Urutan prioritas 0-3 : jalan yang berada pada urutan prioritas ini dimasukkan ke dalam program peningkatan.

Urutan prioritas 4-6 : jalan yang berada pada urutan prioritas ini dimasukkan ke dalam program pemeliharaan berkala.

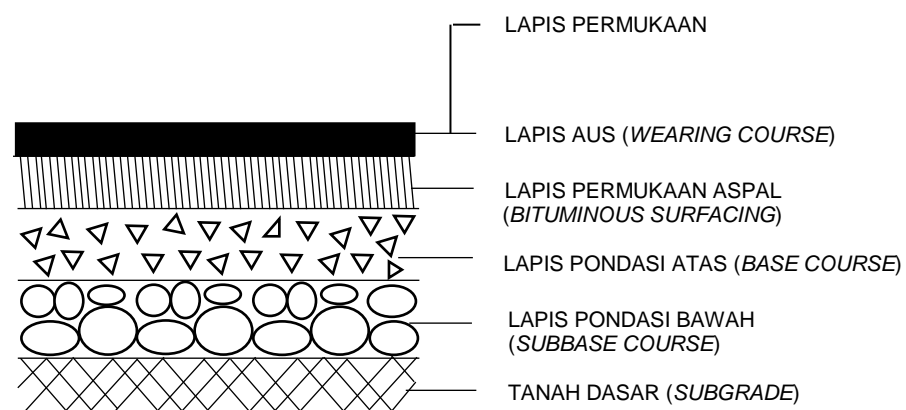
Urutan prioritas ≥ 7 : jalan yang berada pada urutan prioritas ini dimasukkan ke dalam program pemeliharaan rutin.

Berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat diklasifikasikan ke dalam tiga jenis, yaitu sebagai berikut (Sukirman, 1993)



a. Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*)

Konstruksi perkerasan lentur yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Lapisan-lapisan perkerasan bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Lapisan konstruksi perkerasan lentur dapat dilihat pada Gambar 1.

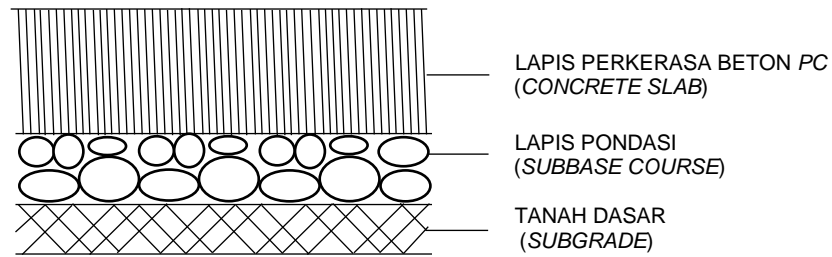


Gambar 1. Konstruksi perkerasan lentur

b. Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*)

Konstruksi perkerasan kaku yaitu perkerasan yang menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikatnya. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton. Lapisan konstruksi perkerasan kaku dapat dilihat pada Gambar 2.

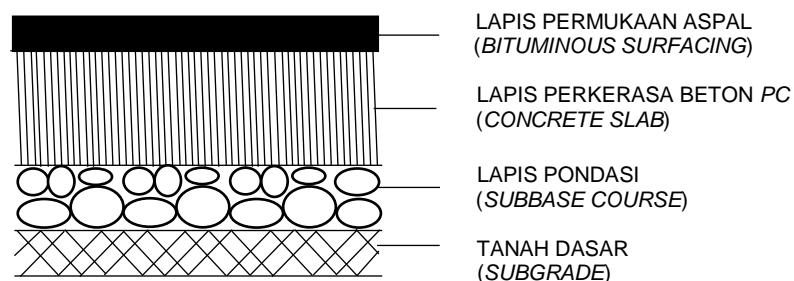




Gambar 2. Konstruksi perkerasan kaku

c. Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*)

Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*), yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur diatas perkerasan kaku atau perkerasan kaku di atas perkerasan lentur. Namun, umumnya terdiri dari lapisan perkerasan kaku sebagai lapisan pondasi dan campuran aspal agregat berfungsi sebagai lapis permukaan atau lapis aus yang dirancang tidak memiliki nilai struktural. Dalam perkerasan ini, kedua jenis perkerasan tersebut bekerja sama dalam memikul beban lalu lintas. Contoh lapisan konstruksi perkerasan komposit, dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Konstruksi perkerasan komposit



d. Nilai kondisi jalan

Evaluasi nilai kondisi jalan, sehingga dapat diketahui kinerja perkerasan jalan, dapat diukur dengan beberapa metode, yaitu:

- 1). Bina Marga, yaitu salah satu metode yang digunakan untuk memperoleh nilai kondisi jalan melalui survei visual. Metode ini dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga. Dari nilai kondisi jalan dan kelas LHR, maka akan diperoleh urutan prioritas penanganan jalan dengan rentang 0-7, sehingga dapat dijadikan acuan dalam penentuan program pemeliharaan jalan.
- 2). *PCI (Pavement Condition Index)*, yaitu suatu metode analisa tingkat pelayanan jalan secara visual yang dikembangkan oleh M.Y. Sahin dan *U.S. Army Corp of Engineer*. Metode ini merupakan salah satu sistem penilaian kondisi perkerasan jalan berdasarkan jenis, tingkat, dan luas kerusakan yang terjadi, serta dapat digunakan acuan dalam usaha pemeliharaan jalan. Nilai *PCI* bervariasi dari angka 0 sampai 100.
- 3). Indeks Kondisi Jalan (*Road Conditon Index*) adalah skala dari tingkat kenyamanan atau kinerja dari jalan yang diperoleh dengan pengamatan secara visual atau dengan menggunakan alat *roughmeter*. Skala angka *RCI* bervariasi dari 2 - 10.
- 4). *IRI (International Roughness Index)* adalah gambaran kondisi

lakrataan jalan beraspal dengan menggunakan alat *NAASRA* (*National Association of Australian State Road Authorities*)-meter.



Prinsip alat ini adalah mengukur gerakan vertikal *garden* belakang kendaraan survei akibat ketidakrataan jalan yang dinyatakan dalam satuan mm/km.

- 5). Pemeriksaan Lendutan Jalan (*Benkelman Beam*), merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memperoleh data lapangan yang akan bermanfaat pada penilaian struktur perkerasan dan perbandingan sifat-sifat struktural sistem perkerasan yang berlainan. Metode ini dilakukan dengan cara mengukur gerakan vertikal pada permukaan lapis jalan melalui pemberian beban roda yang diakibatkan oleh beban tertentu.

B. Kapasitas Ruas Jalan

Kapasitas dapat didefinisikan sebagai tingkat arus maksimum dimana kendaraan dapat diharapkan untuk melalui suatu potongan jalan pada periode waktu tertentu untuk kondisi lajur/ jalan, lalu lintas, pengendalian lalu lintas dan kondisi cuaca yang berlaku (Departemen Pekerjaan Umum, 1997).

Prediksi kapasitas ruas jalan dilakukan berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (*Indonesian Highway Capacity Manual, IHCM, 1997*) yang selanjutnya disebut MKJI 1997. Model kapasitas ruas pada MKJI 1997 pada dasarnya adalah modifikasi Model *Greenshields*

melalui observasi dan analisis terhadap kapasitas jalan di belasan



daerah di Indonesia. Kapasitas ruas jalan kota dapat diformulasikan sebagai berikut: (Putranto, 2008, Erizal, 2003)

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{sp} \times FC_{sf} \times FC_{cs} \text{ (smp/jam)} \quad (3)$$

dimana: C = Kapasitas (smp/ jam)

C_o = Kapasitas dasar (smp/ jam)

FC_w = Faktor pengaruh lebar jalur

FC_{sp} = Faktor pengaruh distribusi arah (tidak berlaku untuk jalan satu arah)

FC_{sf} = Faktor pengaruh hambatan samping

FC_{cs} = Faktor pengaruh ukuran kota (jumlah penduduk)

C. Peralatan Uji Emisi Kendaraan Bergerak

1. Komponen Dasar Alat Pengukuran Emisi

a. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah papan pengembangan mikrokontroler yang berbasis Arduino dengan menggunakan *Chip ATmega2560*. *Board* ini memiliki pin I/O yang cukup banyak, sejumlah 54 buah digital I/O pin (15 pin diantaranya adalah PWM), 16 pin analog *input*, 4 pin UART (*serial port hardware*). Arduino Mega 2560 dilengkapi dengan sebuah *oscillator* 16 Mhz, sebuah *port USB*, *power jack DC*, *ICSP header*, dan tombol *reset*.

Board ini sudah sangat lengkap, sudah memiliki segala sesuatu yang diperlukan untuk sebuah mikrokontroler. Dengan penggunaan yang



cukup sederhana, anda tinggal menghubungkan *power* dari *USB* ke *PC* anda atau melalui adaptor *AC/DC* ke *jack DC*.

b. Pemrograman

Pemrograman *board Arduino Mega 2560* dilakukan dengan menggunakan *Arduino Software (IDE)*. *Chip ATmega2560* yang terdapat pada *Arduino Mega 2560* telah diisi program awal yang sering disebut *bootloader*. *Bootloader* tersebut yang bertugas untuk memudahkan anda melakukan pemrograman lebih sederhana menggunakan *Arduino Software*, tanpa harus menggunakan tambahan *hardware* lain. Cukup hubungkan *Arduino* dengan kabel *USB* ke *PC* atau *Mac/Linux/Windows* anda, jalankan *software Arduino Software (IDE)*, dan anda sudah bisa mulai memrogram *chip ATmega2560*. Lebih mudah lagi, di dalam *Arduino Software* sudah diberikan banyak contoh program yang memanjakan anda dalam belajar mikrokontroler.

c. LCD 16x4

LCD 16x4 adalah sebuah komponen elektronika yang bisa menampilkan karakter maupun angka yang bisa dibaca oleh pengguna. Angka 16 sendiri merupakan jumlah karakter yang bisa ditampilkan dari kiri ke kanan, sedangkan angka 4 yaitu jumlah karakter yang bisa ditampilkan dari atas ke bawah.



d. Modul *MicroSD* (*Micro Storage Device Module*) dan *MicroSD* (*Micro Secure Digital*)

Modul *MicroSD* ini kompatibel dengan kartu *SD* (biasa digunakan di Ponsel) yang merupakan kartu paling kecil di pasaran. Modul ini akan sangat memperluas kemampuan yang bisa dilakukan *Arduino*. Modul ini memiliki antarmuka *SPI* dan *power supply 5V* yang kompatibel dengan *Arduino UNO/ Mega*. *Pinout* sepenuhnya kompatibel dengan *DFRobot's IO Expansion Shield V5*. *Secure Digital* (*SD*) atau *MicroSD* Adalah sarana penyimpanan data pada alat elektronik seperti *handphone* dan format data pada *MicroSD* umumnya menggunakan *FAT*. *MicroSD* seringkali digunakan sebagai sarana penyimpan data pada telepon seluler (ponsel).

e. Modul *RTC* (*Real Time Clock*)

Modul *RTC* adalah sebuah modul yang dibentuk dari *IC DS1307* yaitu komponen yang berisi sebuah jam. Kemudian modul tersebut dapat dihubungkan ke mikrokontroler untuk membaca data yang dihasilkan modul tersebut. Adapun data yang bisa dibaca yaitu jam, menit, detik, tanggal, bulan dan tahun.

f. *Push Button* dan Saklar

Push Button adalah sebuah komponen yang berfungsi memutus dan menyambungkan rangkaian. Jika *push button* ditekan, maka

akan menerima perintah. Saklar adalah komponen elektronika yang



berfungsi untuk memutus dan menghubungkan rangkaian. Biasanya digunakan untuk memadamkan dan menyalakan rangkaian atau alat.

Komponen dasar pengukuran emisi dapat dilihat pada lampiran 2.

g. *Personal* Komputer (*PC*)

Personal komputer atau (*PC*) adalah seperangkat alat yang dapat memproses dan mengolah data. *PC* digunakan Laptop *Samsung NP300E4X* untuk mengolah, memproses dan mengunduh data ke dalam mikrokontroler *Arduino*. Data yang tersimpan di *MicroSD* dari alat pengukuran emisi *mobile*, dimasukkan ke *PC* melalui *Card Reader* sehingga data akan terbaca pada layar monitor menggunakan *software Microsoft Excel*.

h. Sensor Emisi Gas

Penggunaan sensor pada proses monitoring pembakaran motor sangatlah jarang ditemukan, oleh karena itu dalam perancangan sistem monitoring ini kita akan menggunakan sensor CO_2 , NO_x , Asap, CO , HC untuk mendeteksi kandungan emisi gas buang pada kendaraan (Lutfie, 2017). Gambar sensor emisi gas dapat dilihat seperti pada lampiran 3.

(1) Sensor CO_2

MQ 3 adalah sensor untuk mendeteksi gas CO_2 (Karbon Dioksida).

MQ 3 adalah salah satu *transducer* yang digunakan dalam rangkaian ini, tersebut merupakan sensor kimia atau gas sensor. Secara umum gas ini mempunyai konstruksi yang sama. Sensor ini mempunyai



nilai resistansi R_s yang akan berubah bila terkena gas dan juga mempunyai sebuah pemanas (*heater*) yang berguna untuk membersihkan ruangan sensor dari kontaminasi udara luar. *Output* tegangan pada hambatan R_L (V_{Out}) digunakan sebagai masukan pada *Arduiono Mega*. Nilai resistansi R_L dipilih agar konsumsi daya dari sensor (*MQ*) di bawah batas 15 mW, nilai *MQ* akan meningkat pada waktu nilai resistansi sensor R_S sama dengan nilai resistansi.

(2) Sensor NOx

Sensor *MQ 4* merupakan salah satu jenis sensor untuk mendeteksi gas NOx (Natrium Oksida) yang ukuran kesensitifannya mencapai 100%. Sensor ini bekerja pada suhu 5 - 40° C. Sensor *MQ 4* ini tergolong kecil sehingga mudah dalam pengaturan tata letak sensor. Disamping ukurannya yang sangat simpel, *MQ 4* juga memiliki kesensitifan terhadap NOx yang sangat tajam, dan juga membutuhkan *power/* daya yang sedikit untuk mengoperasikannya. Namun harga sensor tersebut tergolong sedikit mahal. Dengan memantau perubahan dalam gaya gerak listrik (*EMF*) yang dihasilkan antara dua elektroda, itu adalah mungkin untuk mengukur konsentrasi gas NOx. Atas topi sensor berisi *adsorben (zeolit)* untuk tujuan mengurangi pengaruh gangguan gas. *MQ 4* menampilkan sensor yang baik stabilitas jangka panjang dan menunjukkan baik daya tahan terhadap pengaruh kelembaban tinggi.



(3) Sensor CO

Sensor *MQ 7* merupakan salah satu jenis sensor untuk mendeteksi gas CO (Karbon Monoksida) yang ukuran kesensitifannya mencapai 100%. Sensor ini bekerja pada suhu 5°– 40°C. Ukuran sensor ini tergolong kecil, sehingga mudah dalam pengaturan tata letak sensor.

(4) Sensor HC

Sensor *MQ 8* merupakan salah satu jenis sensor untuk mendeteksi gas HC (Hidro Karbon) yang ukuran kesensitifannya mencapai 100%. Sensor ini bekerja pada suhu 5 – 40° C. Ukuran sensor ini tergolong kecil, sehingga mudah dalam pengaturan tata letak sensor.

(5) Sensor Asap

Sensor *MQ 135* merupakan salah satu jenis sensor untuk mendeteksi asap (*Smoke*) yang ukuran kesensitifannya 100%. Sensor ini bekerja pada suhu 5 – 40° C. Ukuran sensor ini tergolong kecil, sehingga mudah dalam pengaturan tata letak sensor.

i. *Battery* dan Cas

Batery yang digunakan adalah sebuah *battery Litium Polymer* yang berkekuatan besar dengan tipe *Batery Lipo Turnigy 2.2*. Cas *iMAX B6* merupakan Cas digunakan untuk *men-charger discharge* secara cepat pada berbagai jenis baterai termasuk *Batery Lipo. Battery* dan cas alat uji

pat dilihat pada lampiran 4.



D. Kendaraan Truk

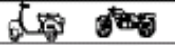
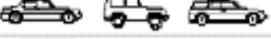

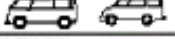

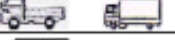
















1. Pengertian kendaraan truk

Truk adalah sebuah kendaraan bermotor untuk mengangkut barang. Jenis kendaraan ini biasa disebut juga sebagai mobil barang. Kendaraan jenis ini biasa digunakan dalam bidang konstruksi dan perdagangan. Dalam bentuk yang kecil, jenis ukuran truk yang kecil disebut sebagai *pick-up*, sedangkan bentuk lebih besar dengan 3 sumbu, 1 di depan, dan tandem di belakang disebut sebagai truk tronton, sedangkan jenis truk yang digunakan untuk angkutan peti kemas dalam bentuk tempelan disebut sebagai truk trailer. Juga ada jenis truk tangki yang berguna untuk mengangkut cairan seperti BBM dan lainnya (Wikipedia, 2015).

2. Penggolongan Kendaraan

Rudi (2009) menjelaskan bahwa jenis kendaraan yang beroperasi di Indonesia dapat diklasifikasikan ke dalam 12 golongan, yaitu kendaraan ringan, Truk/ Bus Sedang, Bus Besar, Truk Berat, Truk dan Trailer dengan berbagai konfigurasi sumbu, serta Sepeda Motor dan kendaraan tidak bermotor seperti diperlihatkan dalam Gambar 4.



Golongan	Kelompok jenis kendaraan	Jenis kendaraan	Konfigurasi sumbu	Kode
1	Sepeda motor, kendaraan roda-3			
2	Sedan, jeep, station wagon			1.1
3	Angkutan penumpang sedang			1.1
4	Pick up, micro truk dan mobil barakoran			1.1
5a	Bus kecil			1.1
5b	Bus besar			1.2
6a	Truk ringan 2 sumbu			1.1
6b	Truk sedang 2 sumbu			1.2
7a	Truk 3 sumbu			1.2.2
7b	Truk gandengan			1.2.2 - 2.2
7c	Truk semitrailer			1.2.2.2.2
8	Kendaraan tidak bermotor			

Sumber: Rudi, 2009

Gambar 4. Penggolongan kendaraan di jalan tol

Golongan jenis kendaraan bermotor pada jalan tol yang sudah beroperasi berdasarkan Kepmen PU No 370/KPTS/M/2007 sebagai berikut:

Tabel 5. Golongan jenis kendaraan

Golongan	Jenis kendaraan
Golongan I	Sedan, Jip, Pick Up/Truk Kecil, dan Bus
Golongan II	Truk dengan 2 (dua) gandar
Golongan III	Truk dengan 3 (tiga) gandar
Golongan IV	Truk dengan 4 (empat) gandar
Golongan V	Truk dengan 5 (lima) gandar
Golongan VI	Kendaraan bermotor roda 2 (dua)

Sumber: Kepmen PU No 370/KPTS/M/2007



3. Daya angkut truk

Daya angkut truk tergantung kepada beberapa variabel, diantaranya jumlah ban, jumlah sumbu/ konfigurasi sumbu, muatan sumbu, kekuatan ban, daya dukung jalan. Pada daftar Tabel 2 ditunjukkan tabel lengkap truk berdasarkan sumbu, jenis dan daya angkut truk.

Tabel 6. Truk berdasarkan sumbu, jenis, dan daya angkut

Konfigurasi sumbu	Jumlah sumbu	Jenis	JBI Kelas II	JBI Kelas III	Jumlah ban
1 – 1	2	Truk Engkel Tunggal	12 ton	12 ton	4
1 – 2	2	Truk Engkel Ganda	16 ton	14 ton	6
1.1 – 2	3	Truk Trintin	18 ton	16 ton	8
1 - 2.2	3	Truk Tronton	22 ton	20 ton	10
1.1 - 2.2	4	Truk Trinton	30 ton	26 ton	12
1 - 2 - 2.2	4	Truk Trailer Engkel	34 ton	28 ton	14
1 - 2 - 2.2.2	5	Truk Trailer	40 ton	32 ton	18
1 - 2.2 - 2.2		Truk Trailer Tronton			
1 - 2.2 - 2.2.2	6	Truk Trailer Tronton	43 ton	40 ton	22

Sumber: Wikipedia, 2015

Semakin besar truk semakin memiliki banyak sumbu roda. Sumbu roda ini berfungsi sebagai tempat roda, sehingga makin banyak sumbu roda truk, makin banyak ban yang digunakan dan beban yang diterimapun

besar. Sumbu mobil truk biasanya sampai 4 sumbu.



Wikipedia (2015) menjelaskan jenis-jenis truk berdasarkan sumbunya sebagai berikut:

1. Truk Engkel

Engkel adalah jenis truk ringan yang hanya memiliki jumlah sumbu 2, ada 2 jenis engkel, yakni:

- a. *Truck engkel single* memiliki jumlah roda 4, jumlah sumbu roda 2 dengan konfigurasi 1-1 dengan muatan maksimal 12 ton.
- b. *Truck engkel double* memiliki jumlah roda 6, jumlah sumbu roda 2 dengan konfigurasi 1-2 dengan beban maksimal 12 ton.

2. Truck Trintin

Truck trintin memiliki jumlah roda 8, jumlah sumbu roda 3 dengan konfigurasi 1-1-2 dengan beban maksimal 18 ton.

3. Truck Tronton

Truck tronton memiliki jumlah roda 10, jumlah sumbu roda 3 dengan konfigurasi 1-2.2 dengan beban maksimal 22 ton.

4. Truck Trinton

Truck trinton memiliki jumlah roda 12, jumlah sumbu roda 4 dengan konfigurasi 1.1-2.2 dengan beban maksimal 29 ton.

4. Jumlah berat yang diizinkan

Jumlah berat yang diizinkan (JBI) adalah berat maksimum

untuk kendaraan bermotor dan muatannya yang diizinkan berdasarkan kelas

kendaraan yang dilalui. Jumlah berat yang diizinkan semakin besar kalau jumlah

kendaraan semakin banyak.



Formulasinya:

$$JBI = BK + G + L \quad (3)$$

Dimana : JBI = Jumlah berat yang diizinkan

BK = Berat kosong kendaraan

G = Berat orang (yang diizinkan)

L = Berat muatan (yang diizinkan)

JBI ditetapkan oleh Pemerintah dengan pertimbangan daya dukung kelas jalan terendah yang dilalui, kekuatan ban, kekuatan rancangan sumbu sebagai upaya peningkatan umur jalan dan kendaraan serta aspek keselamatan di jalan. Sementara itu Jumlah Berat Bruto (JBB) ditetapkan oleh pabrikan sesuai dengan kekuatan rancangan sumbu, sehingga konsekuensi logisnya JBI tidak melebihi JBB.

Pada tabel berikut ditunjukkan JBI untuk jalan Kelas II dengan muatan sumbu terberat 10 ton dan untuk jalan dengan muatan sumbu terberat 8 ton untuk berbagai konfigurasi sumbu kendaraan.

Tabel 7. Jenis tipe kendaraan truk untuk rancangan

Konfigurasi sumbu	Jumlah sumbu	Jenis	JBI
1 – 1	2	Truk Kecil 2 sumbu	6 ton
1 – 2	2	Truk Besar 2 sumbu	13 ton
1 - 2.2	3	Truk Tandem 3 sumbu	20 ton
1.2.2 - 1.1	4	Truk Gandeng 5 sumbu	30 ton
- 2.2	4	Truk Gandeng 5 sumbu	40 ton
- 2.2.2	5	Truk Gandeng 6 sumbu	50 ton

er: Konstruksi jalan raya, 2005



E. Studi Penelitian Terdahulu

Menurut Lutfie dkk. (2015), jenis emisi truk terhadap jenis kendaraan lainnya yang terbesar di jalan A.P. Pettarani adalah CO₂, namun persentase terhadap kendaraan lainnya cukup kecil 0,63% s/d 27,29%, dimana tingkat distribusi frekuensinya sepanjang hari tidak sama untuk semua jalan arteri di Kota Makassar. Menurut Arafah, M. dkk. (2013), umur sepeda motor adalah variabel signifikan pada model logit. Model regresi *polynomial* orde-3 menunjukkan bahwa tingkat emisi CO dan HC bertambah dengan bertambahnya umur sepeda motor. Menurut Arafah, M. (2015), juga menyatakan bahwa variabel umur sepeda motor merupakan karakteristik operasional yang paling signifikan mempengaruhi besaran emisi sepeda motor khususnya pada kondisi statis. Pengimplementasian metode *eco-driving cycle* dalam hal penerapan prinsip-prinsip mengemudi sepeda motor pada arus lalu lintas di jalan arteri perkotaan memberikan efektivitas yang cukup signifikan dalam pengendalian emisi sepeda motor pada kondisi dinamis, di mana metode ini mengurangi nilai indeks emisi CO dan HC mencapai 30 %.

Analisis emisi kendaraan bermotor sangat tergantung pada kecepatan dan percepatan kendaraan. Kecepatan dan percepatan kendaraan merupakan karakteristik pola mengemudi kendaraan. Pola mengemudi kendaraan yang dimaksud adalah karakteristik pola mengemudi di jalan raya perkotaan yang ditentukan berdasarkan rute yang tepat dan kondisi lalu lintas terkini. Sampai saat ini, belum



ditemukan metode memilih rute jalan yang tepat untuk menganalisis pola-pola mengemudi yang sebenarnya (Tong, dkk. 2011).

Tamsanya, dkk. (2009) dan Tong dkk. (2011) telah melakukan studi terkait dengan pengukuran *driving cycle* masing-masing di Bangkok, Thailand dan Hanoi, Vietnam. Pengukuran *driving cycle* di Hanoi dilakukan untuk kendaraan berpenumpang dan sepeda motor dengan mengukur parameter *driving cycle* berturut-turut adalah kecepatan rata-rata, percepatan, perlambatan, proporsi waktu situasi kendaraan melaju dan *idle*, proporsi waktu bagi kendaraan yang mengalami percepatan atau perlambatan dan jumlah kendaraan rata-rata yang mengalami percepatan dan perlambatan serta jarak rata-rata kendaraan yang melaju.

Sudarmanto, dkk., (2007) telah mengembangkan *bivariate probit* model untuk menggambarkan dan menganalisis probabilitas kelayakan kendaraan dalam suatu pengukuran emisi kendaraan secara *stationer* di jalan raya dengan kasus kendaraan mobil penumpang kota di jalan raya dengan kasus kendaraan mobil penumpang di kota Jakarta. Sudarmanto, dkk., (2007) menyatakan analisa dilaksanakan dengan pengukuran emisi pada sembilan jalan utama di kota besar Jakarta. Model bivariat probit memberi kemungkinan pengaruh karakteristik kendaraan (umur kendaraan, non sedan, tipe bahan bakar, karburator dan *lambda*) terhadap emisi CO dan HC berada di atas ambang batas.

aiikun, dkk. (2008) telah melakukan pengukuran emisi untuk
mban faktor emisi kendaraan di Shanghai, China dan menganalisa



resolusi spasial dan temporal dari aktivitas kendaraan dan komposisi kendaraan di kota itu. Total emisi kendaraan dihitung dengan *IVE* model yang memperhitungkan parameter *VSP*, faktor-faktor yang berpengaruh terhadap emisi kendaraan dan panjang perjalanan kendaraan (*VKT*) atau panjang segmen jalan yang dilalui kendaraan.

Menurut Ansar S. (2013), pengembangan alat pengukuran emisi dipasang pada klep pembangkit tenaga listrik tenaga disel. Senyawa terdiri dari *Carbon Monoxide* (CO), *Sulfur Dioxide* (SO₂), *Nitrogen Oxide* (NO_x). Informasi emisi tersebut dapat diakses menggunakan sistem informasi *online*. Menurut Sumarni dan Isran. (2013) saat meneliti emisi gas buang kendaraan: CO, NO, NO_x dan CO₂ yang diukur pada variasi kecepatan kendaraan bergerak 0, 20, 40 dan 60 km/jam, hubungan antara emisi dan kecepatan kendaraan menggunakan model *polynomial*. Hasil pengukuran emisi Model *IVEM* menunjukkan nilai CO₂ rendah, seperti halnya jenis emisi yang lainnya.

Pengembangan model prediksi emisi kendaraan bermotor dengan pengembangan model emisi sebagai multiplikasi antara *Vehicle Kilometer Travel* (*VKT*) dan *Emission Factor* (*EF*). *VKT* adalah multiplikasi antara jarak perjalanan kendaraan (*D*) dan volume lalu lintas (*N*), *EF* adalah faktor emisi dasar setiap kategori kendaraan. Variabel yang berpengaruh signifikan terhadap emisi kendaraan di wilayah perkotaan dengan situasi

s heterogen bukan lagi jarak perjalanan kendaraan (*D*). Variabel berpengaruh, yaitu waktu tempuh perjalanan atau *travel time* (*TT*)



dan pola siklus mengemudi kendaraan (*DC*) yang sebenarnya di jalan raya. (Lyons, dkk., 2003), (Nesamani dan Kalandiyur, 2007).

Pola mengemudi kendaraan yang dimaksud adalah karakteristik pola mengemudi di jalan raya perkotaan yang ditentukan berdasarkan rute jalan yang tepat dan kondisi lalu lintas terkini. Sampai saat ini, belum ditemukan metode memilih rute jalan yang tepat untuk menganalisis pola mengemudi yang sebenarnya. Nutramon, dkk., (2009). Menurut Nesamani, dkk., (2011), Smith, dkk., (2011) variabel pola siklus mengemudi adalah situasi *idle*, percepatan, perlambatan, kendaraan melaju, dan kecepatan rata-rata kendaraan.

Komposisi emisi truk terbesar terhadap jenis kendaraan di Jalan A.P. Pettarani adalah CO₂, persentase emisi terhadap jenis kendaraan lainnya 0,63% s/d 27,29%, dimana tingkat distribusi frekuensinya sepanjang hari tidak sama untuk semua jalan arteri di Kota Makassar. Lutfie dkk., (2015). Penelitian terhadap emisi gas, secara umum didapatkan bahwa kecenderungan yang muncul adalah semakin cepat laju kendaraan maka gas CO₂, NO_x, Asap, CO, dan HC yang dilepaskan akan semakin besar atau akan meningkat seiring bertambahnya kecepatan kendaraan. Hubungan konsentrasi emisi dengan kecepatan kendaraan merupakan hubungan linear. Lutfie dkk., (2018). Penelitian emisi gas buang kendaraan: CO, NO, NO_x dan CO₂ diukur pada variasi

an kendaraan bergerak 0, 20, 40 dan 60 km/jam. Hubungan emisi dan kecepatan kendaraan menggunakan model polynomial.



Hasil pengukuran emisi Model *IVE* menunjukkan nilai CO_2 rendah, seperti halnya jenis emisi yang lainnya. Kecepatan juga akan mempengaruhi jumlah emisi yang dikeluarkan oleh suatu kendaraan. Aly dkk., (2013). Menurut Morlok dan Edward (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_2 , dimana semakin tinggi kecepatan yang digunakan maka NO_2 yang dikeluarkan akan semakin besar. Pengukuran emisi kendaraan bergerak dimulai dengan melakukan pencatatan pada saat kendaraan belum bergerak (kecepatan kendaraan nol), tetapi mesin kendaraan sudah dihidupkan. (Aly, 2015).

Penelitian tentang alat pengukuran emisi telah dilakukan untuk mengestimasi emisi dari pembangkit listrik yang mana alat ukur dipasang pada klep pembangkit tenaga listrik tenaga deisel sehingga mampu membaca senyawa terdiri dari *Carbon Monoxide* (CO), *Sulfur Dioxide* (SO_2), dan *Nitrogen Oxide* (NO_x). Informasi emisi tersebut dapat diakses menggunakan sistem informasi *online*. (Ansar, 2013).

Metode Bina Marga mempunyai hasil akhir dalam analisis yaitu urutan prioritas dan pemeliharaan kerusakan jalan, sedangkan untuk metode PCI mempunyai hasil akhir yaitu klasifikasi kualitas perkerasan pada ruas jalan tersebut. Bentuk pemeliharaan yang dapat dilakukan yaitu

memberi lapis tambahan dan dipadatkan, celah diisi campuran

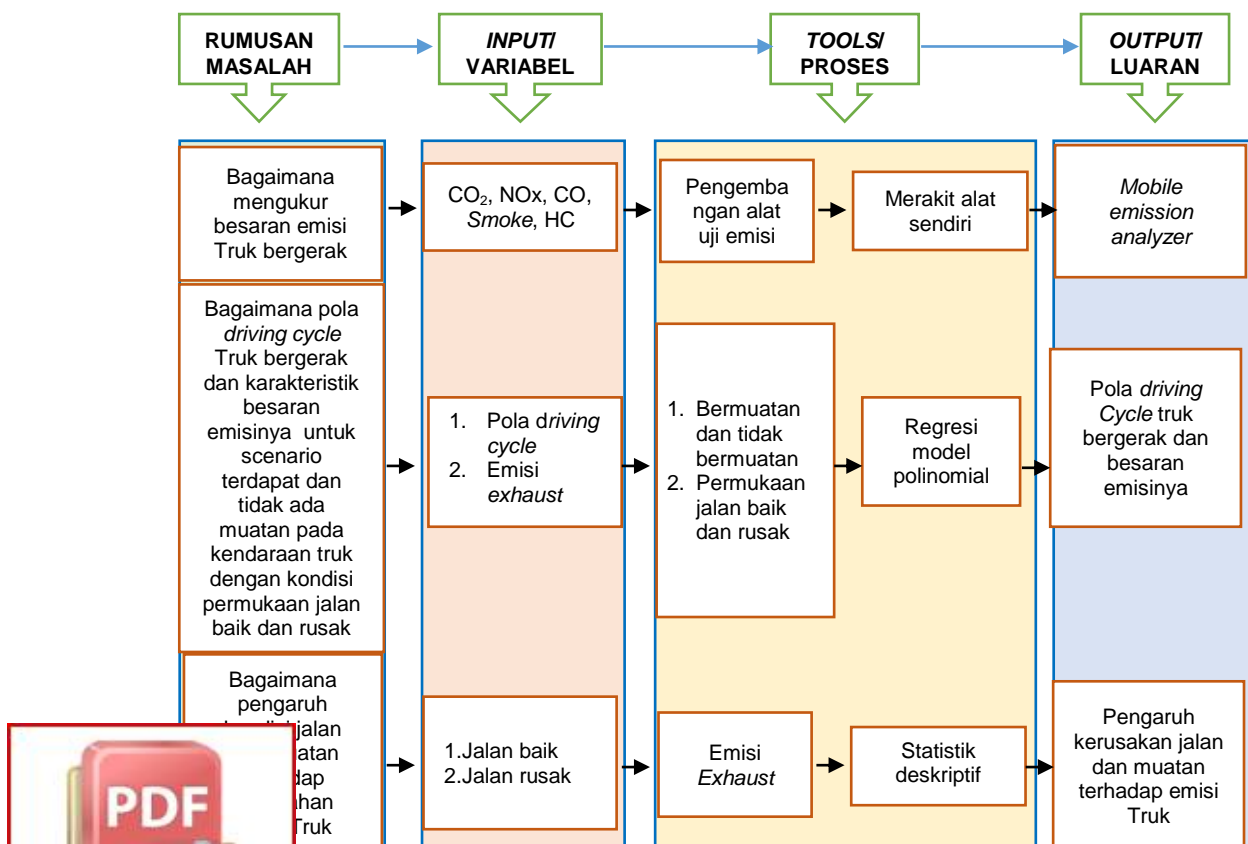


aspal dan pasir, serta lapis perkerasan dibongkar dan kemudian dilapis kembali dengan bahan yang sama. (Bayu, 2014).

Uji emisi dengan mengambil data saat keadaan bergerak sangat sulit dilakukan di negara-negara berkembang dan kebanyakan alat yang ada sangat tidak efisien saat digunakan dan bentuknya besar, serta alat uji emisi tidak bisa digunakan dalam kondisi kendaraan sedang beroperasi. Oleh sebab itu diciptakanlah sistem monitoring emisi gas buang pada kendaraan, agar dapat mengetahui tingkat emisi gas buang kendaraan truk.

F. Kerangka Pikir

Kerangka pikir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Kerangka pikir penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam membuat desain penelitian adalah sebagai berikut :

1. Melakukan kajian pustaka, dan studi yang terkait dengan variabel penelitian.
2. Melakukan identifikasi variabel nilai kondisi jalan, emisi dan kecepatan truk dengan muatan dan tanpa muatan pada kondisi jalan baik dan jalan rusak. Pada tahap ini, ditetapkan variabel yang akan dipakai dalam penelitian.
3. Metode pengambilan data

Langkah awal pada tahapan ini, dilakukan pengambilan data komposisi kendaraan truk. Tahapan berikutnya berupa pengambilan data emisi kendaraan truk bergerak baik dengan muatan maupun tanpa muatan. Selanjutnya data emisi diambil dari kendaraan truk pada kondisi jalan baik dan kondisi jalan rusak.

Data emisi yang dipakai dalam penelitian ini berupa CO₂, NO_x, Asap, CO, dan HC yang diuji langsung di lapangan. Sampling dilakukan dengan menggunakan alat *mobile emission analyzer* buatan Unhas Gowa bekerjasama dengan Poltek Negeri Ujung Pandang. Kendaraan dijalankan dengan kecepatan bervariasi mulai dari awal bergerak pada titik pertama sampai berhenti pada titik kedua. Emisi yang dihasilkan

dikumpulkan oleh selang yang dihubungkan langsung ke *mobile emission analyzer*. Kegiatan pengambilan sampel gas dilakukan dengan cara menangkap emisi yang berasal dari knalpot



dengan menggunakan pipa besi. Pipa penyalur gas ini dibuat berbentuk siku-siku dan pada salah satu ujungnya disambungkan dengan selang plastik agar dapat bergerak fleksibel. Pada selang ini kemudian disambungkan ke tabung yang di dalamnya berisi sensor CO₂, NO_x, Asap, CO, dan HC. Ujung pipa yang masuk ke dalam knalpot diikatkan kabel dan tali agar pipa penyalur gas tidak jatuh. *mobile emission analyzer* diletakkan di bagian tengah kendaraan di samping knalpot bersama-sama dengan *battery*. Sebelum *mobile emission analyzer* digunakan, terlebih dahulu dilakukan *warm up* pada alat tersebut selama 2 menit.

kemudian kendaraan sampel dijalankan dengan laju yang diinginkan mulai dari awal bergerak sampai berhenti. Penentuan lama waktu pengukuran pada penelitian ini selama 5 - 20 menit perjalanan. Gas yang berasal dari knalpot kemudian dialirkan ke dalam tabung yang di dalamnya berisi sensor CO₂, NO_x, Asap, CO, dan HC. Lalu gas tersebut terbaca pada layar *LCD Mobile emission analyzer*. Data senyawa gas yang terbaca oleh sensor, disimpan pada memori MicroSD. Data tersebut dapat dianalisis setelah dikopi ke *PC (Laptop, Notebook, computer)* menggunakan *Card Reader*. Kemudian dilanjutkan dengan pengolahan data CO₂, NO_x, Asap, CO, dan HC. Langkah terakhir adalah melakukan analisis dan kajian dari hasil

olahan data yan telah dilakukan sehingga diketahui hubungan



antara kecepatan bervariasi truk dengan konsentrasi CO₂, NO_x, Asap, CO, dan HC yang dihasilkan truk.

4. Metode analisis data

Langkah awal pada tahapan analisis ini, digunakan metode statistik deskriptif untuk menggambarkan kondisi permukaan jalan Poros Malino menggunakan metode Bina Marga untuk memperoleh nilai kondisi jalan. Tahapan berikutnya berupa analisis pola *driving cycle* truk bergerak dan besaran emisinya untuk skenario terdapat dan tidak ada muatan pada kendaraan truk dengan kondisi permukaan jalan baik dan rusak menggunakan metode statistik deskriptif.

