



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

SKRIPSI - ME184834

**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL EMISI GAS BUANG MESIN
DIESEL UNTUK MENGURANGI NO_x PADA EXHAUST BERBASIS
MIKROKONTROLER**

Achmad Faroq
NRP 0421154000055

Dosen Pembimbing
Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.

Juniarko Prananda, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BACHELOR THESIS - ME184834

**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL EMISI GAS BUANG MESIN
DIESEL UNTUK MENGURANGI NOX PADA EXHAUST BERBASIS
MIKROKONTROLER**

Achmad Faroq
NRP 04211540000055

Dosen Pembimbing
Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.

Juniarko Prananda, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL EMISI GAS BUANG MESIN DIESEL UNTUK MENGURANGI NOX PADA EXHAUST BERBASIS MIKROKONTROLER

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Power Plant (MPP)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

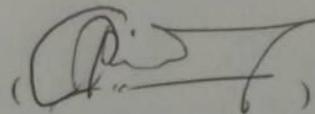
Oleh:

Achmad Faroq

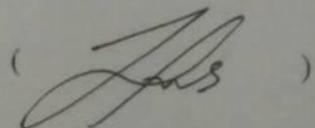
NRP. 0421154000055

Disetujui oleh Pembimbing Skripsi:

Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.

()

Juniarko Prananda, S.T., M.T.

()

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL EMISI GAS BUANG MESIN DIESEL UNTUK MENGURANGI NOX PADA EXHAUST BERBASIS MIKROKONTROLER

SKRIPSI

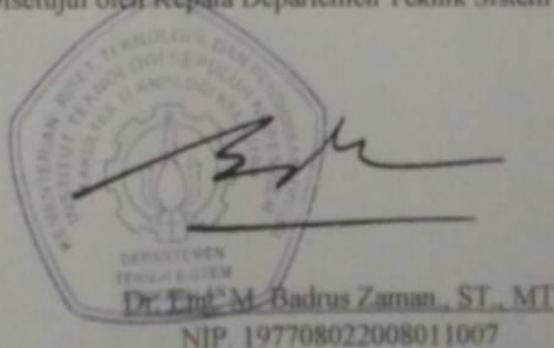
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Power Plant (MPP)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Achmad Faroq

NRP. 0421154000055

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT
NIP. 197708022008011007

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL EMISI GAS BUANG MESIN DIESEL UNTUK MENGURANGI NO_x PADA EXHAUST BERBASIS MIKROKONTROLER

Nama Mahasiswa : Achmad Faroq
NRP : 0421154000055
Program Studi : S1 Teknik Sistem Perkapalan
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas : Fakultas Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.
Juniarko Prananda, S.T., M.T.

Abstrak

Oksida Nitrogen (NO_x) adalah polutan udara yang menyebabkan terjadinya peristiwa hujan asam dan menipisnya ozon yang berfungsi melindungi bumi dari sinar matahari. Di tempat-tempat dengan kepadatan lalu lintas yang tinggi, seperti di kota-kota besar, jumlah nitrogen oksida yang dilepaskan ke udara sebagai polusi udara dapat meningkat signifikan. Gas NO_x terbentuk di semua tempat yang terdapat pembakaran - contohnya dalam mesin. Maka dari itu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengurangi emisi NO_x pada exhaust mesin diesel. Alat yang dibuat pada penelitian ini adalah sensor MQ-135 untuk pembacaan emisi NO_x dan penginjeksian otomatis untuk menginjeksikan urea pada exhaust yang bertujuan mengurangi emisi NO_x sesuai dengan aturan IMO. Pada penelitian ini didapatkan nilai NO_x tertinggi dan terendah sesudah di injeksikan urea pada RPM 1800 beban 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 sebagai berikut : Rpm 1800 beban 1000 tidak ada urea yang di injeksikan karena nilai NO_x yang keluar masih memenuhi persyaratan IMO. Rpm 1800 beban 2000 diinjeksikan urea 1mL pada NO_x terendah 119 ppm mendapatkan nilai penurunan 56 ppm, NO_x tertinggi 124 mendapatkan nilai penurunan 59 ppm. Rpm 1800 beban 3000 diinjeksikan urea 1 mL pada NO_x terendah 119 ppm mendapatkan nilai penurunan 56 ppm, NO_x tertinggi 136 ppm mendapatkan nilai penurunan 65 ppm. Rpm 1800 beban 4000 diinjeksikan urea 1mL pada NO_x 119 ppm mendapatkan nilai penurunan 56 ppm, NO_x tertinggi 174 ppm mendapatkan nilai penurunan 85 ppm. Rpm 1800 beban 5000 diinjeksikan urea 2 mL pada NO_x terendah 136 ppm mendapatkan nilai penurunan 65 ppm, NO_x tertinggi 275 ppm mendapatkan nilai penurunan 112 ppm.

Kata Kunci : Arduino, Emisi NO_x, Penginjeksian Urea, Sensor MQ-135, Urea.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DESIGN OF EMISSION MICROCONTROLLER BASED CONTROL SYSTEM AS REDUCER OF NO_x ON DIESEL ENGINE EXHAUST

Name : Achmad Faroq
NRP : 0421154000055
Program Study : Bachelor Degree of Marine Engineering
Department : Marine Engineering
Faculty : Marine Technology
Supervisor : Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.
Juniarko Prananda, S.T., M.T.

Abstract

Oxides Nitrogen (NO_x) is an air pollutant that causes the acid and thinning layer of ozone to be used to protect the earth from sunlight. In places with high traffic density, such as in large cities, the amount of nitrogen oxide released into the air as additional air can increase significantly. NO_x gas is formed in all places where there is combustion - for example inside the engine. Therefore, a study was conducted which aimed to reduce NO_x emissions in diesel exhaust engines. The tool made in this study is the MQ-135 sensor for NO_x emission reading and automatic injection to inject urea on the exhaust which aims to reduce NO_x emissions according to IMO rules. In this study, the highest and lowest NO_x values were obtained after being injected with urea at RPM 1800 loads 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 as follows: Rpm 1800 load 1000 no urea injected because the NO_x value that exits still meets IMO requirements. 1800 Rpm load 2000 injected 1mL urea at the lowest NO_x 119 ppm get a decrease of 56 ppm, the highest NO_x 124 get a decrease of 59 ppm. Rpm 1800 load 3000 injected 1 mL of urea in the lowest NO_x 119 ppm get a decrease of 56 ppm, the highest NO_x 136 ppm get a decrease of 65 ppm. Rpm 1800 load 4000 injected 1mL urea at NO_x 119 ppm get a decrease of 56 ppm, the highest NO_x 174 ppm get a decrease of 85 ppm. Rpm 1800 load 5000 injected urea 2 mL at the lowest NO_x 136 ppm get a decrease of 65 ppm, the highest NO_x 275 ppm get a decrease of 112 ppm.

Keywords : Arduino, Emission NO_x, Injection of Urea, Sensor MQ-135, Urea.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunianya, sehingga saya dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul **“RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL EMISI GAS BUANG MESIN DIESEL UNTUK MENGURANGI NOX PADA EXHAUST BERBASIS MIKROKONTROLER”**

Dengan selesainya Skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak yang telah memberikan masukan-masukan dan memberikan dampingan kepada saya. Untuk itu saya mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Matluki dan Ibu Naimah Nur Habibah yang sudah memberikan dukungan penuh kepada penulis dalam bentuk semangat, moral, materi, finansial dan hal-hal lainnya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan lancar.
2. Semua saudara dari ayah dan saudara dari ibu penulis yang telah banyak memberikan semangat, dan bantuan finansial sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan lancar.
3. Bapak Dr. I. Made Ariana, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah membimbing penulis dan memotivasi untuk selesainya Skripsi.
4. Bapak Juniarko Prananda, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah membimbing penulis dan memotivasi untuk selesainya Skripsi.
5. Bapak Irfan Syarief Arief, S.T., M.T. selaku dosen wali penulis yang sudah membimbing selama proses kuliah di Departemen Teknik Sistem Perkapalan dari awal hingga akhir.
6. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah memberikan ilmu bermanfaat dan membagi pengalaman.
7. Teman saya Hilmi Amanullah dan Amal Mulya Setiawan yang bersedia meluangkan waktunya untuk berdiskusi perihal Skripsi.
8. Teman-teman geng ubur-ubur, Irwan, Merbi, Youri, Rijal, Ananta, Malik yang selalu membantu dan menghibur.
9. Teman-teman sesama member Lab. Marine Power Plant yang bersama-sama mengerjakan Skripsi dan suka dukanya.
10. Teman satu angkatan SALVAGE'15 yang sudah memberikan dukungan dan semangat tiada hentinya.
11. Teman-teman yang telah memberikan semangat dan dukungan tiada hentinya

Penulis

Achmad Faroq

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Daftar Isi

LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
Abstrak	ix
Abstract	xi
KATA PENGANTAR	xiii
Daftar Isi	xv
Daftar Gambar	xvii
Daftar Tabel	xx
Daftar Grafik	xxi
BAB I	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah	2
1.3 Batasan masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
BAB II	3
2.1 Emisi Gas Buang Mesin Diesel	3
2.2 Nitrogen Oksida (NO _x)	4
2.3 IMO Tier III	6
2.4 Regulasi Emisi NO _x	6
2.5 European Emission Standard	7
2.6 Arduino	9
2.6.1 Arduino Uno	9
2.6.2 Pin Masukan dan Keluaran Arduino Uno	10
2.6.3 Catu Daya	11
2.6.4 Memori	12

2.7 Sensor MQ-135.....	13
2.8 Relay.....	14
2.9 Pompa.....	14
2.10 Urea	15
BAB III	17
3.1 Skema Penelitian	17
3.2 Metodologi	18
BAB IV	23
4.1 Rangkaian Diagram Blok	23
4.2 Rangkaian Sensor	23
4.3 Rangkaian Penginjeksian	24
4.4 Desain Rancang Alat	25
4.4.1 Desain Box Urea	25
4.4.2 Desain Box Sensor	26
4.5 Skema Pengujian	26
4.5.1 Proses Kalibrasi	26
4.5.2 Pemrograman Alat Penyemprotan	27
4.5.3 Pengujian pada mesin diesel	28
4.6 Pemrograman Mikrokontroler Arduino	28
4.7 Pemrograman Penyemprotan Otomatis	29
4.8 Skematik Rangkaian Rancang Bangun	30
4.9 Pengujian Alat	32
4.9.1 Hasil Uji Coba pada Rpm 1800	33
4.9.2 Hasil Uji Coba pada Rpm 1900	38
BAB V	45
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47
Daftar Pustaka	49

Daftar gambar

Gambar 2. 1 Persamaan Reaksi Kimia NO _x	4
Gambar 2. 2 Grafik Batas Emisi oleh IMO	6
Gambar 2. 3 Arduino Uno	9
Gambar 2. 4 Kabel USB Arduino	13
Gambar 2. 5 Sensor MQ-135	13
Gambar 2. 6 Bentuk dan Symbol Relay	14
Gambar 2. 7 Pompa Motor DC	15
Gambar 2. 8 Reaksi Pembentukan Urea.....	16
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian.....	17
Gambar 3. 2 Modul Sensor MQ-135.....	18
Gambar 3. 3 Arduino Uno	19
Gambar 3. 4 Module Relay 12V	20
Gambar 3. 5 Pompa Sentrifugal	20
Gambar 4. 1 Diagram blok sistem kontrol emisi gas buang	23
Gambar 4. 2 Skema Rangkaian Sensor MQ-135.....	23
Gambar 4. 3 Wiring Sensor MQ-135.....	24
Gambar 4. 4 Wiring Pump.....	25
Gambar 4. 5 Box urea	25
Gambar 4. 6 Box sensor arduino	26
Gambar 4. 7 Program kalibrasi sensor MQ-135.....	27
Gambar 4. 8 Program alat penyemprotan.....	27
Gambar 4. 9 Program mikrokontroler arduino	29
Gambar 4. 10 Program alat penyemprotan otomatis dan pembacaan excel.....	30
Gambar 4. 11 Skematik Rangkaian Rancang Bangun.....	31

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Daftar Tabel

Tabel 2. 1 Standar Emisi Eropa untuk Kendaraan.....	4
Tabel 2. 2 Pengaruh Gas NOx terhadap kesehatan	5
Tabel 2. 3 Datasheet microcontroller Atmega328.....	8
Tabel 2. 4 Datasheet microcontroller Atmega328.....	10
Tabel 3. 1 Datasheet microcontroller Atmega328.....	10
Tabel 4. 1 Penjelasan pin dan port arduino	31
Tabel 4. 2 Hasil Uji Coba RPM 1800 beban 1000	33
Tabel 4. 3 Hasil Uji Coba RPM 1800 beban 2000	34
Tabel 4. 4 Hasil Uji Coba RPM 1800 beban 3000	35
Tabel 4. 5 Hasil Uji Coba RPM 1800 beban 4000	36
Tabel 4. 6 Hasil Uji Coba RPM 1800 beban 5000	37
Tabel 4. 7 Hasil Uji Coba RPM 1900 beban 1000	39
Tabel 4. 8 Hasil Uji Coba RPM 1900 beban 2000	40
Tabel 4. 9 Hasil Uji Coba RPM 1900 beban 3000	41
Tabel 4. 10 Hasil Uji Coba RPM 1900 beban 4000	42
Tabel 4. 11 Hasil Uji Coba RPM 1900 beban 5000	44

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Daftar Grafik

Grafik 4. 1 Emisi NO _x pada Rpm 1800 Beban 1000	33
Grafik 4. 2 Kadar NO _x sebelum dan sesudah diinjeksikan urea pada Rpm 1800 Beban 2000.....	34
Grafik 4. 3 Kadar NO _x sebelum dan sesudah diinjeksikan urea pada Rpm 1800 Beban 3000.....	35
Grafik 4. 4 Kadar NO _x sebelum dan sesudah diinjeksikan urea pada Rpm 1800 Beban 4000.....	36
Grafik 4. 5 Kadar NO _x sebelum dan sesudah diinjeksikan urea pada Rpm 1800 Beban 5000.....	38
Grafik 4. 6 Kadar NO _x sebelum dan sesudah diinjeksikan urea pada Rpm 1900 Beban 1000.....	39
Grafik 4. 7 Kadar NO _x sebelum dan sesudah diinjeksikan urea pada Rpm 1900 Beban 2000.....	40
Grafik 4. 8 Kadar NO _x sebelum dan sesudah diinjeksikan urea pada Rpm 1900 Beban 3000.....	41
Grafik 4. 9 Kadar NO _x sebelum dan sesudah diinjeksikan urea pada Rpm 1900 Beban 4000.....	43
Grafik 4. 10 Kadar NO _x sebelum dan sesudah diinjeksikan urea pada Rpm 1900 Beban 5000.....	44

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kerusakan lingkungan diakibatkan oleh berbagai faktor, antara lain oleh pencemaran. Pencemaran ada yang diakibatkan oleh alam, dan ada pula yang diakibatkan oleh perbuatan manusia. Pencemaran akibat alam antara lain letusan gunung berapi. Selain itu kegiatan manusia juga ikut andil dalam meningkatkan angka pencemaran udara akibat kegiatan industri yang masif dan penggunaan motor sebagai alat transportasi yang semakin meningkat. Kontribusi emisi gas buang kendaraan sebagai sumber polusi udara terbesar mencapai 60-70%, dibanding dengan industri yang hanya berkisar antara 10-15%. Sedangkan sisanya berasal dari rumah tangga, pembakaran sampah, kebakaran hutan/ladang dan lain-lain. Hal ini diakibatkan oleh laju pertumbuhan kendaraan yang tinggi. Sebagian besar kendaraan bermotor tersebut menghasilkan emisi gas buang yang buruk, baik akibat perawatan yang kurang memadai ataupun dari penggunaan bahan bakar dengan kualitas kurang baik. Sejalan dengan pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor, kontribusi gas buang kendaraan bermotor sebagai sumber polusi udara pada kota-kota besar juga telah meningkat.

Oksida Nitrogen (NO_x) adalah polutan udara yang menyebabkan terjadinya peristiwa hujan asam dan menipisnya ozon yang berfungsi melindungi bumi dari sinar matahari. Di tempat-tempat dengan kepadatan lalu lintas yang tinggi, seperti di kota-kota besar, jumlah nitrogen oksida yang dilepaskan ke udara sebagai polusi udara dapat meningkat signifikan. Gas NO_x terbentuk di semua tempat yang terdapat pembakaran - contohnya dalam mesin. Dalam Kimia atmosfer, sebutan NO_x artinya adalah total konsentrasi dari NO and NO₂. NO_x juga merupakan senyawa utama pembentuk ozon troposfer. Begitu berbahayanya akibat yang ditimbulkan oleh peningkatan konsentrasi senyawa polutan tersebut, sehingga diperlukan suatu langkah inovatif dalam menghadapi masalah ini. Salah satunya adalah dengan merancang alat untuk mengurangi emisi gas buang kendaraan agar dapat menjadi tolak ukur oleh pemerintah dalam membuat kebijakan dalam hal penanganan udara.

Oleh karena itu diciptakanlah alat yang dapat memonitoring kadar polutan tersebut secara terintegrasi, dan dirancang untuk bersifat portable sehingga mudah dan bisa diaplikasikan dimana saja. Dimana alat ini akan disusun menggunakan penambahan sensor pembaca NO_x yang akan disambungkan ke mikrokontroler Arduino. Pemilihan mikrokontroler Arduino didasarkan atas pertimbangan Arduino adalah mikrokontroler yang bersifat *open source* sehingga dapat diterapkan pada banyak aplikasi lainnya. Arduino akan mengirimkan nilai pembacaan sensor dari alat pembaca emisi untuk menyeleksi NO_x yang di keluarkan untuk mengurangi NO_x

yang dengan menyemprotkan urea secara otomatis. Dengan perancangan alat ini diharapkan pengukuran emisi gas buang kendaraan dapat dilakukan dengan mudah dan bisa mendapatkan emisi yang standart.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan yang telah dikemukakan diatas, maka akan terdapat beberapa rumusan masalah antara lain :

1. Bagaimana merancang sebuah sistem kontrol untuk mengurangi emisi gas buang konsentrasi NOx berbasis mikrokontroler Arduino?
2. Bagaimana performa system kontrol otomatis berbasis mikrokontroler Arduino yang telah dirancang?

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada proposal tugas akhir ini adalah :

1. Jenis mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler arduino
2. Pembuatan alat ini ditujukan untuk membaca gas NOx dari alat yang telah dirancang pada tugas akhir semester lalu dan dapat menyemrotkan urea berdasarkan hasil dari sistem monitoring emisi
3. Tidak menganalisa segi ekonomis

1.4. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Membangun dan merancang sebuah sistem kontrol untuk mengurangi emisi gas buang konsentrasi NOx berbasis mikrokontroler Arduino.
2. Menganalisa performa sistem kontrol berbasis mikrokontroler Arduino yang telah dirancang.

1.5. Manfaat

Adapun manfaat dalam penelitian ini adalah terciptanya sebuah alat kontrol otomatis menyemprotkan urea untuk mengurangi emisi gas buang NOx.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Emisi Gas Buang Mesin Diesel

Emisi gas buang adalah sisa hasil pembakaran bahan bakar di dalam mesin pembakaran yang dikeluarkan melalui sistem pembuangan mesin. Sisa hasil pembakaran berupa air (H₂O), gas CO atau disebut juga karbon monoksida yang beracun, CO₂ atau disebut juga karbon dioksida yang merupakan gas rumah kaca, HC berupa senyawa Hidrat arang, NO_x senyawa nitrogen oksida, sebagai akibat ketidak sempurnaan proses pembakaran serta partikel lepas.

Polusi kendaraan bermotor pada umumnya disebabkan terjadinya proses pembakaran yang tidak sempurna di dalam mesin, artinya tidak semua bahan bakar yang masuk ke dalam mesin terbakar habis atau masih ada bahan bakar yang tidak terbakar. Bahan bakar yang tidak terbakar ini keluar bersama gas buang melalui knalpot ke udara bebas. Gas yang tidak terbakar mengandung gas CO, Nox dan SO₂. Gas tersebut tidak baik untuk pernafasan karena beraacun dan berbahaya bagi manusia, hewan maupun tumbuh-tumbuhan. Proses pembakaran tidak sempurna pada mesin disebabkan kurang kontrolnya mesin terhadap perawatan berkala seperti tidak normalnya kerja busi, kotornya saringan udara, kualitas bensin yang tidak baik, system pengapiannya tidak baik dan sebagainya.

Dalam upaya mengurangi emisi, pada tahun 1992 Uni Eropa telah mengeluarkan peraturan yang mewajibkan penggunaan katalis untuk mobil berbahan-bakar bensin, yang kemudian disebut standar Euro-1. Sejak saat itu, lima set standar telah ditetapkan Uni Eropa dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas udara, yakni standar Euro-2 (1996), Euro-3 (2000), Euro-4 (2005), Euro-5 (2009), dan Euro-6 (2014). Standar emisi kendaraan bermotor di Eropa ini juga diadopsi oleh beberapa negara di dunia.

Di Indonesia, Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 20 Tahun 2017 resmi menerapkan standar emisi Euro-4 bagi kendaraan bermotor. KLHK pun kembali merilis jenis kendaraan tipe baru kategori M, N dan O sebagai tipe kendaraan yang wajib menerapkan standar emisi Euro-4 sesuai dengan aturan yang tertera dalam Peraturan menteri LHK tersebut.

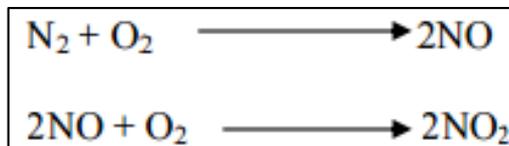
Table 2.1 Standar emisi eropa untuk kendaraan

History and levels of Euro Standards					
EURO STANDARDS	ENTRY INTO FORCE	EMISSION LIMITS			
		NEW CAR TYPES	ALL NEW CARS	PETROL NO _x	DIESEL NO _x
Euro 0	1 October 1991	1 October 1993	1000 mg/km	1600 mg/km	(no limit)
Euro 1	1 July 1992	31 December 1992	490 mg/km (-51%)	780 mg/km (-51%)	140 mg/km
Euro 2	1 January 1995	1 January 1997	250 mg/km (-75%)	730 mg/km (-54%)	100 mg/km (-29%)
Euro 3	1 January 2000	1 January 2001	150 mg/km (-85%)	500 mg/km (-69%)	50 mg/km (-64%)
Euro 4	1 January 2005	1 January 2005	80 mg/km (-92%)	250 mg/km (-84%)	25 mg/km (-82%)
Euro 5	1 September 2009	1 January 2011	60 mg/km (-94%)	180 mg/km (-89%)	5 mg/km (96%)
Euro 6	1 September 2014	1 September 2015	60 mg/km (-94%)	80 mg/km (-95%)	5 mg/km (96%)

Source: ACEA European Automobile Manufacturers' Association)

2.2. Nitrogen Oksida (NO_x)

Nitrogen oksida (NO_x) adalah salah satu jenis bahan pencemar udara, disamping bahan pencemar udara lain seperti debu, NH₃, Pb, CO, SO₂, hidrokarbon, H₂S, dan lain-lain, yang secara sendiri atau bersamaan memiliki potensi membahayakan kesehatan lingkungan dan masyarakat. Di dalam atmosfer, NO_x merupakan suatu kelompok gas yang terutama terdiri dari dua komponen utama yaitu gas nitrit oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO₂), serta oksida-oksida nitrogen lainnya yang sangat kecil jumlahnya. NO merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau, sebaliknya NO₂ berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam. Secara umum proses pembentukan gas NO_x ini mengikuti persamaan reaksi :



Gambar 2.1. Persamaan reaksi kimia NO_x

Pada suhu kamar, pembentukan NO yang dihasilkan dari reaksi antara gas oksigen dan gas nitrogen akan berlangsung sangat lambat. Berbeda dengan hal ini, pada temperatur diatas 1200°C, gas oksigen dan gas nitrogen akan bereaksi sangat cepat untuk menghasilkan nitrit oksida.

Konsentrasi NO_x di udara pada daerah perkotaan biasanya mencapai 0,5 ppm, atau 10-100 kali lebih tinggi daripada udara di daerah pedesaan.

Pencemaran NO_x di udara mempunyai dampak terhadap lingkungan, baik langsung maupun tidak langsung. Dampak langsung dari pencemaran udara ini adalah terjadinya hujan asam yang dapat menyebabkan berbagai kerugian dan kerusakan, baik pada tanaman, bangunan dan lain-lain. Disamping itu, polusi NO_x ini dapat berdampak terhadap kesehatan manusia, seperti bronkitis dan asma.

Diantara berbagai jenis oksida nitrogen yang ada di udara, nitrogen dioksida (NO₂) merupakan gas yang paling beracun. Karena larutan NO₂ dalam air yang lebih rendah dibandingkan dengan SO₂, maka NO₂ akan dapat menembus ke dalam saluran pernafasan lebih dalam. Bagian dari saluran yang pertama kali dipengaruhi adalah membran mukosa dan jaringan paru. Organ lain yang dapat dicapai oleh NO₂ dari paru adalah melalui aliran darah. Karena data epidemiologi tentang resiko pengaruh NO₂ terhadap kesehatan manusia sampai saat ini belum lengkap, maka evaluasinya banyak didasarkan pada hasil studi eksperimental. Berdasarkan studi menggunakan binatang percobaan, pengaruh yang membahayakan seperti misalnya meningkatnya kepekaan terhadap radang saluran pernafasan, dapat terjadi setelah mendapat pajanan sebesar 100 µg/m³. Percobaan pada manusia menyatakan bahwa kadar NO₂ sebesar 250 µg/m³ dan 500 µg/m³ dapat mengganggu fungsi saluran pernafasan pada penderita asma dan orang sehat.

Table 2.2 Pengaruh Gas NO_x terhadap kesehatan

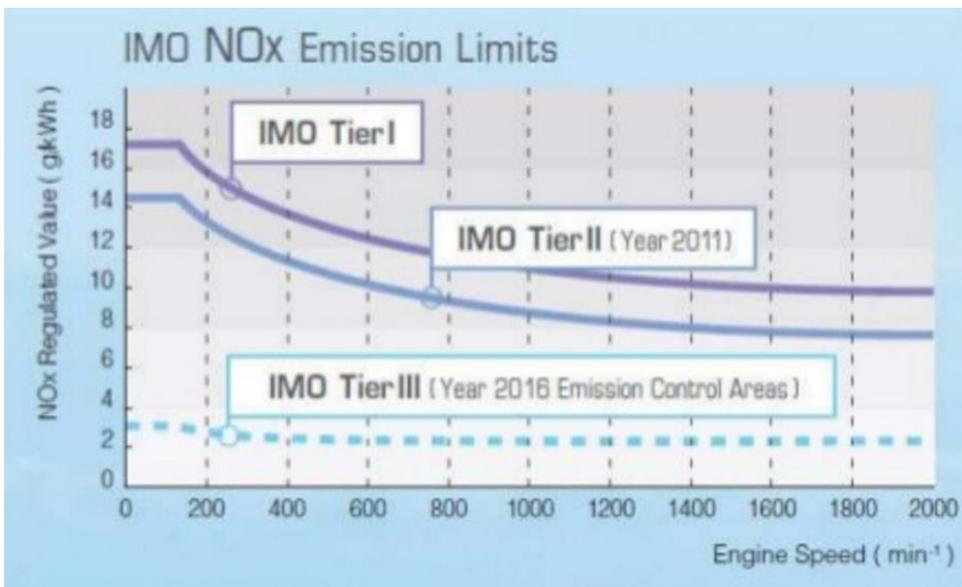
Efek	Konsentrasi NO ₂		Waktu terjadi efek
	mg/m ³	Ppm	
Batas timbul bau	0.23	0.12	Segera
Batas pada adaptasi gelap	0.14	0.075	Tidak dilaporkan
Peningkatan resisten pada udara bebas	0.5	0.26	Tidak dilaporkan
	1.3-3.8	0.7-2.0	20 menit
	3.0-3.8	1.6-2.0	15 menit
	2.8	1.5	45 menit
	3.8	2	45 menit
	5.6	3	45 menit
	7.5-9.4	4.0-5.0	40 menit
	11.3-75.2	5	15 menit
	7.5-9.4	6.0-40.0	5 menit
Penurunan kapasitas difusi paru-paru	7.5-9.4	4.0-5.0	15 menit

2.3. IMO Tier III

IMO (International Maritime Organization) didirikan tahun 1958 di Genewa merupakan sebuah lembaga internasional yang dinaungi oleh Persatuan Bangsa Bangsa (PBB), dibentuk dengan tujuan mengorganisasi permasalahan maritime secara global..

Salah satu peraturan dari IMO yang mengatur tentang polusi yang diakibatkan oleh kapal adalah MARPOL. Dalam regulasi MARPOL Annex VI, disebutkan batas kadar emisi beberapa jenis gas buang misalnya Nox, SOx dan Particulate Matter (PM) yang diakibatkan oleh gas buang pada mesin kapal.

2.4. Regulasi Emisi NOx



Gambar 2.2. Grafik batas emisi oleh IMO

Standar emisi yang diijinkan dalam IMO mengacu pada standar *Tier I*, *Tier II* dan *Tier III*. Adapun waktu penerapan regulasi di atas juga dilakukan secara bertahap mulai dari *Tier I* yang diterapkan pada tahun 2000. Untuk kadar emisi NOx maksimum yang diijinkan adalah 130 g/kWh apabila kecepatan putar motor bakar kurang dari 130 RPM.

Untuk kecepatan putar motor bakar antara 130 sampai dengan kurang dari 2000 RPM, maka kadar emisi NO_x maksimum yang diijinkan adalah $45 \times n^{(-0.2)}$. Sedangkan untuk kecepatan putar motor bakar lebih dari sama dengan 2000 RPM, maka kadar emisi NO_x maksimum yang diijinkan adalah 9.8 g/kWh. Berdasarkan table dan grafik di atas, maka untuk saat ini yang dijadikan acuan adalah Tier III untuk yang termasuk dalam Emission Control Area, sedangkan untuk yang tidak termasuk kedalamnya, masih menggunakan Tier II sebagai acuannya.

2.5. European Emission Standard

Standar Emisi Eropa mengatur batas-batas yg diperbolehkan dari kandungan gas buang kendaraan-kendaraan baru yg dijual di negara-negara European Union (EU) / Uni Eropa. Standar emisi itu diatur secara bertahap dan secara progressive diaplikasikan semakin ketat.

Pada saat ini kadar emisi yg diatur adalah Nitrogen Oxide (Nox), Total hydrocarbon (THC), Non-methane hydrocarbon (NMHC), carbon Monoxide (CO) dan partikel lainnya (PM) pada hampir semua jenis kendaraan, termasuk mobil, truk, kereta api, traktor (atau alat berat lainnya), tongkang, namun tidak termasuk didalamnya Kapal Laut (seagoing ship) dan pesawat udara.

Setiap jenis kendaraan berlaku standard yg berbeda. Apakah kendaraan memenuhi standard, ditentukan dengan menjalankan mesin dg urutan test yg telah diatur didalam EUS. Kendaraan yg tidak memenuhi persyaratan standard tidak boleh dijual di negara EU, tapi standard tersebut tidak berlaku pada kendaraan yg telah ada sebelum peraturan berlaku.

Tidak ada aturan khusus yg mengharuskan dipakainya sebuah teknologi yg spesifik untuk memenuhi EUS. Model kendaraan yg baru harus memenuhi standard yg sedang berlaku atau standard yg akan di berlakukan yang akan datang, namun model dengan revisi yg ber-lifecycle pendek juga diakomodasi ole EUS pada engine2 yg sebelumnya sudah comply dengan peraturan yg berlaku.

➤ Tahapan Pemberlakuan Aturan

Tahapan aplikasi dari pengaturan emisi gas buang biasanya dikenal sbb:

Untuk kendaraan ringan (Light Duty): EURO 1, EURO 2, EURO 3, EURO 4 dan EURO 5

Untuk kendaraan berat (Heavy Duty): EURO I, EURO II, EURO III, EURO IV dan EURO V

➤ Dasar Hukum dan Tahun Pemberlakuan

- Euro 1 (1992):
Kendaraan penumpang - 91/441/EEC.
Kendaraan penumpang and truk ringan - 93/59/EEC.
- Euro 2 (1996):
Kendaraan Penumpang - 94/12/EC (& 96/69/EC)
Sepeda motor - 2002/51/EC (row A) - 2006/120/EC
- Euro 3 (2000):
Semua jenis kendaraan - 98/69/EC
Sepeda Motor - 2002/51/EC (row B) - 2006/120/EC
- Euro 4 (2005):
Semua Jenis kendaraan - 98/69/EC (& 2002/80/EC)
- Euro 5 (2009) and Euro 6 (2014):
Kendaraan penumpang ringan dan kendaraan berat - 2007/715/EC.

Tabel 2.3. Ambang Batas Emisi “EURO” Untuk Diesel Engine

Introduction dates			Petrol				Petrol & Diesel
Euro Standard	New approvals	All new registration	NO _x (g/km)	Mass of particle (g/km)	No _x (g/km)	Mass of particles (g/km)	Number of ultra-fine particles per km
Euro 1	01 Juli 1992	31 Desember 1992	0.97	-	0.97	0.14	-
Euro 2	01 Januari 1996	01 Januari 1997	0.5	-	0.9	0.1	-
Euro 3	01 Januari 2000	01 Januari 2001	0.15	-	0.5	0.05	-
Euro 4	01 Januari 2005	01 Januari 2006	0.08	-	0.25	0.025	-
Euro 5	01 September 2009	01 Januari 2011	0.06	0.0045	0.18	0.0045	6 x 10 ¹¹
Euro 6	01 September 2014	01 September 2015	0.06	0.0045	0.08	0.0045	6 x 10 ¹¹

2.6. Arduino

Arduino adalah pengendali mikro single-board yang bersifat open-source, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Hardware dalam arduino memiliki prosesor Atmel AVR dan menggunakan software dan bahasa sendiri.

2.6.1. Arduino UNO

Arduino Uno adalah sebuah board yang menggunakan mikrokontroler ATmega328. Arduino Uno memiliki 14 pin digital (6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, sebuah 16 MHz osilator kristal, sebuah koneksi USB, sebuah konektor sumber tegangan, sebuah header ICSP, dan sebuah tombol reset. Arduino Uno memuat segala hal yang dibutuhkan untuk mendukung sebuah mikrokontroler. Hanya dengan menghubungkannya ke sebuah komputer melalui USB atau memberikan tegangan DC dari baterai atau adaptor AC ke DC sudah dapat membuatnya bekerja. Arduino Uno menggunakan ATmega16U2 yang diprogram sebagai USB to serial converter untuk komunikasi serial ke komputer melalui port USB. "Uno" berarti satu di Italia dan diberi nama untuk menandai peluncuran Arduino 1.0. Versi 1.0 menjadi versi referensi Arduino ke depannya. Arduino Uno R3 adalah revisi terbaru dari serangkaian board Arduino, dan model referensi untuk platform Arduino. Tampak atas dari arduino uno dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.3. Arduino Uno

Adapun data teknis board Arduino UNO R3 adalah sebagai berikut:

Tabel 2.4. Datasheet microcontroller Atmega328

Microcontroller Atmega328	
Tegangan Operasi	5V
Tegangan Input (recommended)	7-12V
Tegangan Input (limit)	6-20V
Pin digital I/O	14 (6 diantaranya pin PWM)
Pin Analog Input	6
Arus DC per pin I/O	40mA
Arus DC untuk pin 3.3V	150 mA
Flash Memory	32Kb dengan 0.5Kb untuk Bootloader
EEPROM	1Kb
Kecepatan perwaktu	16 Mhz

2.6.2 Pin Masukan dan Keluaran Arduino Uno

Masing-masing dari 14 pin digital arduino uno dapat digunakan sebagai masukan atau keluaran menggunakan fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()` dan `digitalRead()`. Setiap pin beroperasi pada tegangan 5 volt. Setiap pin mampu menerima atau menghasilkan arus maksimum sebesar 40 mA dan memiliki 10 resistor pull-up internal (diputus secara default) sebesar 20-30 KOhm. Sebagai tambahan, beberapa pin masukan digital memiliki kegunaan khusus yaitu:

- Komunikasi serial: pin 0 (RX) dan pin 1 (TX), digunakan untuk menerima (RX) dan mengirim (TX) data secara serial.
- External Interrupt: pin 2 dan pin 3, pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu sebuah interrupt pada nilai rendah, sisi naik atau turun, atau pada saat terjadi perubahan nilai.
- Pulse-width modulation (PWM): pin 3, 5, 6, 9, 10 dan 11, menyediakan keluaran PWM 8-bit dengan menggunakan fungsi `analogWrite()`.
- Serial Peripheral Interface (SPI): pin 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO) dan 13 (SCK), pin ini mendukung komunikasi SPI dengan menggunakan SPI library.
- LED: pin 13, terdapat built-in LED yang terhubung ke pin digital 13. Ketika pin bernilai High maka LED menyala, sebaliknya ketika pin bernilai Low maka LED akan padam.

Arduino Uno memiliki 6 masukan analog yang diberi label A0 sampai A5, setiap pin menyediakan resolusi sebanyak 10 bit (1024 nilai yang berbeda). Secara default pin mengukur nilai tegangan dari ground (0V) hingga 5V, walaupun begitu dimungkinkan untuk mengganti nilai batas atas dengan menggunakan pin AREF dan fungsi `analogReference()`. Sebagai tambahan beberapa pin masukan analog memiliki fungsi khusus yaitu pin A4 (SDA) dan pin A5 (SCL) yang digunakan untuk komunikasi Two Wire Interface (TWI) atau Inter Integrated Circuit (I2C) dengan menggunakan Wire library.

2.6.3. Catu Daya

Arduino uno dapat diberi daya melalui koneksi USB (Universal Serial Bus) atau melalui power supply eksternal. Jika arduino uno dihubungkan ke kedua sumber daya tersebut secara bersamaan maka arduino uno akan memilih salah satu sumber daya secara otomatis untuk digunakan. Power supply eksternal (yang bukan melalui USB) dapat berasal dari adaptor AC ke DC atau baterai. Adaptor dapat dihubungkan ke soket power pada arduino uno. Jika menggunakan baterai, ujung kabel yang dibubungkan ke baterai dimasukkan kedalam pin GND dan Vin yang berada pada konektor power. Arduino uno dapat beroperasi pada tegangan 6 sampai 20 volt. Jika arduino uno diberi tegangan di bawah 7 volt, maka pin 5V pada board arduino akan menyediakan tegangan di bawah 5 volt dan mengakibatkan arduino uno mungkin bekerja tidak stabil. Jika diberikan tegangan melebihi 12 volt, penstabil tegangan kemungkinan akan menjadi terlalu panas dan merusak arduino uno. Tegangan rekomendasi yang diberikan ke arduino uno berkisar antara 7-12 volt. Pin-pin catu daya adalah sebagai berikut:

- Vin adalah pin untuk mengalirkan sumber tegangan ke arduino uno ketika menggunakan sumber daya eksternal (selain dari koneksi USB atau sumber daya yang teregulasi lainnya). Sumber tegangan juga dapat disediakan melalui pin ini jika sumber daya yang digunakan untuk arduino uno dialirkan melalui soket power.
- 5V adalah pin yang menyediakan tegangan teregulasi sebesar 5 volt berasal dari regulator tegangan pada arduino uno.
- 3V3 adalah pin yang menyediakan tegangan teregulasi sebesar 3,3 volt berasal dari regulator tegangan pada arduino uno.
- GND adalah pin ground.

2.6.4. Memori

Arduino Uno adalah arduino board yang menggunakan mikrokontroler ATmega328. Maka peta memori arduino uno sama dengan peta memori pada mikrokontroler ATmega328. ATmega328 ini memiliki 32 KB dengan 0,5 KB digunakan untuk loading file. Ia juga memiliki 2 KB dari SRAM dan 1 KB dari EEPROM.

- Memori Data

Memori data ATmega328 terbagi menjadi 4 bagian, yaitu 32 lokasi untuk register umum, 64 lokasi untuk register I/O, 160 lokasi untuk register I/O tambahan dan sisanya 2048 lokasi untuk data SRAM internal. Register umum menempati alamat data terbawah, yaitu 0x0000 sampai 0x001F. Register I/O menempati 64 alamat berikutnya mulai dari 0x0020 hingga 0x005F. Register I/O tambahan menempati 160 alamat berikutnya mulai dari 0x0060 hingga 0x00FF. Sisa alamat berikutnya mulai dari 0x0100 hingga 0x08FF digunakan untuk SRAM internal.

- Memori Data EEPROM

Arduino uno terdiri dari 1 KByte memori data EEPROM. Pada memori EEPROM, data dapat ditulis/dibaca kembali dan ketika catu daya dimatikan, data terakhir yang ditulis pada memori EEPROM masih tersimpan pada memori ini, atau dengan kata lain memori EEPROM bersifat nonvolatile. Alamat EEPROM dimulai dari 0x000 hingga 0x3FF.

- Komunikasi

Arduino uno memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain atau mikrokontroler lain. ATmega328 ini menyediakan UART TTL (5V) komunikasi serial, yang tersedia pada pin digital 0 (RX) dan 1 (TX). Firmware Arduino menggunakan USB driver standar COM, dan tidak ada driver eksternal yang dibutuhkan. Namun pada sistem operasi Windows, format file Inf diperlukan. Perangkat lunak Arduino termasuk monitor serial yang memungkinkan data sederhana yang akan dikirim ke board Arduino. RX dan TX LED di board akan berkedip ketika data sedang dikirim melalui chip USB-to-serial dan koneksi USB ke komputer. ATmega328 ini juga mendukung komunikasi I2C (TWI) dan SPI. Fungsi ini digunakan untuk melakukan komunikasi interface pada sistem.



Gambar 2.4. Kabel USB Arduino Uno

2.7. Sensor MQ-135

Sensor gas MQ-135 ini digunakan untuk mengukur kualitas udara atau polusi udara menggunakan rangkaian mikrokontroler. Sensor MQ-135 ini sangat sensitif terhadap gas-gas polutan dan gas buang kendaraan bermotor. Material gas yang dideteksi oleh sensor gas MQ-135 adalah gas seperti SnO₂, Amonia, Uap Bensin, Sulfide, dan gas-gas berbahaya lainnya.



Gambar 2.5. Sensor MQ135

- Sensitivitas tinggi dengan area deteksi luas
- Long life
- Detection gas : Amonia, Benze Steam, Sulfide
- Concentration : 10 - 10000 ppm
- Loop Voltage (Vc) : <24V
- Heater Voltage (Vh) : 5V
- Load Resistance (RL): Adjustable
- Heater resistance (Rh) : 31 ohm
- Heater Consumption : <900mW
- Sensing resistance : 2K ohm - 20K ohm (pada 100ppm NH3)
- Slope : >=5
- Standard operating voltage : 5V
- Preheat time : >48 jam

2.8. Relay

Relay menggunakan Prinsip Elektromagnetik untuk menggerakkan Kontak Saklar sehingga dengan arus listrik yang kecil (low power) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi. Dibawah ini adalah gambar bentuk Relay dan Simbol Relay yang sering ditemukan di Rangkaian Elektronika. Sebagai komponen elektronika, relay mempunyai peran penting dalam sebuah sistem rangkaian elektronika dan rangkaian listrik untuk menggerakkan sebuah perangkat yang memerlukan arus besar tanpa terhubung langsung dengan perangkat pengendali yang mempunyai arus kecil. Dengan demikian relay dapat berfungsi sebagai pengaman. Relay terdiri dari 3 bagian utama, yaitu:

- Common, merupakan bagian yang tersambung dengan Normally Close (dalam keadaan normal).
- Koil (kumparan), merupakan komponen utama relay yang digunakan untuk menciptakan medan magnet.
- Kontak, yang terdapat adalah Normally Close dan Normally Open.



Gambar 2.6. Bentuk dan symbol Relay

2.9. Pompa

Pompa adalah suatu alat atau mesin yang digunakan untuk memindahkan cairan dari suatu tempat ke tempat yang lain melalui suatu media perpipaan dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan dan berlangsung secara terus menerus. Pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara bagian masuk (suction) dengan bagian keluar (discharge). Dengan kata lain, pompa berfungsi mengubah tenaga mekanis dari suatu sumber tenaga (penggerak) menjadi tenaga kinetis (kecepatan), dimana tenaga ini berguna untuk mengalirkan cairan dan mengatasi hambatan yang ada sepanjang pengaliran.

Pompa sentrifugal adalah memindahkan energi pada daun/kipas pompa dengan dasar pembelokan/pengubah aliran (fluid dynamics). Kapasitas yang di hasilkan oleh pompa sentrifugal adalah sebanding dengan putaran, sedangkan total head (tekanan) yang di hasilkan oleh pompa sentrifugal adalah sebanding dengan pangkat dua dari kecepatan putaran.



Gambar 2.7. Pompa motor Dc

2.10. Urea

Urea adalah suatu senyawa organik yang terdiri dari unsur karbon, hidrogen, oksigen dan nitrogen dengan rumus CON_2H_4 atau $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$. Urea juga dikenal dengan nama carbamide yang terutama digunakan di kawasan Eropa. Nama lain yang juga sering dipakai adalah carbamide resin, isourea, carbonyl diamide dan carbonyldiamine. (Utara, 2005)

Senyawa ini adalah senyawa organik sintesis pertama yang berhasil dibuat dari senyawa anorganik. Urea merupakan pupuk nitrogen yang paling mudah dipakai. Zat ini mengandung nitrogen paling tinggi (46%) di antara semua pupuk padat. Urea mudah dibuat menjadi pellet atau granul (butiran) dan mudah diangkut dalam bentuk curah maupun dalam kantong dan tidak mengandung bahaya ledakan. Zat ini mudah larut didalam air dan tidak mempunyai residu garam sesudah dipakai untuk tanaman. Kadang-kadang zat ini juga digunakan untuk pemberian makanan daun. Disamping penggunaannya sebagai pupuk, urea juga digunakan sebagai tambahan makanan protein untuk hewan pemamah

baik, juga dalam produksi melamin, dalam pembuatan resin, plastik, adhesif, bahan pelapis, bahan anti ciut, tekstil, dan resin perpindahan ion. Bahan ini merupakan bahan antara dalam pembuatan amonium sulfat, asam sulfanat, dan ftalosianina.

Urea ditemukan pertama kali oleh Roelle pada tahun 1773 dalam urine. Pembuatan urea dari amonia dan asam sianida untuk pertama kalinya ditemukan oleh F.Wohler pada tahun 1828 . Namun pada saat ini pembuatan urea pada umumnya menggunakan proses dehidrasi yang ditemukan oleh Bassarow pada tahun 1870. Proses ini mensintesis urea dari pemanasan amonium karbamat.

Prinsip pembuatan urea pada umumnya yaitu dengan mereaksikan antara amonia dan karbondioksida pada tekanan dan temperatur tinggi didalam reaktor kontinu untuk membentuk amonium karbamat (reaksi1) selanjutnya amonium karbamat yang terbentuk didehidrasi menjadi urea (reaksi 2).

Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Gambar 2.8. Reaksi pembentukan Urea

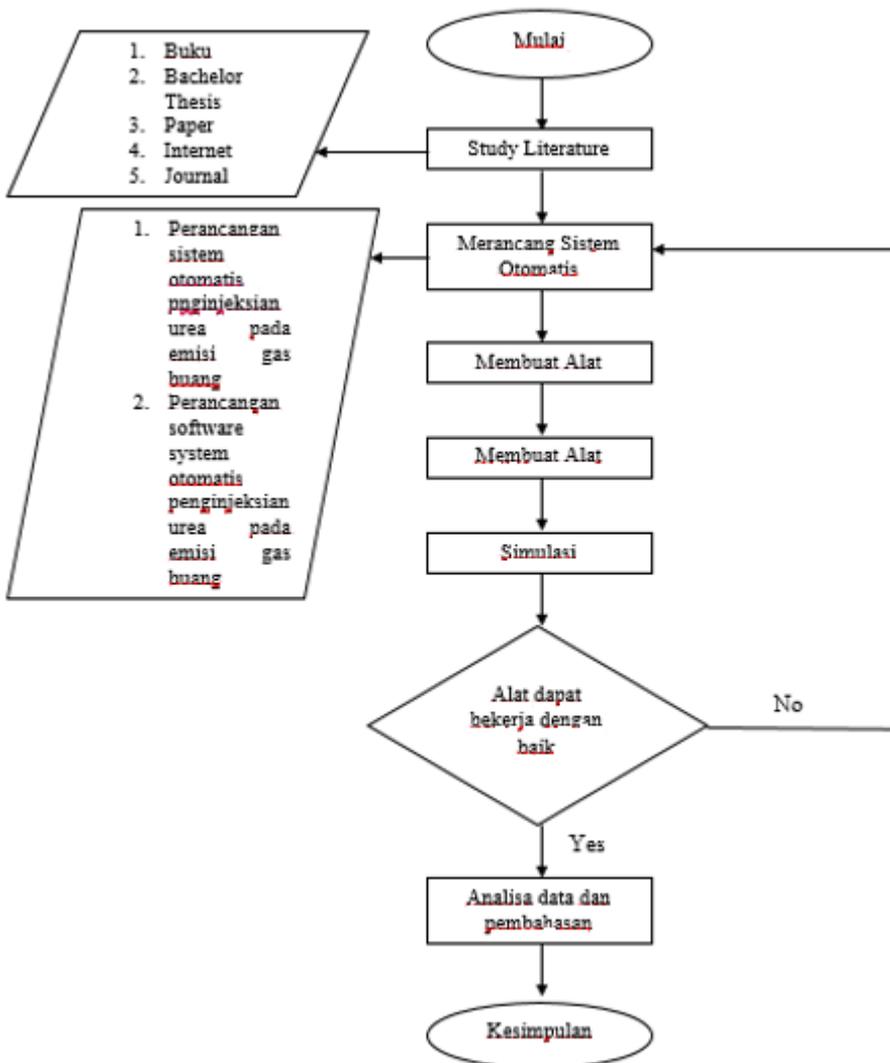
Sintesis urea dilakukan dengan amonia yang berlebih agar kesetimbangan dapat bergeser ke arah kanan sehingga dapat dihasilkan produk yang lebih banyak.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Skema Penelitian

Metode yang akan digunakan adalah penelitian berdasarkan sistem otomatis, yang akan dilakukan penelitian. Berikut adalah flowchart untuk penelitian ini:



Gambar 3.1. Flowchart Penelitian

3.2. Metodologi

Dengan ini diharapkan penulis dapat mengerjakan tugas akhir dengan metode yang tepat.

A. Studi Literatur

Studi literatur adalah tahap pengumpulan informasi dari beberapa referensi berupa buku atau hasil penelitian dengan judul yang berkaitan dengan :

1. Emisi gas buang mesin diesel
2. Sistem Mikrokontroller Arduino
3. Sensor gas NOx

B. Pengumpulan Data dan Pemilihan Komponen

Pada tahap ini akan dikumpulkan data-data yang diperlukan dalam pembuatan prototype, seperti data spesifikasi setiap komponen yang diperlukan. Sekaligus memilih komponen yang akan digunakan nantinya.

C. Perancangan pemodelan sistem otomatis penyemprotan urea pada emisi mesin diesel berbasis mikrokontroller Arduino.

Pada tahap ini akan dilakukan Perancangan Sistem otomatis penyemprotan urea pada emisi mesin diesel berbasis mikrokontroller, peralatan – peralatan yang harus terpasang pada alat ini adalah Sensor MQ-135, Arduino Uno, relay 12v, dan pompa.

- Sensor MQ-135

Sensor MQ-135 berkeja dengan cara mengirimkan sinyal ke arduino berdasarkan dari hasil gas yang terbaca, Kemudian lampu indicator akan menyala.

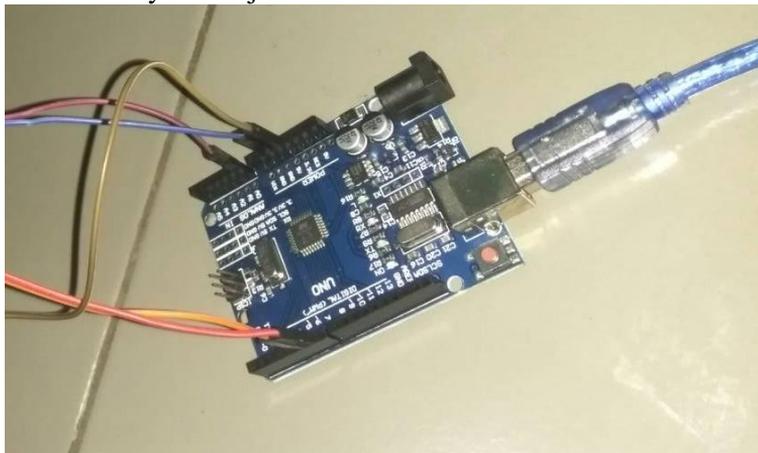


Gambar 3.2. Modul Sensor MQ-135

- Arduino Uno

Arduino merupakan komponen elektrik yang sudah lengkap untuk mengontrol alat – alat yang memiliki spesifikasi tidak terlalu tinggi. Arduino Uno adalah sebuah board yang menggunakan mikrokontroler ATmega328. Arduino Uno memiliki 14 pin digital (6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, sebuah 16 MHz osilator kristal, sebuah koneksi USB, sebuah konektor sumber tegangan, sebuah header ICSP, dan sebuah tombol reset. Arduino Uno memuat segala hal

yang dibutuhkan untuk mendukung sebuah mikrokontroler. Hanya dengan menghubungkannya ke sebuah komputer melalui USB atau memberikan tegangan DC dari baterai atau adaptor AC ke DC sudah dapat membuatnya bekerja.



Gambar 3.3. Arduino Uno

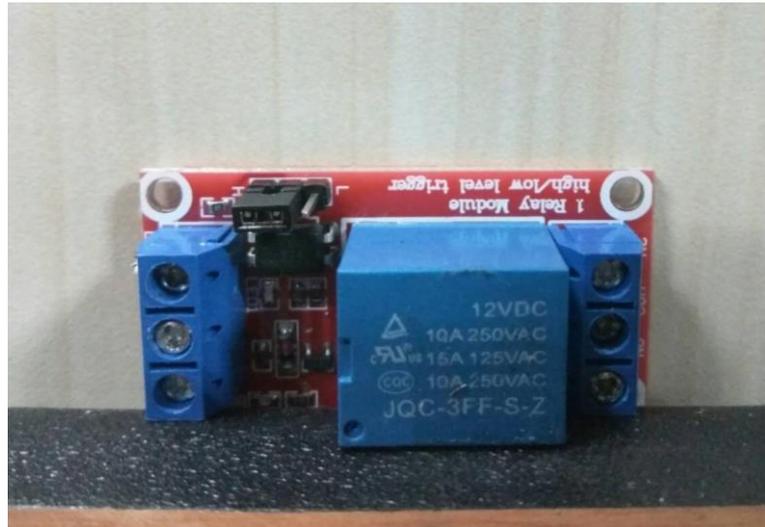
Tabel 3.1. Datasheet Microcontroller Atmega328

Microcontroller Atmega328	
Tegangan Operasi	5V
Tegangan Input (recommended)	7-12V
Tegangan Input (limit)	6-20V
Pin digital I/O	14 (6 diantaranya pin PWM)
Pin Analog Input	6
Arus DC per pin I/O	40mA
Arus DC untuk pin 3.3V	150 mA
Flash Memory	32Kb dengan 0.5Kb untuk Bootloader
EEPROM	1Kb
Kecepatan perwaktu	16 Mhz

- Relay 12V

Relay menggunakan Prinsip Elektromagnetik untuk menggerakkan Kontak Saklar sehingga dengan arus listrik yang kecil (low power) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi. Dibawah ini adalah gambar bentuk Relay dan Simbol Relay yang sering ditemukan di Rangkaian Elektronika. Sebagai komponen elektronika, relay mempunyai peran penting dalam sebuah sistem rangkaian elektronika

dan rangkaian listrik untuk menggerakkan sebuah perangkat yang memerlukan arus besar tanpa terhubung langsung dengan perangkat pengendali yang mempunyai arus kecil.



Gambar 3.4. modul relay 12V

- Pompa
 Pada penelitian ini menggunakan pompa sentrifugal. Pompa sentrifugal untuk memindahkan energi pada daun/kipas pompa dengan dasar pembelokan/pengubah aliran (fluid dynamics). Kapasitas yang di hasilkan oleh pompa sentrifugal adalah sebanding dengan putaran, sedangkan total head (tekanan) yang di hasilkan oleh pompa sentrifugal adalah sebanding dengan pangkat dua dari kecepatan putaran.



Gambar 3.5. Pompa Sentrifugal

D. Perancangan *Software* Mikrokontroler Arduino

Pada tahap ini akan dilakukan pembuatan code pada *arduino.ide* yang ingin digunakan dengan merujuk pada teori-teori dasar (*logic control*) serta acuan secara umum di proses simulasi input dan output mikrokontroler arduino.

E. Integrasi Sistem

Pada tahap ini dilakukan integritas antara hardware yang telah dirancang dengan software yang disiapkan. Perakitan komponen yang akan di pasang pada output dan input mikrokontroler arduino sesuai dengan “code” yang telah diinputkan pada software “arduino.ide”

F. Simulasi

Pada tahap ini akan dilakukan uji coba, apakah sistem ini mampu menyemprotkan otomatis gas urea sesuai yang diinginkan dengan pembuatan code yang telah diinputkan pada software “arduino.ide”. jika sistem tidak mampu menyemprotkan secara otomatis sesuai dengan yang diinginkan maka akan dilakukan analisa pembuatan code. Apakah ada kesalahan. Jika sistem ini telah mampu menyemprotkan urea secara otomatis maka akan dilakukan analisa dari pembahasan.

G. Penyusun Laporan.

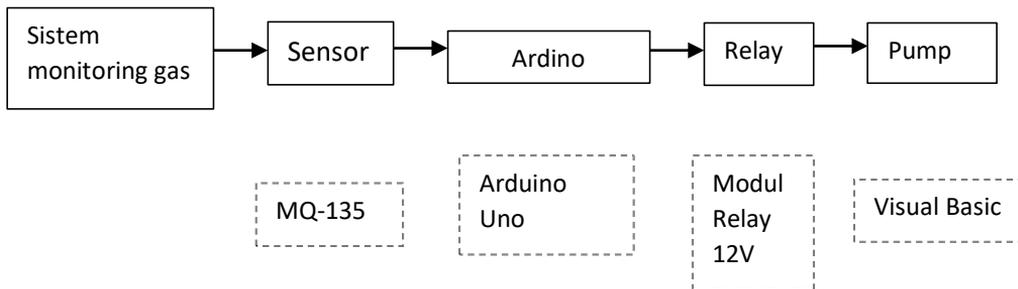
Tahap terakhir dari penulisan tugas akhir ini adalah penyusunan laporan yaitu melaksanakan pembukuan terhadap seluruh data dan pengolahan data dalam bentuk laporan. Pada penulisan laporan penulis membahas mengenai NOx sebelum di injeksikan urea dan penurunan NOx yang telah diinjeksikan urea, sehingga penulis dan pembaca mengetahui cara kerja dari alat ini, dan mengetahui NOx yang telah diinjeksikan urea.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Rangkaian Diagram Blok

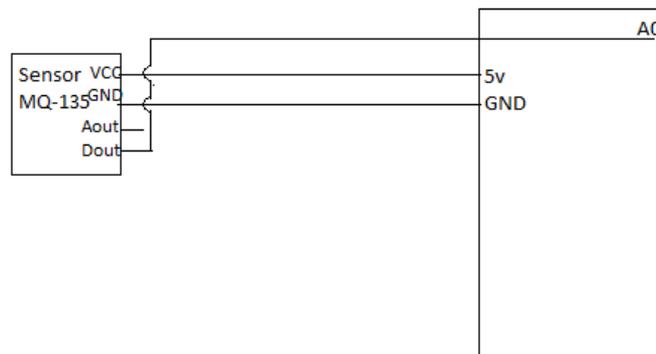


Gambar 4.1. Diagram blok sistem kontrol emisi gas buang

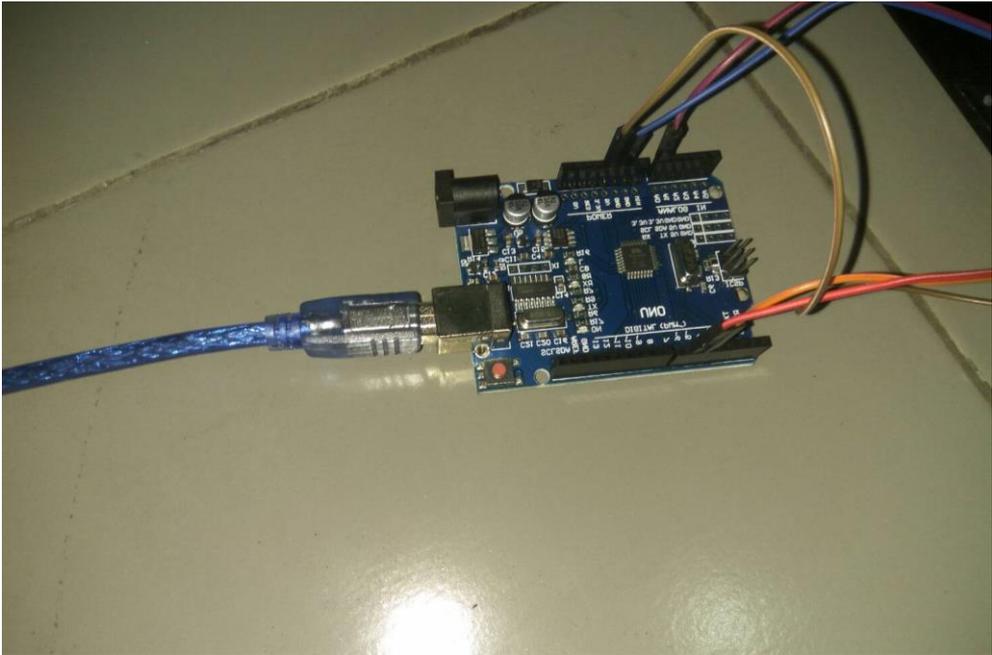
Gambar 4.1. diatas merupakan diagram blok sistem kontrol emisi gas buang NO_x menggunakan sensor MQ-135 yang di control oleh mikrokontroler Arduino Uno. Dalam perancangan mekanik terdiri dari beberapa komponen seperti Arduino dan Sensor. Dalam rancangan sistem control emisi gas Nitrogen Oksida (NO_x) dimana terdiri dari beberapa bagian penting yaitu sensor, arduino Uno, Relay 12 v dan Pump alat yang mengalirkan urea untuk diinjeksikan sebanyak yang telah dihitung dengan perbedaan pada ppm tertentu.

4.2. Rangkaian Sensor

Sensor MQ-135 digunakan untuk mendeteksi senyawa gas NO_x. Berikut adalah skematik rangkaian dari sensor MQ-135.



Gambar 4.2. Skema Rangkaian Sensor MQ-135

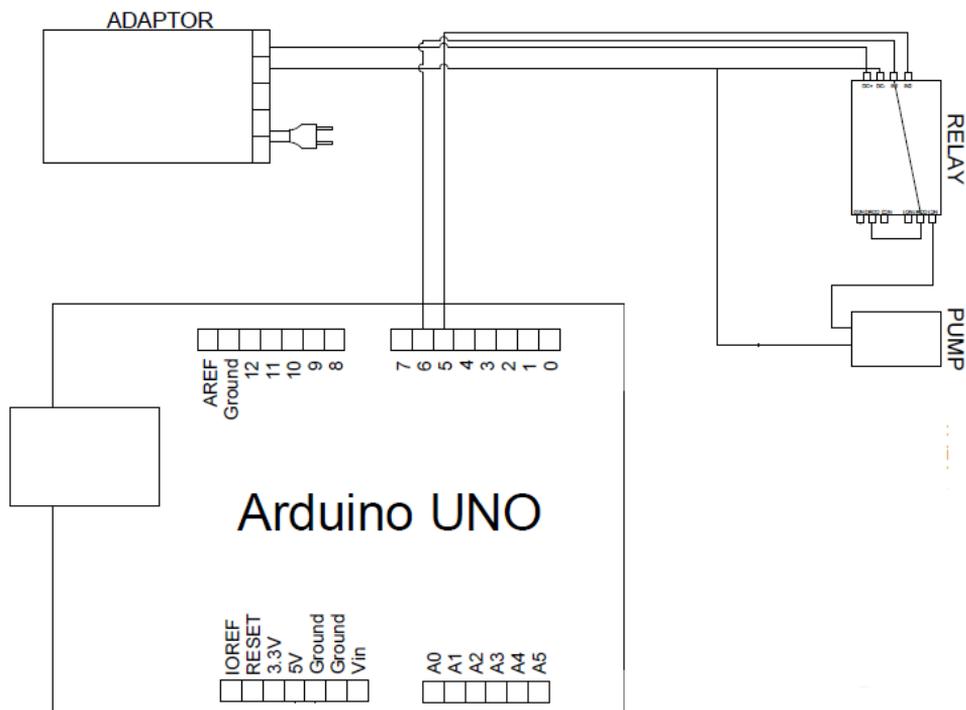


Gambar 4.3 Wiring Sensor MQ-135

Gambar 4.3. adalah kebutuhan untuk rangkaian sensor MQ-135 untuk dapat dioperasikan dengan benar. Dari gambar skematik diatas juga dapat dilihat bahwa sensor MQ-135 dihubungkan ke arduino Uno dengan memperhatikan konektor dari keduanya. Terdapat 3 pin yang dihubungkan ke arduino Uno yaitu : Pin VCC, GND dan Dout. Pin Dout dihubungkan ke kaki A0 sebagai output dari sensor MQ-135, Pin VCC dihubungkan ke kaki 5v sebagai arus, dan Pin GND dihubungkan ke GND sebagai Ground.

4.3. Rangkaian Penginjeksian

Rangkaian penginjeksian terdiri dari pompa motor DC dan valve untuk mengatur aliran urea seberapa banyak yang akan di semprotkan pada exhaust mesin diesel. Skematik rangkaian dari pompa motor DC dan valve pada mikrokontroler adalah sebagai berikut.



Gambar 4.4. Wiring Pump

4.4. Desain Rancang Alat

4.4.1. Desain Box Urea

Pembuatan Box alat penyemprotan digunakan untuk wadah sebagai tempat dari pompa dan tabung urea.



Gambar 4.5. Box urea

4.4.2. Desain Box Sensor

Pembuatan Box alat digunakan untuk tempat proses pembacaan sample gas buang mesin diesel.



Gambar 4.6. Box sensor arduino

4.5. Skema Pengujian

Pada tahap ini alat sudah dibuat dan diperlukan proses pengujian supaya mendapatkan nilai yang valid. Maka dari itu sebelum alat digunakan dalam pengujian pembacaan dan penyemprotan urea pada exhaust mesin diesel dapat dilakukan pengujian untuk mevalidasi hasil dari pembacaan oleh sensor MQ-135. Proses validasi dilakukan dengan cara pengkalibrasian terhadap sensor gas MQ-135 untuk dapat membaca NO_x sesuai dengan alat yang telah tervalidasi dan selanjutnya dapat di uji lagi untuk melihat tingkat ke validan dari hasil pembacaan sensor. Setelah sensor tervalidasi maka selanjutnya dapat di lakukan pengaturan untuk valve otomatisnya.

Tahapan pengujian alat pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

4.5.1. Proses kalibrasi

Sebuah alat ukur harus tervalidasi nilainya untuk menjadi acuan pengambilan data yang sangat penting. Didalam pembuatan alat ukur (sensor) hal pertama yang harus diperhatikan adalah cara untuk memvalidasi nilai output dari pembacaan alat terhadap suatu kadar gas. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan untuk memvalidasi alat ukur sehingga dapat membaca sesuai dengan standart ialah dengan mengkalibrasi sensor NO_x

yang saya buat dengan alat yang telah tervalidasi (alat dari LPPM ITS) sebagai pembanding dari sensor NOx yang saya buat.

```

}

void loop() {
  digitalWrite(6, HIGH);
  float MQ135_ADC; // mengubah nilai ADC menjadi volt
  float Rs_MQ135; // Mendapatkan nilai RS Sensor MQ135 dalam GAS
  float ratio_MQ135; // Mencari ratio RS_GAS/RS_air MQ135
  long RL_MQ135 = 1000; // nilai R pada modul MQ 135 = 1Kohm
  long Ro_MQ135 = 2030; // didapatkan dari hasil kalibrasi
  int MQ135Value = analogRead(A0); // membaca nilai ADC sensor MQ135
  MQ135_ADC = MQ135Value*5.0/1024; // mengubah nilai ADC menjadi volt
  Rs_MQ135 = (5.0*RL_MQ135/MQ135_ADC)-RL_MQ135; // omit *RL
  ratio_MQ135 = Rs_MQ135/Ro_MQ135; // ratio = RS/RO
  int ppmMQ135 = 162.14*pow(ratio_MQ135,-1.019); //kalibrasi dengan metode regresi terhadap alat LPPM
}

```

Gambar. 4.7. program kalibrasi sensor MQ-135

Setelah mendapatkan nilai Rs, kemudian menggunakan perbandingan Rs/Ro dimana Rs merupakan nilai yang didapat dari hasil pembacaan sensor MQ-135 dalam Gas. Ro merupakan nilai yang didapatkan dari hasil kalibrasi oleh alat yang telah divalidasi. Nilai Ro yang didapatkan untuk mencapai nilai sensor yang sama dengan alat yang tervalidasi adalah 2030, maka dengan rumus ppmMQ135 ($162.14 * (Rs/Ro)^{-1.019}$) alat yang saya buat telah mendapatkan nilai yang sama dengan alat yang menjadi pembanding.

4.5.2. Pemrograman Alat Penyemprotan

Setelah proses pemrograman kalibrasi sensor MQ-135 pada alat ini terselesaikan, selanjutnya perlu dilakukan pemrograman pada alat penyemprotan urea. Berikut adalah program yang saya buat pada penelitian ini untuk penyemprotan urea, supaya urea yang di injeksikan tidak kurang dan lebih dari yang telah di tentukan.

```

if(ppmMQ135 >117 && ppmMQ135 <=300)
{
  digitalWrite(6, HIGH);
}
else
{
  digitalWrite(6, LOW);
}

```

Gambar. 4.8. program alat penyemprotan

Jika ppm yang terdeteksi diatas 280 sampai sama dengan 330 maka pin nomor 5 yaitu relay 2 akan menyala sehingga valve akan terbuka dan menginjeksikan sesuai urea sesuai yang telah di tentukan begitupun dengan program untuk ppm yang lainnya.

4.5.3. Pengujian pada mesin Diesel

Setelah alat di program dan telah dikalibrasi, kemudian alat dapat digunakan pada pengujian monitoring dan penginjeksian urea pada mesin diesel. Pengujian dilakukan dengan cara pengambilan data pada mesin diesel RPM 1800 beban 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, dan pada RPM 1900 beban 1000, 2000, 3000, 4000, dan 5000.

4.6. Pemrograman Mikrokontroller Arduino

Berikut listing program yang dimasukkan pada mikrokontroller Arduino untuk melakukan proses monitoring menggunakan sensor MQ-135. Di listing program ini juga dimasukkan program supaya Arduino melakukan proses pengiriman data ke relay untuk menghidupkan pompa.

Pada listing program ini, yang pertama dilakukan adalah melakukan proses update library arduino dengan library sensor ataupun device yang akan digunakan. Untuk setiap input sensor dihubungkan dengan pin analog yang berbeda pada Arduino.

```

#include "max6675.h"
int Ro_MQ135 = 0;
int NOxPin = A0; // Set MQ135
float NOxValue; // Set MQ135
int relay1 = 6;
int relay2 = 5;
int count=0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("CLEARDATA");// Komunikasi Excel
  Serial.println("LABEL,Waktu,NOx,");// Komunikasi Excel
  Serial.println("RESETTIMER");
  pinMode(NOxPin , INPUT);
  pinMode(relay1, OUTPUT);
  pinMode(relay2, OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(6, HIGH);
  float MQ135_ADC; // mengubah nilai ADC menjadi volt
  float Rs_MQ135; // Mendapatkan nilai RS Sensor MQ135 dalam GAS
  float ratio_MQ135; // Mencari ratio RS_GAS/RS_air MQ135
  long RL_MQ135 = 1000; // nilai R pada modul MQ 135 = 1Kohm
  long Ro_MQ135 = 2030; // didapatkan dari hasil kalibrasi
  int MQ135Value = analogRead(A0); // membaca nilai ADC sensor MQ135
  MQ135_ADC = MQ135Value*5.0/1024; // mengubah nilai ADC menjadi volt
  Rs_MQ135 = (5.0*RL_MQ135/MQ135_ADC)-RL_MQ135; // omit *RL
  ratio_MQ135 = Rs_MQ135/Ro_MQ135; // ratio = RS/RO
  int ppmMQ135 = 162.14*pow(ratio_MQ135,-1.019); //kalibrasi dengan metode regresi terhadap alat LPPM

```

Gambar. 4.9. Program mikrokontroler arduino

4.7. Pemrograman Penyemprotan Otomatis

Setelah sensor MQ-135 terangkai dan terkalibrasi dengan baik menggunakan alat dari LPPM yang telah tersertifikasi alatnya, kemudian sensor MQ-135 dapat di uji coba untuk mengatur keluaran urea pada pompa menggunakan program untuk mengatur bukaan Valve. Dikarenakan NOx adalah kelompok gas nitrogen yang terdapat di atmosfer yang terdiri dari nitrogen monoksida (NO) dan Nitrogen Oksida (NO₂) sebagai gas yang mencemari udara. Maka dari itu urea yang di semprotkan tidak boleh kurang supaya NOx yang keluar dari exhaust mesin diesel dapat di kurangi seoptimal mungkin dengan cara mengatur bukaan valve pada alat yang saya buat.

Berikut adalah tampilan program yang telah disusun :

```

if(ppmMQ135 >117 && ppmMQ135 <=300)
{
    digitalWrite(6, HIGH);
}
else
{
    digitalWrite(6, LOW);
}

|
{
Serial.print("DATA,TIMER,");
Serial.println(ppmMQ135);
}
delay(1000);
count++;
if(count==8)
{
count=0;
}

Serial.print (MQ135Value);

Serial.println ( );
}

```

Gambar. 4.10. Program alat penyemprotan otomatis dan pembacaan excel

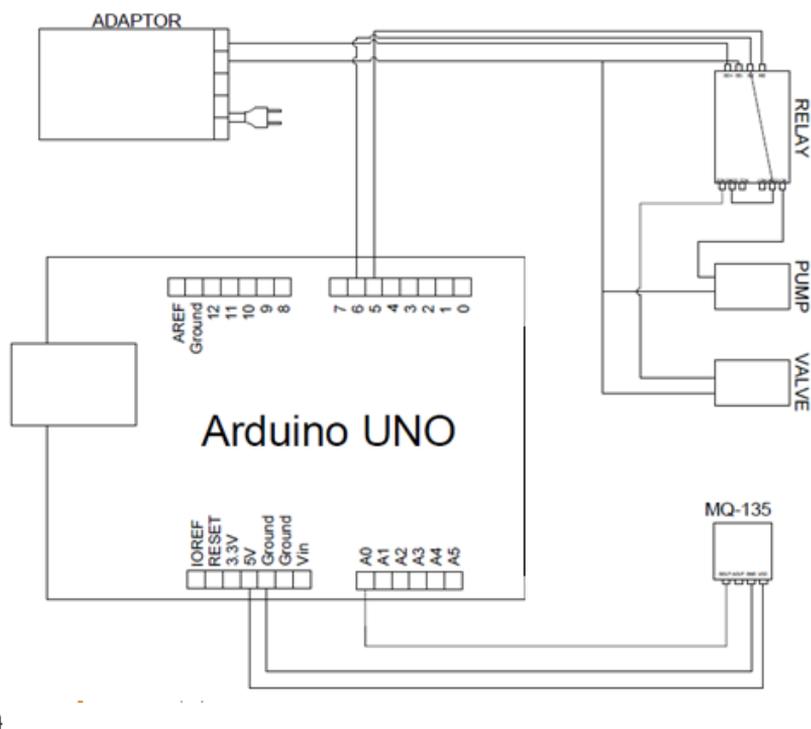
Pompa urea di setting dalam keadaan menyala terus menerus yang ada pada relay 1 dan ketika Arduino mengirimkan ppm yang di baca melebihi batas yang telah ditentukan pada relay 2, maka relay 2 akan menyala dan mengirimkan data untuk membuka valve guna menyemprotkan urea sebanyak kebutuhan yang telah di tentukan.

4.8. Skematik Rangkaian Rancang Bangun

Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi dan mengurangi NOx dengan menyemprotkan urea dengan pembacaan mulai dari 0 ppm sampai dengan 10000 ppm kandungan gas NOx dengan menggunakan sensor MQ-135 untuk mendeteksi NOx yang di keluarkan oleh exhaust mesin diesel dan mengirimkan

sinyal untuk bukakan valve sehingga pompa dapat menyemprotkan urea sesuai dengan kebutuhan dari NOx yang keluar.

Berikut adalah skematik rangkaian keseluruhan sistem rancang bangun sistem kontrol emisi gas buang mesin diesel untuk mengurangi emisi NOx pada exhaust dengan menggunakan sensor MQ-135, mikrokontroler Arduino UNO, Valve otomatis.



Gambar 4.11 Skematik Rangkaian Rancang Bangun

Pada gambar 4.11 untuk pembagian port pada mikrokontroler Arduino UNO adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Penjelasan pin dan port arduino

Pin Komponen	Port Arduino UNO
Data Analog MQ-135	Port Analog 0
Suplai Tegangan Valve	Port Analog 5

Pin Komponen	Port Arduino UNO
Suplay Tegangan Pump	Port Analog 6
Ground sensor	Port Ground
Suplai Tegangan Sensor	Port 5V

4.9. Pengujian Alat

Setelah alat ukur dan alat injeksi yang terdiri dari Sensor NOx, Pump, dan Valve sudah terangkai dan terkalibrasi dengan baik dan benar, kemudian alat ukur dan alat injeksi di uji coba ke mesin diesel untuk melihat hasil yang di dapat setelah di injeksikan urea. Dari pembacaan sensor yang telah dibuat pada penelitian ini digunakan untuk mendeteksi NOx yang di keluarkan oleh exhaust setelah di injeksikan urea dan sensor yang telah dibuat pada penelitian tahun lalu digunakan untuk mendeteksi NOx yang di keluarkan oleh exhaust mesin diesel sebelum di injeksikan urea.

Analisis hasil penurunan NOx setelah di semprotkan urea pada exhaust mesin diesel merupakan perbandingan grafik. Tahap pertama untuk membuat sebuah grafik adalah dengan mendapatkan nilai dari NOx sebelum di semprotkan dengan urea untuk menentukan urea yang harus di injeksikan pada exhaust, setelah didapatkan data dari beberapa RPM maka dapat di tentukan penginjeksiannya untuk mengurangi NOx.

Pada analisa ini penurunan NOx di ukur dengan melihat seberapa banyak penurunan NOx setelah diinjeksikan urea atau selisih nilai yang di keluarkan oleh alat saat exhaust di injeksikan urea dan tidak di injeksikan urea. Selisih hasil pembacaan disajikan dalam bentuk seberapa besar penurunan NOx yang terjadi setelah di injeksikan urea.

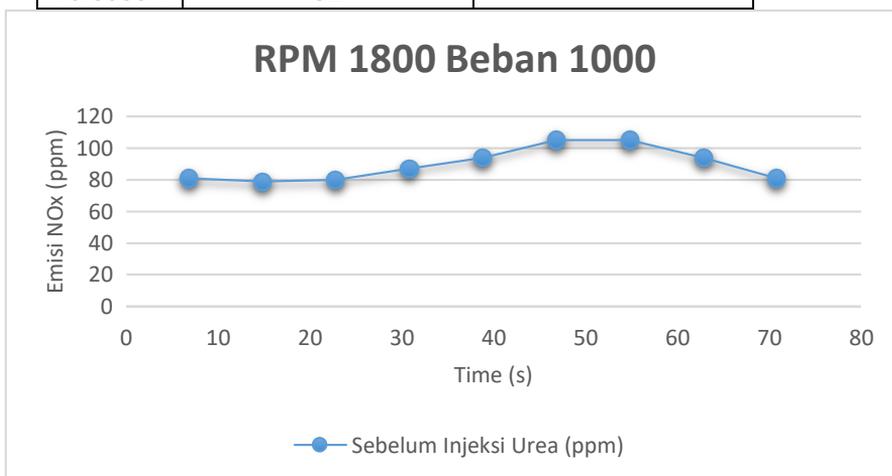
Penelitian yang digunakan menggunakan variabel RPM dan Beban yang telah ditentukan yaitu pada RPM 1800 Beban 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 dan RPM 1900 Beban 1000, 2000, 3000, 4000, 5000.

4.9.1. Hasil Uji Coba pada RPM 1800

Berikut adalah hasil dari uji coba penginjeksian urea pada RPM 1800 Beban 1000, 2000, 3000, 4000, dan 5000.

Tabel 4.2. Hasil Uji Coba RPM 1800 beban 1000

RPM 1800 beban 1000		
Waktu (s)	Sebelum Injeksi Urea (ppm)	Setelah Injeksi Urea (ppm)
6.789063	81	-
14.79688	79	-
22.79688	80	-
30.80469	87	-
38.8125	94	-
46.81641	105	-
54.82031	105	-
62.82813	94	-
70.83594	81	-



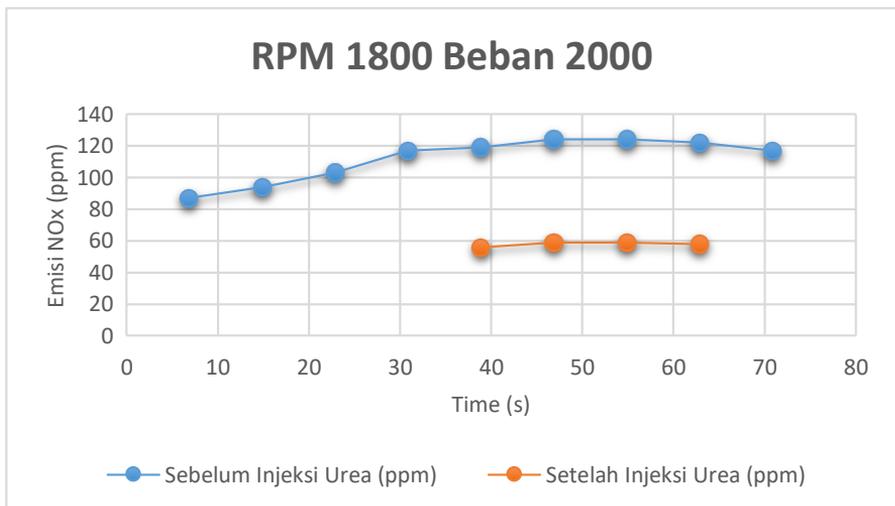
Grafik 4.1. Emisi NOx pada Rpm 1800 Beban 1000

Pada grafik 4.1. menunjukkan grafik NOx sebelum di injeksikan dengan urea. NOx tertinggi pada Rpm 1800 beban 1000 Watt adalah 105 PPM maka tidak ada urea yang diinjeksikan secara konstan karena pada RPM 1800 beban 1000 Watt emisi NOx yang terbaca tidak melebihi batas yang di tentukan oleh IMO, dimana Emisi NOx yang di tentukan oleh IMO pada RPM 1800 adalah tidak lebih dari 2 g/Kwh. Nilai 2 g/Kwh jika dioperasikan pada mesin diesel RPM 1800 adalah 117 ppm.

Pada RPM 1800 beban 1000 Watt Pembacaan sensor yang diambil dapat dilakukan setelah nilai yang di baca telah konstan yaitu pada detik ke 46 karena sensor NOx membutuhkan waktu untuk membaca PPM hingga konstan.

Tabel 4.3. Hasil Uji Coba RPM 1800 beban 2000

RPM 1800 beban 2000		
Waktu (s)	Sebelum Injeksi Urea (ppm)	Setelah Injeksi Urea (ppm)
6.835938	87	-
14.83984	94	-
22.84766	103	-
30.85547	117	-
38.85938	119	56
46.86719	124	59
54.87109	124	59
62.87891	122	58
70.88281	117	-



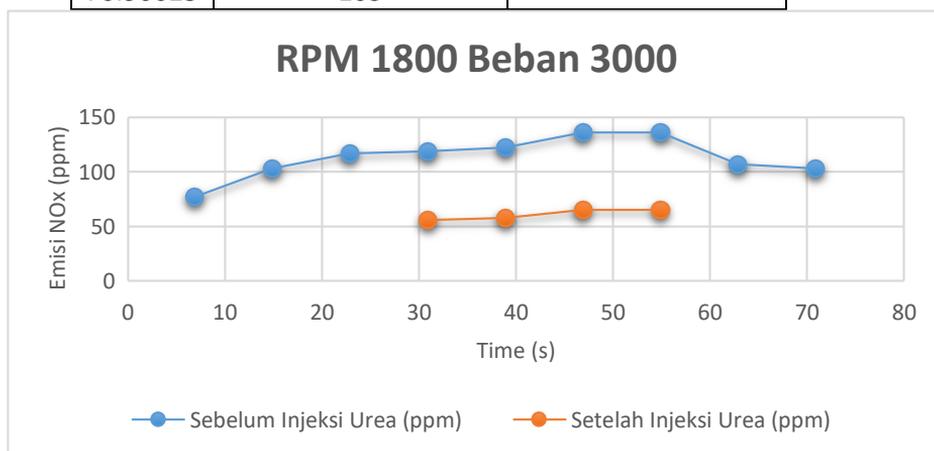
Grafik 4.2. Kadar NOx sebelum dan sesudah diinjeksikan urea pada Rpm 1800 Beban 2000

Grafik 4.2. menunjukkan grafik NOx sebelum di injeksikan dengan urea. NOx tertinggi pada Rpm 1800 beban 2000 Watt adalah 124 ppm, maka urea yang diinjeksikan secara konstan sebanyak 1 mL pada NOx 119 ppm, 124 ppm, dan 122 ppm untuk mendapatkan emisi sesuai

standard yang ditentukan IMO. Karena pada hasil tersebut emisi NO_x yang terbaca melebihi batas yang di tentukan oleh IMO, dimana Emisi NO_x yang di tentukan oleh IMO pada Rpm 1800 adalah tidak lebih dari 2 g/Kwh. Nilai 2 g/Kwh jika dioperasikan pada mesin diesel RPM 1800 adalah 117 ppm. Apabila NO_x yang terbaca kurang dari 117 PPM maka Pump akan mati secara otomatis karena NO_x tidak melebihi batas yang di tentukan. Pada Rpm 1800 beban 2000 Watt Pembacaan sensor yang diambil dapat dilakukan setelah nilai yang di baca telah konstan yaitu pada detik ke 46 karena sensor NO_x membutuhkan waktu untuk membaca ppm hingga konstan.

Tabel 4.4. Hasil Uji Coba RPM 1800 beban 3000

RPM 1800 beban 3000		
Waktu (s)	Sebelum Injeksi Urea (ppm)	Setelah Injeksi Urea (ppm)
6.859375	77	-
14.86328	103	-
22.87109	117	-
30.875	119	56
38.88281	122	58
46.89063	136	65
54.89453	136	65
62.90234	107	-
70.90625	103	-

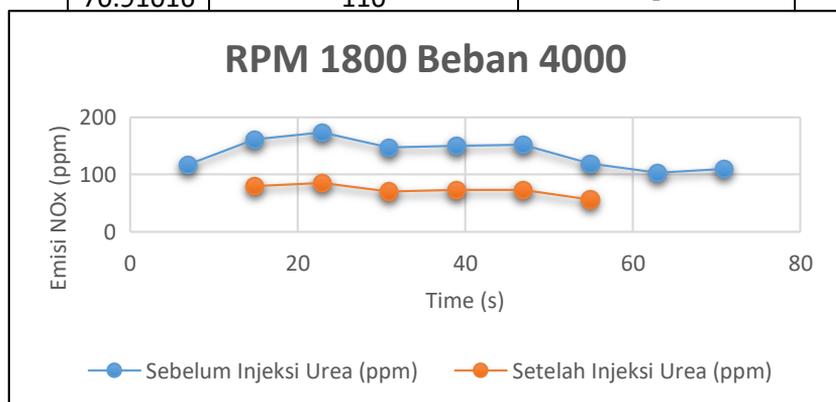


Grafik 4.3. Kadar NO_x sebelum dan sesudah diinjeksikan urea pada Rpm 1800 Beban 3000

Grafik 4.3. menunjukkan grafik NOx sebelum diinjeksikan dengan urea. NOx tertinggi pada Rpm 1800 beban 3000 Watt adalah 136 ppm, maka urea yang diinjeksikan secara konstan sebanyak 1 mL pada NOx 119 ppm, 122 ppm, dan 136 ppm untuk mendapatkan emisi sesuai standard yang ditentukan IMO. Karena pada hasil tersebut emisi NOx yang terbaca melebihi batas yang di tentukan oleh IMO, dimana Emisi NOx yang di tentukan oleh IMO pada Rpm 1800 adalah tidak lebih dari 2 g/Kwh. Nilai 2 g/Kwh jika dioperasikan pada mesin diesel RPM 1800 adalah 117 ppm. Apabila NOx yang terbaca kurang dari 117 PPM maka Pump akan mati secara otomatis karena NOx tidak melebihi batas yang di tentukan. Pada Rpm 1800 beban 3000 Watt Pembacaan sensor yang diambil dapat dilakukan setelah nilai yang di baca telah konstan yaitu pada detik ke 46 karena sensor NOx membutuhkan waktu untuk membaca ppm hingga konstan.

Tabel 4.5. Hasil Uji Coba RPM 1800 beban 4000

RPM 1800 beban 4000		
Waktu (s)	Sebelum Injeksi Urea (ppm)	Setelah Injeksi Urea (ppm)
6.859375	117	-
14.86719	161	80
22.875	174	85
30.875	147	70
38.93359	150	73
46.89063	152	73
54.89453	119	56
62.90234	103	-
70.91016	110	-

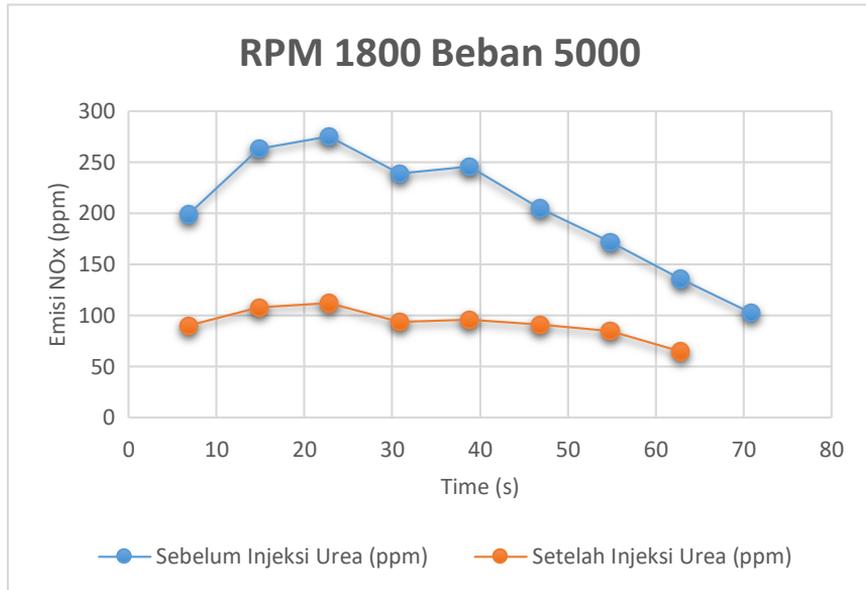


Grafik 4.4. Kadar NOx sebelum dan sesudah diinjeksikan urea pada Rpm 1800 Beban 4000

Grafik 4.4. menunjukkan grafik NOx sebelum di injeksikan dengan urea. NOx tertinggi pada Rpm 1800 beban 4000 Watt adalah 174 ppm, maka urea yang diinjeksikan secara konstan sebanyak 1 mL pada NOx 119 ppm, 147 ppm, 150 ppm, 152 ppm, 161 ppm dan 174 ppm untuk mendapatkan emisi sesuai standard yang ditentukan IMO. Karena pada hasil tersebut emisi NOx yang terbaca melebihi batas yang di tentukan oleh IMO, dimana Emisi NOx yang di tentukan oleh IMO pada Rpm 1800 adalah tidak lebih dari 2 g/Kwh. Nilai 2 g/Kwh jika dioperasikan pada mesin diesel RPM 1800 adalah 117 ppm. Apabila NOx yang terbaca kurang dari 117 PPM maka Pump akan mati secara otomatis karena NOx tidak melebihi batas yang di tentukan. Pada Rpm 1800 beban 4000 Watt Pembacaan sensor yang diambil dapat dilakukan setelah nilai yang di baca telah konstan yaitu pada detik ke 30 karena sensor NOx membutuhkan waktu untuk membaca ppm hingga konstan.

Tabel 4.6. Hasil Uji Coba RPM 1800 beban 5000

RPM 1800 beban 5000		
Waktu (s)	Sebelum Injeksi Urea (ppm)	Setelah Injeksi Urea (ppm)
6.796875	199	90
14.80078	263	108
22.80469	275	112
30.8125	239	94
38.81641	246	96
46.82422	205	91
54.82813	172	85
62.83594	136	65
70.83984	103	-



Grafik 4.5. Kadar NOx sebelum dan sesudah diinjeksikan urea pada Rpm 1800 Beban 5000

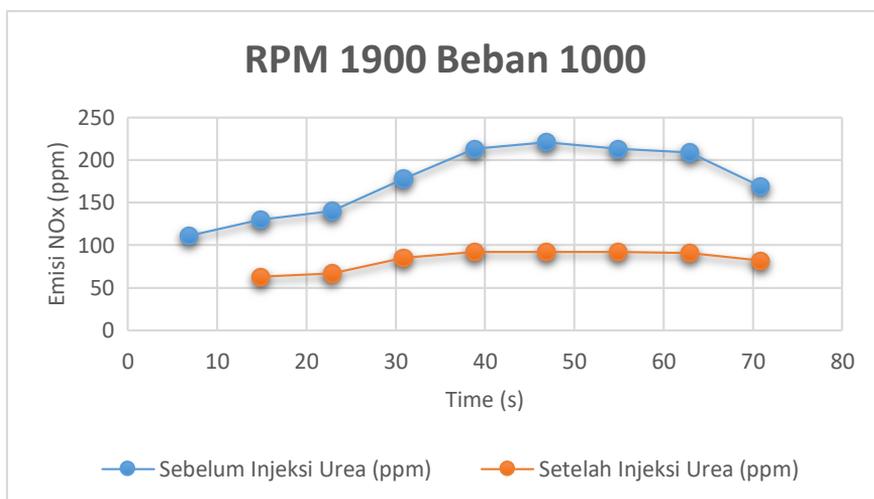
Grafik 4.5. menunjukkan grafik NOx sebelum di injeksikan dengan urea. NOx tertinggi pada Rpm 1800 beban 5000 Watt adalah 275 ppm, maka urea yang diinjeksikan secara konstan sebanyak 2 mL pada NOx 136 ppm, 172 ppm, 199 ppm, dan 205 ppm. 3mL pada NOx 239 ppm, 246 ppm, 263 ppm, dan 275 ppm untuk mendapatkan emisi sesuai standard yang ditentukan IMO. Karena pada hasil tersebut emisi NOx yang terbaca melebihi batas yang di tentukan oleh IMO, dimana Emisi NOx yang di tentukan oleh IMO pada Rpm 1800 adalah tidak lebih dari 2 g/Kwh. Nilai 2 g/Kwh jika dioperasikan pada mesin diesel RPM 1800 adalah 117 ppm. Apabila NOx yang terbaca kurang dari 117 PPM maka Pump akan mati secara otomatis karena NOx tidak melebihi batas yang di tentukan. Pada Rpm 1800 beban 5000 Watt Pembacaan sensor yang diambil dapat dilakukan setelah nilai yang di baca telah konstan yaitu pada detik ke 30 karena sensor NOx membutuhkan waktu untuk membaca ppm hingga konstan.

4.9.2. Hasil Uji Coba pada RPM 1900

Berikut adalah hasil dari uji coba penginjeksian urea pada RPM 1900 Beban 1000, 2000, 3000, 4000, dan 5000.

Tabel 4.7. Hasil Uji Coba RPM 1900 beban 1000

RPM 1900 beban 1000		
Waktu (s)	Sebelum Injeksi Urea (ppm)	Setelah Injeksi Urea (ppm)
6.828125	111	-
14.84375	130	63
22.84375	140	67
30.85156	178	85
38.85938	213	92
46.86719	221	92
54.86719	213	92
62.89844	209	91
70.88281	169	82



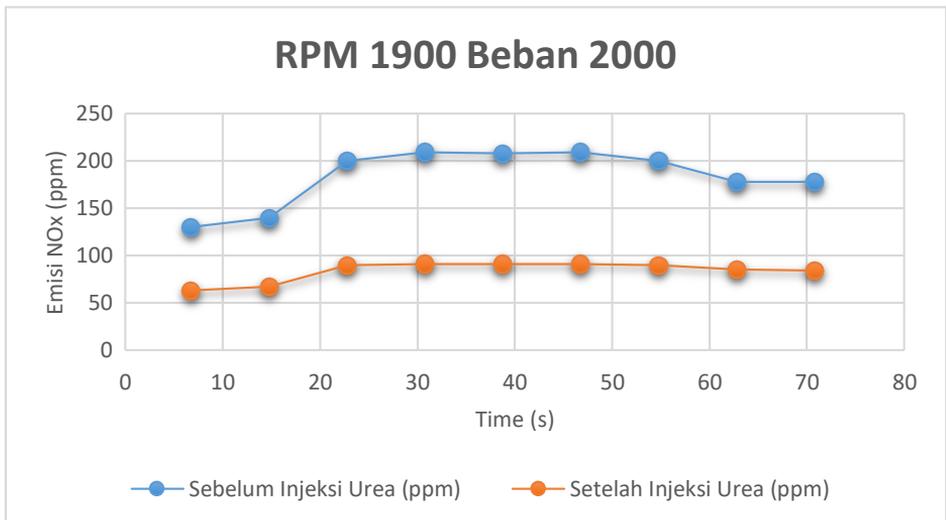
Grafik 4.6. Kadar NOx sebelum dan sesudah diinjeksikan urea pada Rpm 1900 Beban 1000

Gambar 4.6. menunjukkan grafik NOx sebelum diinjeksikan dengan urea. NOx tertinggi pada Rpm 1900 beban 1000 Watt adalah 221 ppm, maka urea yang diinjeksikan secara konstan sebanyak 1 mL pada NOx 130 ppm, 140 ppm, 169 ppm. 2mL pada NOx 209 ppm, 213 ppm, dan 212 ppm untuk mendapatkan emisi sesuai standard yang ditentukan IMO. Karena pada hasil tersebut emisi NOx yang terbaca melebihi batas yang ditentukan oleh IMO, dimana Emisi NOx yang ditentukan oleh IMO

pada Rpm 1900 adalah tidak lebih dari 2 g/Kwh. Nilai 2 g/Kwh jika dioperasikan pada mesin diesel RPM 1900 adalah 117 ppm. Apabila NOx yang terbaca kurang dari 117 PPM maka Pump akan mati secara otomatis karena NOx tidak melebihi batas yang di tentukan. Pada Rpm 1900 beban 1000 Watt Pembacaan sensor yang diambil dapat dilakukan setelah nilai yang di baca telah konstan yaitu pada detik ke 38 karena sensor NOx membutuhkan waktu untuk membaca ppm hingga konstan.

Tabel 4.8. Hasil Uji Coba RPM 1900 beban 2000

RPM 1900 beban 2000		
Waktu (s)	Sebelum Injeksi Urea (ppm)	Setelah Injeksi Urea (ppm)
6.726563	130	63
14.73438	140	67
22.78125	200	90
30.75781	209	91
38.75	208	91
46.75781	209	91
54.76563	200	90
62.80469	178	85
70.79688	178	84

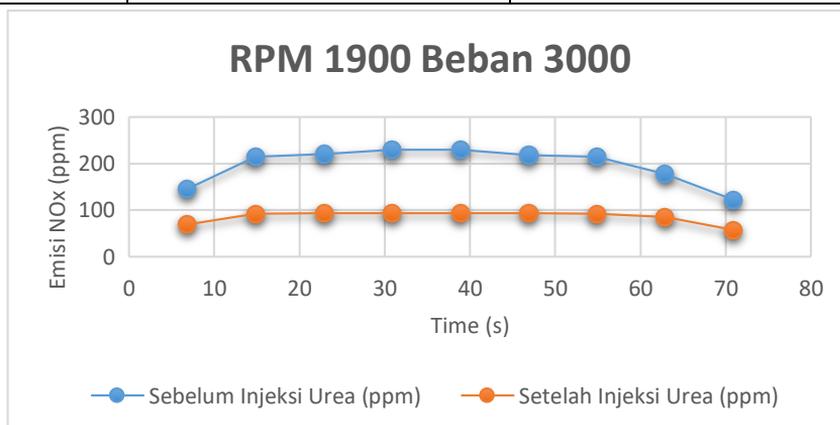


Grafik 4.7. Kadar NOx sebelum dan sesudah diinjeksikan urea pada Rpm 1900 Beban 2000

Grafik 4.7. menunjukkan grafik NOx sebelum diinjeksikan dengan urea. NOx tertinggi pada Rpm 1900 beban 2000 Watt adalah 209 ppm, maka urea yang diinjeksikan secara konstan sebanyak 1 mL pada NOx 130 ppm, 140 ppm. 2mL pada NOx 178 ppm, 200 ppm, 208 ppm, dan 209 ppm untuk mendapatkan emisi sesuai standard yang ditentukan IMO. Karena pada hasil tersebut emisi NOx yang terbaca melebihi batas yang di tentukan oleh IMO, dimana Emisi NOx yang di tentukan oleh IMO pada Rpm 1900 adalah tidak lebih dari 2 g/Kwh. Nilai 2 g/Kwh jika dioperasikan pada mesin diesel RPM 1900 adalah 117 ppm. Apabila NOx yang terbaca kurang dari 117 PPM maka Pump akan mati secara otomatis karena NOx tidak melebihi batas yang di tentukan. Pada Rpm 1900 beban 2000 Watt Pembacaan sensor yang diambil dapat dilakukan setelah nilai yang di baca telah konstan yaitu pada detik ke 22 karena sensor NOx membutuhkan waktu untuk membaca ppm hingga konstan.

Tabel 4.9. Hasil Uji Coba RPM 1900 beban 3000

RPM 1900 beban 3000		
Waktu (s)	Sebelum Injeksi Urea (ppm)	Setelah Injeksi Urea (ppm)
6.84375	145	69
14.86719	215	92
22.85156	220	93
30.85938	230	94
38.85938	230	94
46.86719	218	93
54.86719	215	92
62.875	178	85
70.88281	122	58

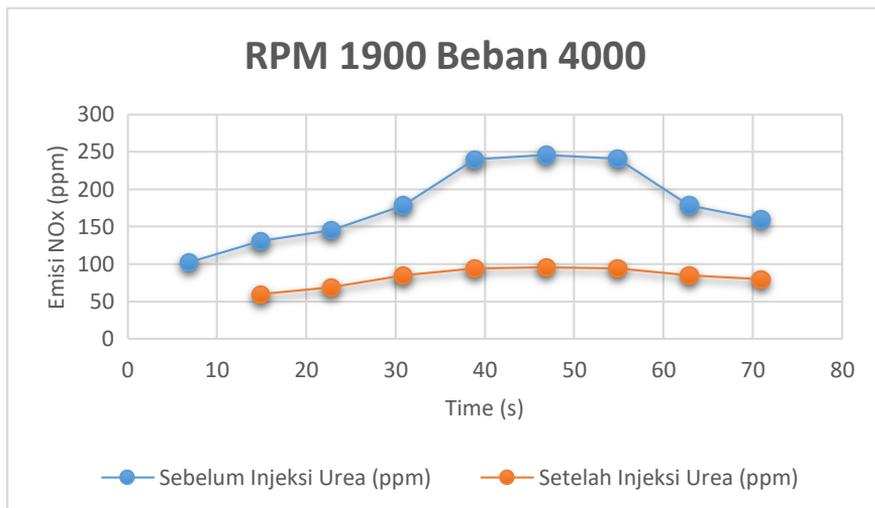


Grafik 4.8. Kadar NOx sebelum dan sesudah diinjeksikan urea pada Rpm 1900 Beban 3000

Grafik 4.8. menunjukkan grafik NOx sebelum di injeksikan dengan urea. NOx tertinggi pada Rpm 1900 beban 3000 Watt adalah 230 ppm, maka urea yang diinjeksikan secara konstan sebanyak 1 mL pada NOx 122 ppm, 145 ppm. 2mL pada NOx 178 ppm, 215 ppm, 218 ppm, 220 ppm dan 230 ppm untuk mendapatkan emisi sesuai standard yang ditentukan IMO. Karena pada hasil tersebut emisi NOx yang terbaca melebihi batas yang di tentukan oleh IMO, dimana Emisi NOx yang di tentukan oleh IMO pada Rpm 1900 adalah tidak lebih dari 2 g/Kwh. Nilai 2 g/Kwh jika dioperasikan pada mesin diesel RPM 1900 adalah 117 ppm. Apabila NOx yang terbaca kurang dari 117 PPM maka Pump akan mati secara otomatis karena NOx tidak melebihi batas yang di tentukan. Pada Rpm 1900 beban 3000 Watt Pembacaan sensor yang diambil dapat dilakukan setelah nilai yang di baca telah konstan yaitu pada detik ke 30 karena sensor NOx membutuhkan waktu untuk membaca ppm hingga konstan.

Tabel 4.10. Hasil Uji Coba RPM 1900 beban 4000

RPM 1900 beban 4000		
Waktu (s)	Sebelum Injeksi Urea (ppm)	Setelah Injeksi Urea (ppm)
6.835938	102	-
14.84375	131	60
22.85156	145	69
30.85156	178	85
38.85938	240	94
46.86719	246	96
54.875	241	94
62.875	178	85
70.88281	160	80

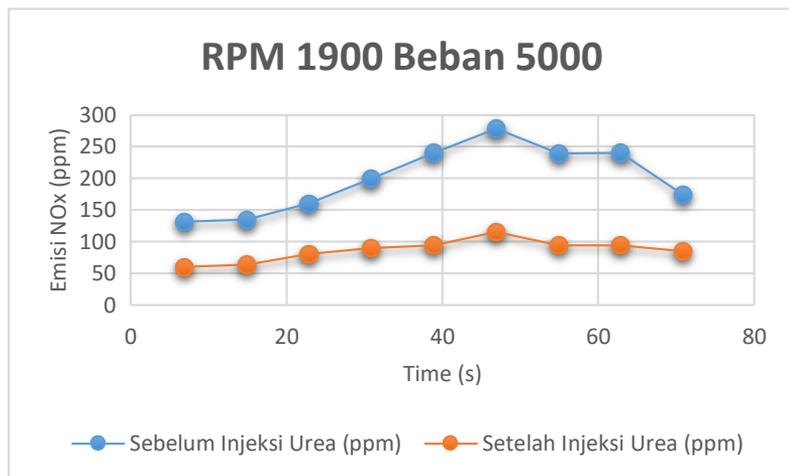


Grafik 4.9. Kadar NO_x sebelum dan sesudah diinjeksikan urea pada Rpm 1900 Beban 4000

Grafik 4.9. menunjukkan grafik NO_x sebelum di injeksikan dengan urea. NO_x tertinggi pada Rpm 1900 beban 4000 Watt adalah 246 ppm, maka urea yang diinjeksikan secara konstan sebanyak 1 mL pada NO_x 131 ppm, 145 ppm, 160 ppm. 3mL pada NO_x 178 ppm, 240 ppm, 241 ppm, dan 246 ppm untuk mendapatkan emisi sesuai standard yang ditentukan IMO. Karena pada hasil tersebut emisi NO_x yang terbaca melebihi batas yang di tentukan oleh IMO, dimana Emisi NO_x yang di tentukan oleh IMO pada Rpm 1900 adalah tidak lebih dari 2 g/Kwh. Nilai 2 g/Kwh jika dioperasikan pada mesin diesel RPM 1900 adalah 117 ppm. Apabila NO_x yang terbaca kurang dari 117 PPM maka Pump akan mati secara otomatis karena NO_x tidak melebihi batas yang di tentukan. Pada Rpm 1900 beban 4000 Watt Pembacaan sensor yang diambil dapat dilakukan setelah nilai yang di baca telah konstan yaitu pada detik ke 38 karena sensor NO_x membutuhkan waktu untuk membaca ppm hingga konstan.

Tabel 4.11. Hasil Uji Coba RPM 1900 beban 5000

RPM 1900 beban 5000		
Waktu (s)	Sebelum Injeksi Urea (ppm)	Setelah Injeksi Urea (ppm)
6.867188	131	60
14.86719	135	63
22.875	160	80
30.88281	199	90
38.89063	240	94
46.89063	278	115
54.89844	239	94
62.89844	240	94
70.91406	174	85



Grafik 4.10. Kadar NOx sebelum dan sesudah diinjeksikan urea pada Rpm 1900 Beban 5000

Grafik 4.10. menunjukkan grafik NOx sebelum di injeksikan dengan urea. NOx tertinggi pada Rpm 1900 beban 5000 Watt adalah 278 ppm, maka urea yang diinjeksikan secara konstan sebanyak 1 mL pada NOx 131 ppm, 135 ppm, 160 ppm. 2mL pada NOx 174 ppm dan 199 ppm, 3mL pada NOx 239 ppm, 240 ppm dan 278 ppm untuk mendapatkan emisi sesuai standard yang ditentukan IMO. Karena pada hasil tersebut emisi NOx yang terbaca melebihi batas yang di tentukan oleh IMO, dimana Emisi NOx yang di tentukan oleh IMO pada Rpm 1900 adalah tidak lebih dari 2 g/Kwh. Nilai 2 g/Kwh jika dioperasikan pada mesin diesel RPM 1900 adalah 117 ppm. Apabila NOx yang

terbaca kurang dari 117 PPM maka Pump akan mati secara otomatis karena NOx tidak melebihi batas yang di tentukan. Pada Rpm 1900 beban 5000 Watt Pembacaan sensor yang diambil dapat dilakukan setelah nilai yang di baca telah konstan yaitu pada detik ke 54 karena sensor NOx membutuhkan waktu untuk membaca ppm hingga konstan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, yaitu aplikasi sistem Injeksi Urea pada motor diesel dapat ditarik kesimpulan sementara sebagai berikut :

- A. Telah dibuat rancang bangun sistem kontrol emisi gas buang pada exhaust untuk mengurangi NO_x berbasis mikrokontroler Arduino menggunakan sensor MQ-135 dengan range pembacaan 10000 ppm, dengan penginjeksian urea dan pengaturan aliran secara otomatis. Hasil pembacaan sensor MQ-135 memiliki respon waktu diatas 30 detik, setelah dilakukan kalibrasi pada sensor MQ-135 didapatkan pembacaan sensor sudah sama dengan alat ukur pembanding dan didapatkan nilai persamaan sensor MQ-135 adalah $y = 162.14x^{-1.019}$.
- B. Hasil penginjeksian urea pada exhaust mesin diesel mampu mengurangi kadar emisi NO_x rata-rata 40% dengan 0.75ml sampai 3ml urea yang di injeksikan. Maka dengan penginjeksian urea pada exhaust mesin diesel dapat mengurangi emisi NO_x, agar tidak mencemari lingkungan sekitar. Semakin tinggi RPM dan beban pada mesin diesel maka semakin banyak NO_x yang dihasilkan dan semakin tinggi suhu pada mesin diesel, Urea akan cepat tereaksi pada suhu tinggi. Berdasarkan hasil yang telah diuji semakin tinggi suhu exhaust maka semakin banyak pengurangan NO_x setelah diinjeksikan.

5.2. Saran

Dengan dilakukannya penelitian mengenai pengurangan NO_x menggunakan mikrokontroler pada exhaust mesin diesel, peneliti memiliki saran agar penelitian dapat lebih bermanfaat dan lebih baik lagi. Saran yang ingin disampaikan adalah sebagai berikut :

- A. Penelitian selanjutnya dapat meneliti sistem penginjeksian urea dengan ditambahkan sensor flowrate agar alat ini dapat digunakan pada semua mesin dengan mengetahui flow exhaust yang dikeluarkan oleh mesin, sehingga dapat di buat lebih detail pemrograman untuk penginjeksian ureanya.
- B. Penelitian selanjutnya dapat membuat alat otomatis penyaringan urine manusia untuk mendapatkan urea, dan diharapkan dapat diaplikasikan secara nyata

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Brohi, E. A. (2014). Ammonia as fuel for internal combustion engines?
- Mesin, J. T., Teknik, F., & Semarang, U. N. (2016). Saluran Buang Terhadap Emisi Gas Buang Sepeda Motor.
- No, V., Katalis, K., Al, A., Reduksi, O. U., Sarwono, R., Adi, H., ... Tangerang, S.-. (2009). KINERJA KATALIS Ag/Al₂O₃ UNTUK REDUKSI NO, 12(4), 226–231.
- Pengurangan, U., & Dari, P. (2014). Upaya pengurangan polutan dari mesin s.i. dengan memanfaatkan zeolit, 15(2), 227–238.
- Selvam, M., Vigneshwaran, R., Irudhayaraj, R., Palani, S., & Parthasarathy, V. (2016). Emission control diesel power plant for reducing oxides of nitrogen through selective catalytic reduction method using ammonia. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(1).
- Sukarsono. (2004). Kajian Pengurangan SO₂ Dan NO_x Dari Gas Buang Hasil Pembakaran Dengan Akselerator. *Ganendra*, 7(1).
- Arduino. (2018). Arduino Mega 2560. Retrieved Agustus 10, 2018, from Store Home > Arduino Mega 2560 Rev3
- Diao, C., Guo, X., & Li, J. (2018). Research on Urea Jet Pump Performance Characteristics using the Optimized NO_x Removal Equipment in Diesel Engine, (x), 1886–1900.
- The Used of Aqueous Urea Solution in Reduction of Noxious Emissions in Bio Fuel Combustion System Using Selective Non-Catalytic Reduction The Used of Aqueous Urea Solution in Reduction of Noxious Emissions in Bio Fuel Combustion System Using Selective Non-Catalytic Reduction. (2011), (August).
- Fang, H. L., & Dacosta, H. F. M. (2003). Urea thermolysis and NO_x reduction with and without SCR catalysts, 46(x), 17–34.
- Ghosh, S., Chaudhuri, S. N., & Dutta, D. (2013). Nox REDUCTION BY USING UREA INJECTION AND MARINE FERROMANGANESE NODULE AS SCR OF A DIESEL ENGINE FULLED WITH PONGAMIA PINNATA METHYL ESTER, 3(2), 779–784.
- Liémans, I., & Thomas, D. (2013). Simultaneous NO_x and SO_x reduction from oxyfuel exhaust gases using acidic solutions containing hydrogen peroxide, 37(x), 1348–1356.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

DATASHEET MQ-135

TECHNICAL DATA MQ-135 GAS SENSOR

FEATURES

Wide detecting scope Fast response and High sensitivity
 Stable and long life Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in air quality control equipments for buildings/offices, are suitable for detecting of NH₃, NO_x, alcohol, Benzene, smoke, CO₂, etc.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _H	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
R _L	Load resistance	can adjust	
R _H	Heater resistance	33Ω±5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than 800mw	

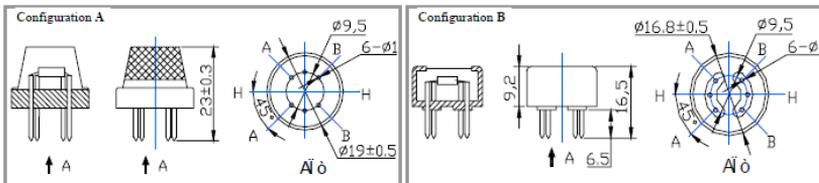
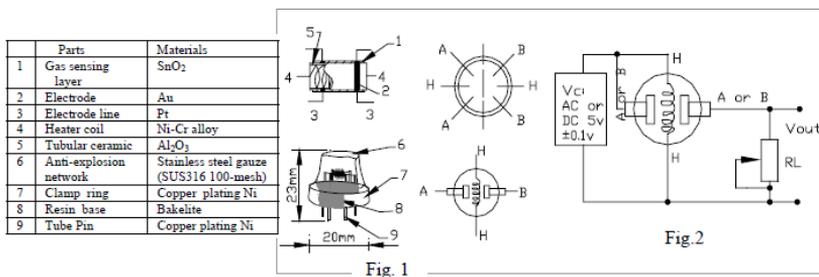
B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T _{ao}	Using Tem	-10□-45□	
T _{as}	Storage Tem	-20□-70□	
R _H	Related humidity	less than 95%Rh	
O ₂	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R _s	Sensing Resistance	30KΩ-200KΩ (100ppm NH ₃)	Detecting concentration scope 10ppm-300ppm NH ₃ 10ppm-1000ppm Benzene 10ppm-300ppm Alcohol
α (200/50) NH ₃	Concentration Slope rate	≤0.65	
Standard Detecting Condition	Temp: 20□±2□ V _c :5V±0.1 Humidity: 65%±5% V _H : 5V±0.1		
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



Structure and configuration of MQ-135 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive

components. The enveloped MQ-135 have 6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-135

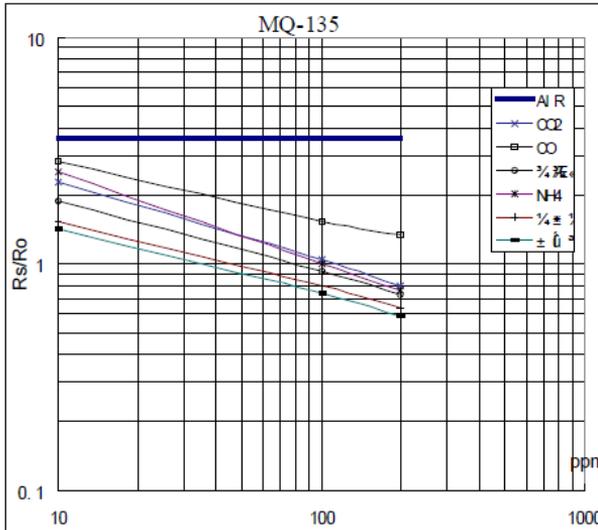


Fig.3 shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-135 for several gases. in their: Temp: 200 ° Humidity: 65% RH O₂ concentration 21% RL=20kΩ Ro: sensor resistance at 100ppm of NH₃ in the clean air. Rs: sensor resistance at various concentrations of gases.

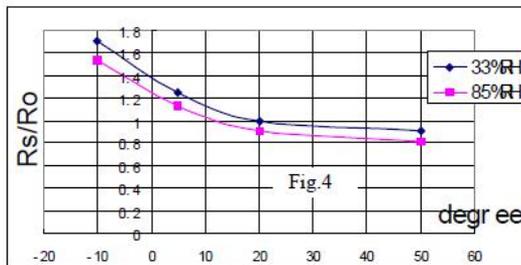
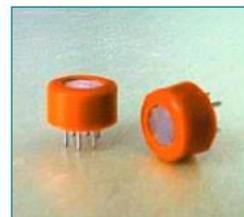


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-135 on temperature and humidity. Ro: sensor resistance at 100ppm of NH₃ in air at 33%RH and 20 degree. Rs: sensor resistance at 100ppm of NH₃ at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-135 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 100ppm NH₃ or 50ppm Alcohol concentration in air and use value of Load resistance that (R_L) about 20 KΩ(10KΩ to 47 KΩ).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 27 Agustus 1997. Merupakan anak ke 2 dari 5 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di beberapa sekolah diantaranya SDN Kemayoran I Surabaya, SMP Barunawati Surabaya, dan SMAN 19 Surabaya. Penulis melanjutkan ke jenjang Strata 1 di Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS pada tahun 2015 melalui program SBMPTN. Penulis terdaftar dengan NRP 0421154000055. Penulis mengambil konsentrasi bidang studi Marine Power Plant (MPP). Selama berada di bangku perkuliahan, penulis pernah menjadi anggota dalam kegiatan tim Riset Kapal Tenaga Surya (Marine Solar Boat Team) sebagai Mechanical Engineer. Penulis aktif dalam kegiatan berorganisasi pada Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan (HIMASISKAL). Penulis pernah menjabat sebagai Wakil Ketua Departemen Dalam Negeri. Penulis pernah menjadi Panitia Pengawas Pemilu (PANWASLU) dalam pemilihan Presiden BEM ITS. Selama semester ahir penulis, banyak menghabiskan waktunya untuk menyelesaikan Tugas Akhir di Laboratorium Marine Power Plant (MPP) dan Getaran Mesin.