



SKRIPSI – ME184834

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITOR METHANE GAS SEBAGAI
DETEKSI DARI METHANE SLIP PADA DIESEL – NATURAL GAS DUAL
FUEL ENGINE BERBASIS MIKROKONTROLLER**

**Muhammad Afiffudin Zuhri
NRP 0421154000043**

**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**



SKRIPSI - ME184834

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITOR METHANE GAS SEBAGAI
DETEKSI DARI METHANE SLIP PADA DIESEL - NATURAL GAS
DUAL FUEL ENGINE BERBASIS MIKROKONTROLLER**

Muhammad Afiffudin Zuhri
NRP 0421154000043

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

**DESIGN AND DEVELOPMENT OF METHANE GAS MONITORING
SYSTEM AS THE DETECTOR OF METHANE SLIP ON DUAL FUEL
DIESEL ENGINE**

Muhammad Afiffudin Zuhri
NRP 0421154000043

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 MONITOR METHANE GAS SEBAGAI DETEKSI DARI METHANE SLIP PADA DIESEL – NATURAL GAS DUAL FUEL ENGINE BERBASIS MIKROKONTROLLER

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:

Muhammad Afiffudin Zuhri
NRP. 0421154000043

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 MONITOR METHANE GAS SEBAGAI DETEKSI DARI METHANE SLIP PADA DIESEL – NATURAL GAS DUAL FUEL ENGINE BERBASIS MIKROKONTROLLER

SKRIPSI

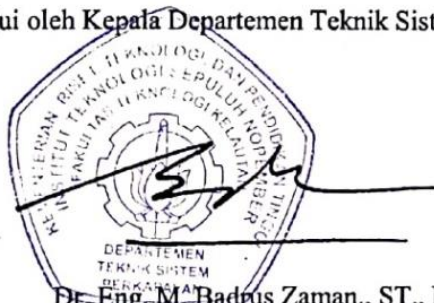
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Power Plant (MPP)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Muhammad Afiffudin Zuhri
NRP. 0421154000043

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

RANCANG BANGUN SISTEM MONITOR *METHANE GAS* SEBAGAI DETEKSI DARI *METHANE SLIP* PADA *DIESEL – NATURAL GAS DUAL FUEL ENGINE* BERBASIS MIKROKONTROLLER

Nama Mahasiswa : Muhammad Afiffudin Zuhri
NRP : 0421154000043
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

Bahan bakar gas yang digunakan pada proses pembakaran mesin diesel dual fuel masuk ke dalam ruang bakar dan beberapa gas tidak ikut terbakar dikarenakan temperature untuk pembakaran gas yang kurang di beberapa sudut ruang bakar. Bahan bakar gas yang tidak terbakar akan keluar melalui exhaust mesin dan gas metana yang tidak terbakar menjadi emisi yang disebut dengan *methane slip*. Gas metana yang bercampur dengan atmosfer menyebabkan efek rumah kaca yang memiliki dampak lebih besar daripada emisi CO. Maka dari itu dilakukan penelitian untuk memonitoring emisi gas metana dari mesin diesel dual fuel. Alat monitoring memanfaatkan empat jenis sensor gas metana yang memiliki kemampuan rentang pembacaan yang berbeda-beda dan dijadikan satu agar mendapat rentang pembacaan yang lebih luas dalam satu alat. Sensor TGS2600 digunakan untuk membaca kadar 0 – 100 ppm. Sensor MQ-7 untuk membaca kadar 50 – 4000 ppm. Sensor MQ-4 untuk membaca kadar 300 – 10000 ppm. Sensor TGS3870 untuk membaca kadar 1000 – 10000 ppm. Penggabungan sensor menggunakan mikrokontroler Arduino UNO yang kemudian ditampilkan pada LCD 16x4 dan tercatat pada Microsoft Excel. Pada pemrograman didapatkan nilai persamaan untuk mengkonversi nilai resistansi sensor TGS2600 menjadi ppm adalah $y=1.9475x^{-11.64}$, untuk sensor MQ-7 adalah $y=-685.89x+9610.9$, untuk sensor MQ-4 adalah $y=1039.1x^{2.792}$ dan untuk sensor TGS3870 adalah $y=3094.5x^{-1.84}$. Hasil performa alat ukur menunjukkan nilai selisih antara data output pengukuran oleh alat ukur dengan nilai dari gas pembanding. Error paling kecil menunjukkan nilai 0.27% dan nilai error terbesar pada proses pengujian mencapai 2.15%.

Kata Kunci : Arduino, *Methane Slip*, MQ-4, MQ-7, TGS2600, TGS3870.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DESIGN AND DEVELOPMENT OF METHANE GAS MONITORING SYSTEM AS THE DETECTOR OF METHANE SLIP ON DUAL FUEL DIESEL ENGINE

Name : Muhammad Afiffudin Zuhri
NRP : 0421154000043
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

Gas fuel used in the combustion process of dual fuel diesel engines enter to the combustion chamber and some gas fuels are not burned because the temperature for combustion of gas is lacking in some corner of the combustion chamber. Unburnt gas fuel will come out through the engine exhaust and unburnt methane gas which is an emission called methane slip. Methane gas mixed with the atmosphere causes a greenhouse effect that has a greater impact than CO emissions. Therefore, a study was conducted to monitor methane gas emissions from dual fuel diesel engines. Monitoring tool utilizes four types of methane gas sensor that has the ability to span different readings and put together in order to get a wider reading range in one tool. The TGS2600 sensor is used to read 0-100 ppm levels. The MQ-7 sensor is used to read 50 - 4000 ppm levels. The MQ-4 sensor is used to read levels of 300 - 10000 ppm. The TGS3870 sensor is used to read 1000 - 10000 ppm levels. Combining sensors using the Arduino UNO microcontroller which is then displayed on the 16x4 LCD and the results of the output data recorded at Microsoft Excel. In programming obtained the value equation for converting the resistance value into ppm TGS2600 sensor is $y=1.9475x^{-11.64}$, the equation value for the MQ-7 sensor is $y=-685.89x+9610.9$, the equation value for the MQ-4 sensor is $y=1039.1x^{-2.792}$, the equation value for the TGS3870 sensor is $y=3094.5x^{-1.845}$. The test results for the performance of measuring instruments show the difference between the measurement output data by a measuring instrument and the value of the comparable gas resulting in a low error value. The smallest error shows a value of 0.27% and the biggest error value in the testing process reaches 2.15%

Keywords : Arduino, Methane Slip, MQ-4, MQ-7, TGS2600, TGS3870.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Segala puji kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING GAS METANA SEBAGAI DETEKSI DARI METHANE SLIP PADA DIESEL – NATURAL GAS DUAL FUEL ENGINE BERBASIS MIKROKONTROLLER”**.

Dalam proses penyelesaian Skripsi ini, penulis telah mendapat banyak dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Mujib dan Ibu Suparmi yang sudah memberikan dukungan penuh kepada penulis dalam bentuk semangat, moral, materi dan hal lainnya sehingga dapat menyelesaikan Skripsi dengan lancar.
2. Bapak Dr. I. Made Ariana, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah membimbing penulis dan memotivasi untuk selesainya Skripsi.
3. Bapak Juniarko Prananda, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah membimbing penulis dan memotivasi untuk selesainya Skripsi.
4. 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.
5. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah memberikan ilmu bermanfaat dan membagi pengalaman.
6. Kelompok penelitian satu topik Methane Slip; Bu Betty Ariani, Febrian Rohiim, Habib Muhammad yang sudah bekerja sama dalam melangsungkan proses penelitian.
7. Teman saya M. Farisky Alvianandy yang bersedia menyediakan waktu luang untuk berdiskusi perihal progress Skripsi.
8. Teman satu kontrak gebang ter-wandalan, Zeka, Arie, Atfal, Habib, Rohiim, Ardi, Anas, Faisal, Fayid, Luqman yang selalu menemani saat susah dan senang.
9. Teman-teman sesama member Lab. Marine Power Plant yang bersama-sama mengerjakan Skripsi dengan suka dukanya.
10. Teman satu angkatan SALVAGE'15 yang sudah memberikan dukungan dan semangat tiada hentinya.

Semoga skripsi ini dapat berguna dan dapat memberi ilmu pengetahuan yang bermanfaat bagi penulis dan pembaca. Amiin.

Surabaya, Juli 2019

Muhammad Afiffudin Zuhri

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Daftar Isi

LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
Abstrak	ix
Abstract	xi
KATA PENGANTAR	xiii
Daftar Isi	xv
Daftar gambar	xviii
Daftar Tabel	xxi
BAB I	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah	1
1.3 Batasan masalah.....	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
BAB II	3
2.1 Diesel Dual Fuel	3
2.2 Bahan Bakar Gas.....	4
2.3 Emisi Methane Slip.....	5
2.4 Arduino	6
2.5 Sensor Gas Metana	8
2.5.1 Sensor MQ-4.....	9
2.5.2 Sensor MQ-7.....	9
2.5.3 Sensor TGS2600.....	10
2.5.4 Sensor TGS3870.....	10
2.6 LCD 4 x 16.....	11
BAB III	15
3.1 Diagram Alir	15
3.2 Metodologi.....	16
3.2.1 Studi Literatur	16

3.2.2 Pengumpulan data dan pemilihan komponen.....	16
3.2.3 Perancangan Sistem Monitoring Emisi Gas	16
3.2.4 Perancangan software mikrokontroler Arduino.	16
3.2.5 Integrasi Sistem	16
3.2.6 Uji Coba	16
3.3 Diagram Blok Rangkaian	17
3.4 Rangkaian Sensor	17
3.4.1 Rangkaian Sensor MQ-4	17
3.4.2 Rangkaian Sensor MQ-7	18
3.4.3 Rangkaian Sensor TGS2600.....	19
3.4.4 Rangkaian Sensor TGS3870.....	20
3.4.5 Rangkaian LCD 16x4.....	21
3.5 Desain Rancangan Alat	22
3.6 Skema Pengujian	23
BAB IV	27
4.1 Pemrograman Arduino IDE.....	27
4.1.1 Pemrograman Sensor MQ-4.....	28
4.1.2 Pemrograman Sensor MQ-7	31
4.1.3 Pemrograman Sensor TGS2600	34
4.1.4 Pemrograman Sensor TGS3870	37
4.2 Pemrograman Data Logger Ms. Excel	42
4.3 Skematik Rangkaian Rancang Bangun.....	44
4.4 Pembuatan Gas Kalibrator.....	45
4.4.1 Pembuatan 100 ppm Gas Metana pada Campuran Gas.....	47
4.4.2 Pembuatan 200 ppm Gas Metana pada Campuran Gas.....	48
4.4.3 Pembuatan 300 ppm Gas Metana pada Campuran Gas.....	49
4.4.4 Pembuatan 1000 ppm Gas Metana pada Campuran Gas.....	50
4.4.5 Pembuatan 5000 ppm Gas Metana pada Campuran Gas.....	51
4.5 Pemrograman Awal Alat Ukur.....	52
4.6 Pengujian Awal Alat Ukur	52
4.6.1 Pengujian Awal pada 100 ppm.....	53

4.6.2 Pengujian Awal pada 200 ppm	54
4.6.3 Pengujian Awal pada 300 ppm	55
4.6.4 Pengujian Awal pada 1000 ppm	56
4.6.5 Pengujian Awal pada 5000 ppm	57
4.7 Pemrograman Ulang Alat Ukur	58
4.8 Pengujian Ulang Alat Ukur.....	59
4.8.1 Pengujian Ulang pada 100 ppm	59
4.8.2 Hasil Pengujian Ulang pada 200 ppm.....	60
4.8.3 Hasil Pengujian Ulang pada 300 ppm.....	61
4.8.4 Hasil Pengujian Ulang pada 1000 ppm.....	62
4.8.5 Hasil Pengujian Ulang pada 5000 ppm.....	63
4.9 Performa Pembacaan Alat Ukur	64
4.10 Pengujian pada Mesin Diesel Dual Fuel	64
BAB V	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	67
Daftar Pustaka	69

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Daftar gambar

Gambar 2. 1	Skema diagram mesin dual fuel.....	3
Gambar 2. 2	Volume mati pada ruang bakar mesin	6
Gambar 2. 3	Tampilan Utama Software Arduino IDE.....	7
Gambar 2. 4	Bentuk fisik Arduino Uno	8
Gambar 2. 5	Sensor MQ-4	9
Gambar 2. 6	Sensor MQ-7	10
Gambar 2. 7	Sensor TGS2600.....	10
Gambar 2. 8	Sensor TGS3870.....	11
Gambar 2. 9	Rentang Pembacaan Alat.....	11
Gambar 2. 10	LCD 16 x 4	12
Gambar 3. 1	Diagram Alir.....	15
Gambar 3. 2	Diagram Blok Rangkaian Alat	17
Gambar 3. 3	Skema Rangkaian Sensor MQ-4.....	17
Gambar 3. 4	Wiring Sensor MQ-4	18
Gambar 3. 5	Skematik Rangkaian MQ-7	18
Gambar 3. 6	Wiring Sensor MQ-7	19
Gambar 3. 7	Skema Rangkaian Sensor TGS2600.....	19
Gambar 3. 8	Wiring Sensor TGS2600	20
Gambar 3. 9	Skema Rangkaian Sensor TGS3870.....	20
Gambar 3. 10	Wiring Sensor TGS3870	21
Gambar 3. 11	Rangkaian LCD dengan Modul I2C pada Arduino	22
Gambar 3. 12	Box Alat Ukur	22
Gambar 3. 13	Tabung Gas Nitrogen.....	24
Gambar 3. 14	Tabung CNG	24
Gambar 3. 15	Suntikan 1 mL	24
Gambar 3. 16	Flow Sensor.....	25
Gambar 4. 1	Pemrograman pada void setup.....	27
Gambar 4. 2	Pemrograman void loop awal MQ-4	29
Gambar 4. 3	Perbandingan Rs/Ro dengan PPM MQ-4	29
Gambar 4. 4	Grafik Perbandingan Rs/Ro dengan ppm MQ-4	30
Gambar 4. 5	Pemrograman Sensor MQ-4	31
Gambar 4. 6	Pemrograman void loop awal MQ-7	32
Gambar 4. 7	Perbandingan Rs/Ro dengan PPM MQ-7	32
Gambar 4. 8	Grafik Perbandingan Rs/Ro dengan ppm MQ-7	33

Gambar 4. 9	Pemrograman Sensor MQ-7.....	34
Gambar 4. 10	Perbandingan Rs/Ro dengan ppm TGS2600.....	35
Gambar 4. 11	Grafik Perbandingan Rs/Ro dengan ppm TGS2600	36
Gambar 4. 12	Pemrograman Sensor TGS2600.....	37
Gambar 4. 13	Gambar Rangkaian Pembagi Tegangan	38
Gambar 4. 14	Rangkaian Penghasil Tegangan 0.9 Volt	38
Gambar 4. 15	Rangkaian Penghasil Tegangan 0.2 Volt	39
Gambar 4. 16	Programming untuk Delay Tegangan Heater.....	39
Gambar 4. 17	Perbandingan Rs/Ro dengan ppm TGS3870.....	40
Gambar 4. 18	Grafik Perbandingan Rs/Ro dengan ppm TGS3870	41
Gambar 4. 19	Programming Sensor TGS3870	42
Gambar 4. 20	Tampilan Pemrograman Visual Basic Macro Excel	43
Gambar 4. 21	Tampilan Interface Awal pada Ms. Excel.....	44
Gambar 4. 22	Skematik Rangkaian Rancang Bangun	45

Daftar Tabel

Tabel 2. 1 Kandungan Gas Alam (Wei, 2016).....	4
Tabel 4. 1 Titik Pengambilan Perbandingan MQ-4	29
Tabel 4. 2 Titik Pengambilan Perbandingan MQ-7	33
Tabel 4. 3 Titik Perpotongan Rs/Ro dengan ppm TGS2600.....	36
Tabel 4. 4 Titik Perpotongan Rs/Ro dengan ppm TGS3870.....	40
Tabel 4. 5 Pembagian Port Arduino	45
Tabel 4. 6 Rentang Kerja Sensor.....	46
Tabel 4. 7 Titik Pembuatan Gas Campuran	46
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Awal pada 100 ppm	53
Tabel 4. 9 Analisa Error pada Pengujian Awal 100 ppm	53
Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Awal pada 200 ppm	54
Tabel 4. 11 Analisa Error pada Pengujian Awal 200 ppm	54
Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Awal pada 300 ppm	55
Tabel 4. 13 Analisa Error pada Pengujian Awal 300 ppm	55
Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Awal pada 1000 ppm	56
Tabel 4. 15 Analisa Error pada Pengujian Awal 1000 ppm	56
Tabel 4. 16 Hasil Pengujian Awal pada 5000 ppm	57
Tabel 4. 17 Analisa Error pada Pengujian Awal 5000 ppm	57
Tabel 4. 18 Delta Rentang Pembacaan Sensor.....	58
Tabel 4. 19 Hasil Pengujian Ulang pada 100 ppm	59
Tabel 4. 20 Analisa Error pada Pengujian Ulang 100 ppm.....	59
Tabel 4. 21 Hasil Pengujian Ulang pada 200 ppm	60
Tabel 4. 22 Analisa Error pada Pengujian Ulang 200 ppm.....	61
Tabel 4. 23 Hasil Pengujian Ulang pada 300 ppm	61
Tabel 4. 24 Analisa Error pada Pengujian Ulang 300 ppm.....	62
Tabel 4. 25 Hasil Pengujian Ulang pada 1000 ppm.....	62
Tabel 4. 26 Analisa Error pada Pengujian Ulang 1000 ppm.....	63
Tabel 4. 27 Hasil Pengujian Ulang pada 5000 ppm.....	63
Tabel 4. 28 Analisa Error pada Pengujian Ulang 5000 ppm.....	64
Tabel 4. 29 Hasil Performa Alat Ukur	64
Tabel 4. 30 Hasil Pembacaan pada Mesin Diesel Dual Fuel.....	65

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Persediaan bahan bakar fosil semakin lama semakin mengalami penurunan dalam persediannya. Padahal bahan bakar fosil merupakan bahan bakar yang umum digunakan pada mesin-mesin yang ada pada saat ini seperti mesin diesel, sehingga dibutuhkan terobosan baru untuk mengurangi konsumsi bahan bakar minyak fosil seperti solar. Salah satu upaya yang dapat digunakan adalah dengan cara membuat mesin diesel yang berbahan bakar tidak hanya bergantung pada solar, akan tetapi ada penambahan sistem bahan bakar gas menjadi tipe mesin *Dual Fuel* sehingga mesin dapat disuplai bahan bakar dari solar dan bahan bakar gas alam. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar solar yang digantikan oleh bahan bakar gas berupa *Natural Gas*.

Mesin diesel adalah mesin pembakaran dalam, dimana terjadi proses pembakaran didalam ruang bakar. Dalam proses pembakaran menggunakan bahan bakar minyak fosil sebagai bahan bakar dan hasil dari pembakaran akan menghasilkan berbagai macam polusi udara berupa partikel emisi. Emisi yang dihasilkan antara lain seperti NO_x, SO_x dan PM. Sementara itu jika pada mesin diesel terjadi penambahan sistem injeksi bahan bakar berupa *Natural Gas*, maka akan dihasilkan emisi baru yaitu berupa gas metana CH₄ dimana emisi ini dihasilkan karena gas metana yang tidak terbakar (*unburnt methane*) pada ruang bakar mesin diesel *dual fuel* dan gas metana yang tidak terbakar akan keluar melalui exhaust mesin diesel *dual fuel* yang dinamakan dengan *Methane Slip*. Efek dari adanya emisi gas metana CH₄ akan berpengaruh besar pada fenomena alam efek rumah kaca yang mana akan mengakibatkan suhu pada suatu lingkungan yang tercemar akan naik dan menjadikan lingkungan semakin panas dari waktu ke waktu.

Perlu dilakukan monitoring terhadap keluaran emisi oleh mesin *diesel dual fuel* berupa gas metana yang tidak terbakar pada ruang bakar mesin. Maka dari itu penelitian ini dibuat alat untuk memonitor kadar emisi berupa gas metana tidak terbakar hasil dari pembakaran mesin *Diesel Dual Fuel*. Alat ini akan menggunakan sensor gas metana CH₄ yang akan disambungkan ke mikrokontroler Arduino.

1. 2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan maka akan terdapat rumusan masalah, antara lain:

1. Bagaimana membuat sistem monitor emisi gas buang gas metana CH₄ tidak terbakar (*Unburnt Methane*) yang terintegrasi berbasis mikrokontroler Arduino?
2. Bagaimana performa sistem monitor emisi gas buang gas metana CH₄ tidak terbakar (*Unburnt Methane*) yang terintegrasi berbasis mikrokontroler Arduino?

1.3 Batasan masalah

Adapun batasan masalah pada proposal tugas akhir ini antara lain:

1. Pembuatan alat ini digunakan untuk mengukur kadar Gas Metana CH_4 yang tidak terbakar (*Unburnt Methane*).
2. Menggunakan mikrokontroler Arduino.
3. Kalibrasi menggunakan campuran gas antara gas metana dengan gas nitrogen yang dibuat secara manual.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari proposal tugas akhir ini antara lain:

1. Membuat sistem monitor emisi gas buang gas metana CH_4 tidak terbakar (*Unburnt Methane*) yang terintegrasi berbasis mikrokontroler Arduino.
2. Menganalisa performa sistem monitor emisi gas buang gas metana CH_4 tidak terbakar (*Unburnt Methane*) yang terintegrasi berbasis mikrokontroler Arduino.

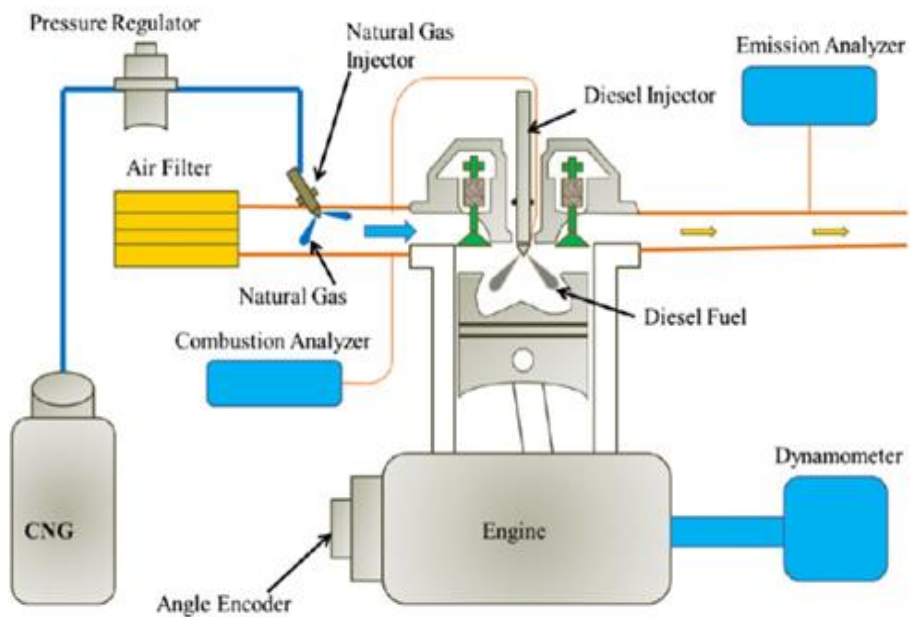
1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari tugas akhir ini adalah terciptanya sebuah alat yang praktis yang mampu membaca emisi gas buang kadar gas metana yang tidak terbakar oleh mesin *Diesel Dual Fuel*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Diesel Dual Fuel

Mesin diesel dual-fuel adalah mesin diesel yang dapat berjalan di kedua bahan bakar gas dan cair. Mesin diesel dual fuel memiliki tambahan bahan bakar gas pada *intake manifold* atau langsung ke ruang bakar dan penyalakan pembakaran dilakukan oleh semprotan minyak solar. Proses penambahan bahan bakar gas pada sistem mesin diesel dual fuel terjadi pada saat langkah hisap mesin dan bahan bakar gas langsung masuk kedalam ruang bakar mesin (Arif & Sudarmanta, 2015).



Gambar 2. 1 Skema diagram mesin dual fuel
Sumber: Exoryanto & Sudarmanta, 2016

Proses penambahan bahan bakar gas pada mesin diesel dual fuel dapat melalui dua macam metode penambahan. Bahan bakar gas dicampur dengan udara dalam silinder mesin baik melalui pencampuran langsung di intake manifold dengan udara atau melalui suntikan langsung ke dalam silinder. Sebuah mesin dual fuel pada dasarnya adalah mesin diesel yang dimodifikasi di mana bahan bakar gas, disebut bahan bakar utama, yang dicampur bersama dengan udara dengan menggunakan mixing yang berbentuk venturi yang akan masuk melalui intake manifold. Bahan bakar ini adalah sumber utama energi input ke mesin. Bahan bakar gas utama dikompresi dengan udara, bahan bakar gas memiliki temperatur *auto-ignition* lebih tinggi dibandingkan minyak solar. Sedangkan bahan bakar diesel yang biasa disebut dengan pilot fuel, di injeksi seperti pada mesin diesel biasa di dekat akhir langkah kompresi campuran bahan bakar udara. Bahan bakar pilot diesel merupakan bahan

bakar yang melakukan pengapian pertama dan bertindak sebagai sumber pengapian untuk pembakaran dari campuran bahan bakar udara gas. Bahan bakar pilot diesel, yang diinjeksi ke ruang bakar hanya menyumbang sebagian kecil dari tenaga mesin yang dihasilkan (Exoryanto & Sudarmanta, 2016).

Kelebihan dari mesin dual fuel adalah jika terjadi kegagalan pada bahan bakar gas, mesin tetap dapat bekerja dengan menukar mode operasional dual fuel menjadi mode operasional mesin diesel konvensional yang hanya mengandalkan bahan bakar diesel. Sedangkan kekurangannya adalah mesin sangat bergantung dengan ketersediaan bahan bakar diesel agar sistem kerja mesin dual fuel tetap berlangsung. Pada motor diesel empat langkah berbahan bakar dual fuel, mempunyai prinsip kerja hampir sama dengan engine pada umumnya, namun yang membedakan adalah pada langkah hisap dicampurkan bahan bakar CNG.

2.2 Bahan Bakar Gas

Bahan bakar gas (BBG) adalah gas bumi yang telah dimurnikan yang dimana komposisi BBG sebagian besar terdiri dari Metana (CH_4) dan Etana (C_2H_6) lebih kurangnya 90% dan selebihnya adalah gas Propana (C_3H_8), Butana (C_4H_{10}), Pentana (C_5H_{10}), Nitrogen dan karbondioksida. Pada perkembangan agar memperoleh penghematan energi sekarang ini terdapat terobosan untuk memodifikasi mesin diesel berbahan bakar solar menjadi mesin yang mempunyai dua bahan bakar sebagai upaya mereduksi konsumsi bahan bakar solar dengan cara modifikasi mesin menjadi biasa disebut dual fuel. Bahan bakar gas dapat berperan sebagai bahan bakar utama maupun bahan bakar tambahan pada *compression ignition engine* (Li, Hailin, Guo, Li, & Yao, 2017).

Tabel 2. 1 Kandungan Gas Alam (Wei, 2016)

<i>Component</i>	<i>Typical Analysis (vol%)</i>	<i>Range (vol%)</i>
<i>Methane</i>	94.9	87-96
<i>Ethane</i>	2.5	1.8-5.1
<i>Propane</i>	0.2	0.1-1.5
<i>Isobutane</i>	0.03	0.01-0.3
<i>n-Butane</i>	0.03	0.01-0.3
<i>Isopentane</i>	0.01	Trace to 0.14
<i>n-Pentane</i>	0.01	Trace to 0.14
<i>Hexane</i>	0.01	Trace to 0.06
<i>Nitrogen</i>	1.6	1.3-5.6
<i>Carbondioxide</i>	0.7	0.1-1.0
<i>Oxygen</i>	0.02	0.01-0.1
<i>Hydrogen</i>	Trace	Trace to 0.02

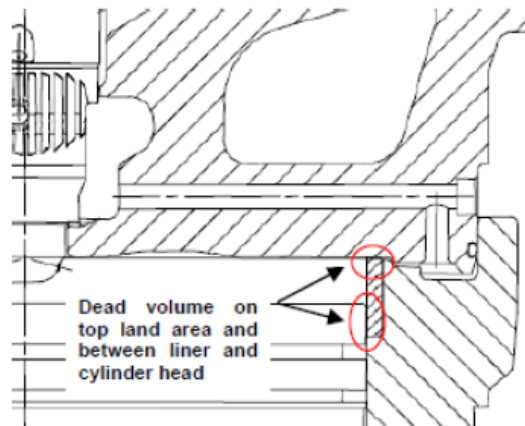
Emisi dari hasil pembakaran oleh mesin diesel merupakan salah satu polutan yang mencemari lingkungan. Semakin maraknya penggunaan mesin dalam berbagai kebutuhan akan meningkatkan pula jumlah emisi yang terkumpul pada suatu waktu dan tempat. Emisi itu sendiri adalah hasil dari pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar mesin. Emisi berasal dari kandungan yang terdapat pada bahan bakar dan juga percampuran dengan udara yang kandungan senyawa melebur. Seperti emisi yang dihasilkan oleh mesin berbahan bakar solar adalah gas *carbon monoxide* (CO) yang beracun, *carbon dioxide* (CO₂) yang merupakan salah satu gas penyebab efek rumah kaca, *sulfur* (SO_x), senyawa *nitrogen oxide* (NO_x), senyawa *hidro carbon* (HC) dan partikulat debu termasuk timbel (Pb) sebagai akibat dari proses pembakaran yang tidak sempurna pada mesin berbahan bakar solar.

2.3 Emisi Methane Slip

Komposisi utama dari natural gas sebagai bahan bakar gas adalah metana CH₄, pada kondisi dimana mesin diesel dual fuel menginjeksikan bahan bakar gas melalui air intake manifold juga dapat langsung ke ruang bakar mesin. Pada saat proses pembakaran, beberapa bahan bakar natural gas yang masuk ke dalam ruang bakar tidak ikut terbakar dan dapat keluar melalui exhaust mesin dan metana yang tidak terbakar inilah yang menjadi salah satu zat polusi emisi yang menyebabkan efek rumah kaca. Emisi inilah yang biasa disebut dengan istilah *methane slip* (Stenersen & Thonsand, 2017). Gas metana yang tercemar pada atmosfer menjadi lebih berbahaya dan lebih kuat dalam hal ketahanan sifat partikel menahan panas yang diserap 21 kali lebih kuat dibandingkan dengan emisi partikel CO₂ yang mengakibatkan peningkatan kondisi panas permukaan bumi karena terselimuti oleh kondisi atmosfer yang mudah menyerap panas dan mempertahankannya (Mohajan, 2011).

Gas buang berupa gas metana CH₄ yang tidak terbakar atau disebut dengan *methane slip* dapat terjadi karena beberapa sebab. Natural gas sebagai bahan bakar gas diinjeksikan ke dalam ruang bakar mesin melalui intake manifold yang kemudian bercampur dengan udara kompresi yang nantinya akan diinjeksikan bahan bakar solar sehingga terjadi proses pembakaran mesin. Sebab terjadinya methane slip terdapat dua factor utama yakni:

- *Dead volume* atau volume mati dalam ruang bakar dalam bentuk celah-celah yang terbentuk antar komponen pada ruang bakar seperti celah volume diantara gasket cylinder head dan cylinder liner, antara piston top land dan cylinder liner. Pada proses pembakaran di dalam ruang bakar mesin, udara terkompresikan kemudian bahan bakar gas berupa natural gas akan ikut terkompresi juga dan beberapa akan masuk ke dalam celah-celah diantara tiap komponen di dalam ruang bakar dan mengakibatkan tidak seluruhnya terbakar karena temperature yang dibutuhkan agar natural gas terbakar berkisar pada temperature 600° celcius yang kemudian keluar melalui exhaust mesin (Stenersen & Thonsand, 2017).



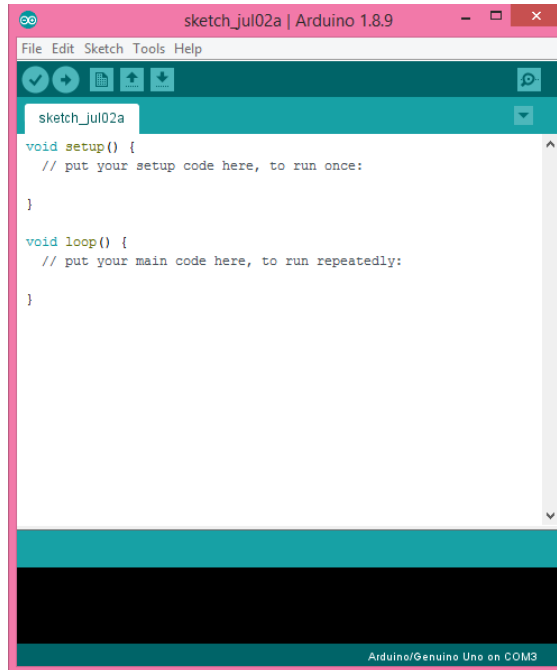
Gambar 2. 2 Volume mati pada ruang bakar mesin
Sumber: Stenersen & Thonsand, 2017

- Pembakaran yang tidak sempurna dikarenakan pada beberapa bagian di dalam ruang bakar yang lebih dingin merupakan salah satu alasan terjadinya *methane slip* (Stenersen & Thonsand, 2017).

2.4 Arduino

Arduino adalah pengendali mikro single-board yang bersifat open-source, diturunkan dari wiring platform, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Hardware memiliki prosesor AtmelAVR dan software memiliki bahasa pemrograman sendiri. Arduino juga merupakan platform hardware terbuka yang ditujukan kepada siapa saja yang ingin membuat purwarupa peralatan elektronik interaktif berdasarkan hardware dan software yang fleksibel dan mudah digunakan. Mikrokontroler diprogram menggunakan bahasa pemrograman arduino yang memiliki kemiripan syntax dengan Bahasa pemrograman C. Karena sifatnya yang terbuka maka dapat mengunduh skema hardware arduino dan membangunnya dengan mudah (Aslamia, 2015).

Sebagai alat untuk pemrosesan yang bersifat elektronik, Arduino terdiri dari dua bagian utama untuk proses pengoperasiannya yaitu *Arduino Software* dan juga *Hardware*. Perangkat lunak Arduino atau *Software* digunakan untuk proses pembuatan program yang akan dirancang sesuai kebutuhan. Program ini berisi dari proses pengolahan data mulai dari input dari pembacaan sensor sampai dengan perhitungan matematis untuk menghasilkan output yang direncanakan.



Gambar 2. 3 Tampilan Utama Software Arduino IDE
Sumber: Dokumen Pribadi

Arduino menggunakan keluarga mikrokontroler ATmega yang dirilis oleh Atmel sebagai basis, namun ada individu atau perusahaan yang membuat clone arduino dengan menggunakan mikrokontroler lain dan tetap kompatibel dengan arduino pada level hardware. Untuk fleksibilitas, program dimasukkan melalui bootloader meskipun ada opsi untuk bypass bootloader dan menggunakan downloader untuk memprogram mikrokontroler secara langsung melalui port ISP. Diantara banyaknya jenis *hardware* Arduino berdasarkan kebutuhan pemrosesan input dan output, salah satunya adalah Arduino UNO yang sangat umum digunakan karena bersifat *open acces* dan terdapat banyak *library* pemrograman yang dapat diunduh dan dimanfaatkan penggunaannya untuk berbagai keperluan pengolahan data (Karami, McMorrow, & Wang, 2018).

Arduino Uno adalah board mikrokontroler berbasis ATmega328. Memiliki 14 pin input dari output digital dimana 6 pin input tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 6 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan Board Arduino Uno ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau listrik dengan AC yang-ke adaptor-DC atau baterai untuk menjalankannya (Putra, 2017).



Gambar 2. 4 Bentuk fisik Arduino Uno
Sumber: llearning.me

Penggunaan dari Arduino memiliki beberapa kelebihan sehingga lebih populer untuk pemakaian karena bersifat *open source*. Kemudian kelebihan lain dari Arduino yaitu:

- Bahasa pemrograman relatif mudah karena software Arduino dilengkapi dengan kumpulan library yang cukup lengkap.
- Sudah memiliki sarana komunikasi USB, sehingga pengguna laptop yang tidak memiliki port serial/RS323 bisa menggunakannya.
- Tidak perlu perangkat chip programmer karena di dalamnya sudah ada bootloader yang akan menangani upload program dari komputer.
- Memiliki modul siap pakai (shield) yang bisa ditancapkan pada board Arduino. Misalnya shield GPS, Ethernet, SD Card, dll

2.5 Sensor Gas Metana

Sensor gas adalah sensor yang berfungsi untuk mengukur kandungan senyawa gas polutan yang ada di udara. Sensor gas mempunyai peranan penting sebagai komponen penting yang ada pada alat karena fungsi dari sensor gas yang berfungsi untuk sebagai indra pengecap atau pembaca dari kandungan gas terkontaminasi (Saputra, 2015). Prinsip kerja dari sensor gas adalah sensor akan mendeteksi kandungan udara yang mudah terbakar sehingga akan menghasilkan perubahan nilai resistansi yang dimana nilai resistansi ini yang merupakan data awal sensor yaitu data analog yang kemudian menghasilkan perubahan nilai voltase yang nantinya nilai voltase ini akan memberikan data sesuai dengan pengaturan program yang direncanakan (Ferdiansyah, 2019).

Pada penelitian ini digunakan beberapa sensor gas metana dengan tujuan agar alat yang diciptakan mempunyai range kerja pembacaan yang luas dengan rentang pembacaan jauh, akan tetapi alat juga dalam proses pebacaannya semakin detail pula karena alat terdiri dari beberapa sensor yang memiliki karakteristik range kerja dan

tipe sensitivitas yang berbeda. Tujuan lain diatur seperti ini adalah untuk saling memvalidasi antar satu sensor dengan sensor yang lain dimana ketika sensor dapat terbaca disalah satu range kerja yang tepat, maka sensor lain pun akan menunjukkan hasil pembacaan yang sesuai dengan pembacaan sensor yang berada pada range yang tepat.

Variasi sensor yang digunakan pada pembuatan alat ini direncanakan menggunakan variasi empat jumlah sensor yang memiliki karakteristik berbeda yaitu

2.5.1 Sensor MQ-4

Sensor MQ-4 merupakan sensor gas metana. MQ-4 memiliki kemampuan dapat mendeteksi kandungan gas metana mulai dari rentang 300 – 10000 ppm. Material sensitive dari MQ-4 adalah SnO₂ yang mana mempunyai karakteristik konduktivitas yang rendah di udara bersih. Apabila terdeteksi gas yang mudah terbakar maka konduktivitas sensor akan naik setara dengan meningkatnya konsentrasi gas pada kandungan di udara.



Gambar 2. 5 Sensor MQ-4
Sumber: *Datasheet MQ-4*

2.5.2 Sensor MQ-7

MQ-7 merupakan sensor gas tipe pembacaan multi-gas. Sifat pembacaan yang multigas ini memungkinkan MQ7 dapat mendeteksi beberapa kandungan gas yang utamanya adalah untuk gas karbon monoksida atau gas CO dan beberapa gas lainnya. Gas lain yang dapat dideteksi menggunakan sensor ini adalah gas metana dimana karakteristik rentang pembacaan yang cukup luas dimulai dari pembacaan akurat mulai dari kadar gas metana sebesar 50 ppm sampai dengan jangkauan sesuai spesifikasi yaitu sekitar 4000 ppm gas metana dalam suatu kadar gas.

Material sensitif dari sensor MQ-7 adalah SnO₂ yang mana elemen tersebut memiliki konduktivitas yang rendah pada keadaan udara bersih. Konsep pembacaan sensor MQ-7 adalah dengan memanfaatkan perubahan nilai hambatan atau resistansi yang dihasilkan oleh faktor pembacaan dimana semakin besar kandungan gas yang ter-sensing oleh sensor, maka semakin besar pula nilai resistansi yang dihasilkan. Dan kemudian dari nilai resistansi ini didapatkan nilai besaran ppm menggunakan persamaan suatu grafik antara nilai perbandingan resistansi dengan kandungan ppm gas sesuai dengan jenis gas yang disensing dalam penelitian ini target ditujukan untuk mensensing kandungan gas metana.



Gambar 2. 6 Sensor MQ-7
Sumber: *Datasheet MQ-7*

2.5.3 Sensor TGS2600

Sensor TGS2600 memiliki karakteristik dapat mendeteksi kadar gas metana dengan range pembacaan mulai dari 0 – 100 ppm. Sensor TGS2600 memiliki elemen penginderaan yang terdiri dari lapisan semikonduktor oksida logam yang dibentuk pada substrat alumina yang terintegrasi dengan pemanas atau heater sensor. Konduktivitas sensor meningkat tergantung pada konsentrasi gas di udara. Kemudian perubahan konduktivitas pada sensor diubah menjadi keluaran sinyal voltase yang sesuai dengan konsentrasi gas melalui sirkuit yang sudah ditentukan.



Gambar 2. 7 Sensor TGS2600
Sumber: *Datasheet TGS2600*

2.5.4 Sensor TGS3870

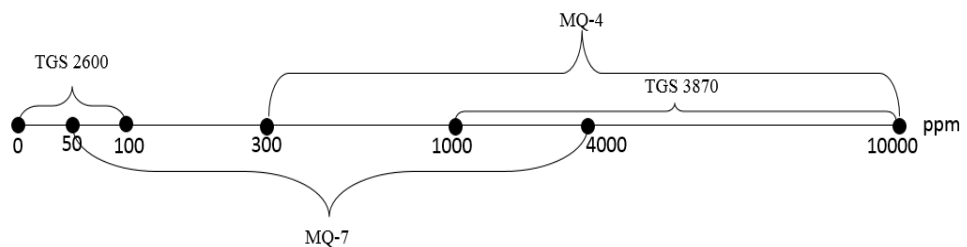
Sensor TGS3870 adalah sensor gas semikonduktor tipe micro-bead untuk mendeteksi metana dan karbon monoksida. Menggunakan sebuah struktur pendeteksi gas micro-bead, baik metana maupun karbon monoksida dapat dideteksi dengan sebuah elemen sensor dengan cara memberikan dua jenis heater yang berbeda secara berkala pada suatu periode tertentu (high dan low). Miniaturisasi penginderaan gas menghasilkan konsumsi daya pemanas rata-rata hanya sekitar 38mW.



Gambar 2. 8 Sensor TGS3870
Sumber: *Datasheet* TGS3870

Dalam pembuatan alat sistem monitoring gas metana ini dirancang untuk dapat mendeteksi pembacaan dengan rentang pembacaan gas metana mulai dari 0 ppm sampai dengan titik maksimal 10.000 ppm kandungan. Memanfaatkan empat buah jenis sensor gas metana yang memiliki karakteristik yang berbeda-beda dan dijasikan satu agar dapat mendapatkan jangkauan pembacaan yang lebih luas dan lebih mendetail dalam jangka pembacaan tertentu.

Detail perencanaan penggunaan jangka masing-masing sensor akan digabungkan dan menyambung mulai dari 0 – 10.000 ppm pembagiannya akan menjadi seperti berikut.



Gambar 2. 9 Rentang Pembacaan Alat
Sumber: Dokumen Pribadi

2.6 LCD 4 x 16

LCD merupakan salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf, atau grafik. LCD membutuhkan tegangan dan daya yang kecil sehingga sering digunakan untuk aplikasi pada kalkulator, arloji digital, dan instrumen elektronik seperti multimeter digital. LCD memanfaatkan silikon dan galium dalam bentuk kristal cair sebagai pemancar cahaya. Pada layar LCD, setiap matrik adalah susunan dua dimensi piksel yang dibagi dalam baris dan kolom. Dengan demikian, setiap pertemuan baris dan kolom terdiri dari LED pada bidang latar(backplane), yang merupakan lempengan kaca bagian belakang dengan sisi dalam yang ditutupi oleh lapisan elektroda transparan (Pratama, 2015).

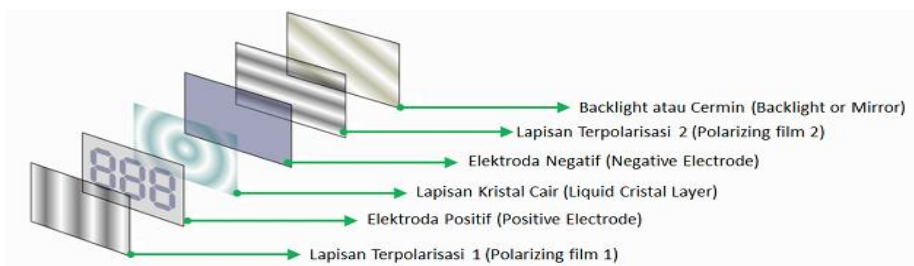
LCD pada penelitian ini berfungsi sebagai display digital hasil dari pembacaan sensor gas metana. LCD yang digunakan adalah LCD dot matrik dengan jumlah karakter 4 x 16.



Gambar 2. 10 LCD 16 x 4
Sumber: Winstar Display

Bagian-bagian LCD atau Liquid Crystal Display diantaranya adalah:

- Lapisan terpolarisasi 1 (Polarizing Film 1)
- Elektroda Positif (Positive Electrode)
- Lapisan Kristal Cair (Liquid Cristal Layer)
- Elektroda Negatif (Negative Electrode)
- Lapisan Terpolarisasi 2 (Polarizing film 2)
- Backlight atau Cermin (Backlight or Mirror)



Gambar 2.7 Struktur dasar LCD
Sumber: teknikelektronika.com

LCD atau Liquid Crystal Display pada dasarnya terdiri dari dua bagian utama yaitu bagian Backlight (Lampu Latar Belakang) dan bagian Liquid Crystal (Kristal Cair). LCD tidak memancarkan pencahayaan apapun, LCD hanya merefleksikan dan mentransmisikan cahaya yang melewatinya. Oleh karena itu, LCD memerlukan Backlight atau Cahaya latar belakang untuk sumber cahayanya. Cahaya Backlight tersebut pada umumnya adalah berwarna putih. Sedangkan Kristal Cair (Liquid Crystal) sendiri adalah cairan organik yang berada diantara dua lembar kaca yang memiliki permukaan transparan yang konduktif.

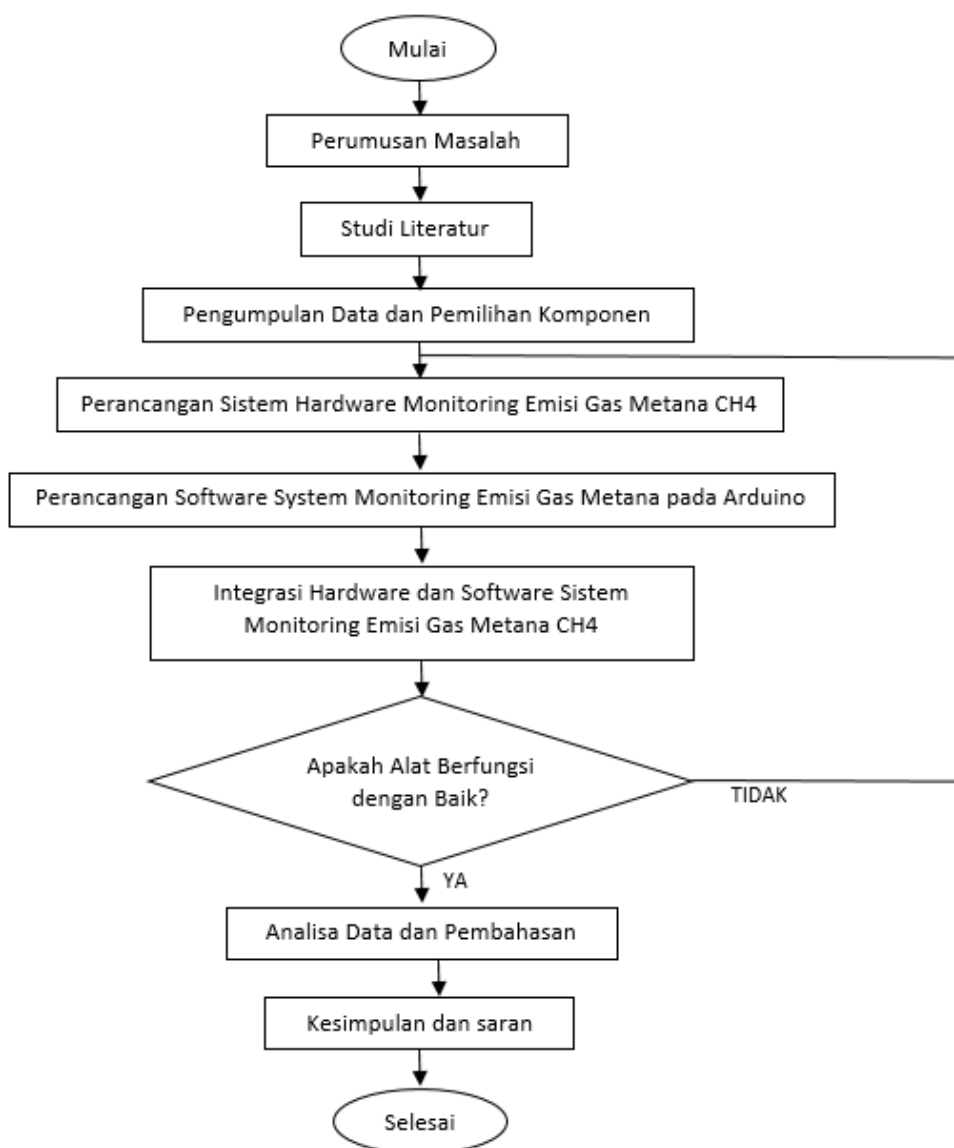
Backlight LCD yang berwarna putih akan memberikan pencahayaan pada Kristal Cair atau Liquid Crystal. Kristal cair tersebut akan menyaring backlight yang diterimanya dan merefleksikannya sesuai dengan sudut yang diinginkan sehingga menghasilkan warna yang dibutuhkan. Sudut Kristal Cair akan berubah apabila diberikan tegangan dengan nilai tertentu. Karena dengan perubahan sudut dan penyaringan cahaya backlight pada kristal cair tersebut, cahaya backlight yang sebelumnya adalah berwarna putih dapat berubah menjadi berbagai warna. Jika ingin menghasilkan warna putih, maka kristal cair akan dibuka selebar-lebarnya sehingga cahaya backlight yang berwarna putih dapat ditampilkan sepenuhnya. Sebaliknya, apabila ingin menampilkan warna hitam, maka kristal cair harus ditutup serapat-rapatnya sehingga tidak adalah cahaya backlight yang dapat menembus (Kho, 2019).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Pelaksanaan penelitian mempunyai metode pengerjaan yang terstruktur agar dalam proses pengerjaan lebih terarah dan lebih mudah. Penjelasan secara detail dari tahapan metodologi pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alir

3.2 Metodologi

Penjelasan secara merinci mengenai proses pengerjaan penelitian adalah sebagai berikut

3.2.1 Studi Literatur

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

1. Emisi *Methane Slip*
2. Sistem Mikrokontroller Arduino
3. Sensor gas, LCD dan Power Supply
4. Sistem kelistrikan

3.2.2 Pengumpulan data dan pemilihan komponen

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

3.2.3 Perancangan Sistem Monitoring Emisi Gas

Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem monitoring emisi gas metana berbasis mikrokontroller Arduino sesuai dengan teori pada tinjauan pustaka.

3.2.4 Perancangan software mikrokontroller Arduino.

Pada tahap ini dilakukan pembuatan code pada Arduino.ide yang ingin digunakan dengan merujuk pada teori-teori dasar (*logic control*) serta acuan secara umum dalam pengoperasian mikrokontroler Arduino.

3.2.5 Integrasi Sistem

Pada tahap ini dilakukan penyatuan atau integrase antara *hardware* yang dirakit dengan *software* yang sudah disiapkan.

3.2.6 Uji Coba

Pada tahap ini dilakukan proses pengujian terhadap monitoring emisi gas metana oleh mesin diesel dual fuel. Jika sistem tidak mampu mengukur gas emisi metana maka akan dilakukan analisa pembuatan code apakah ada kesalahan. Jika sistem berhasil mengukur emisi gas metana maka akan dilanjutkan dengan analisa pembahasan.

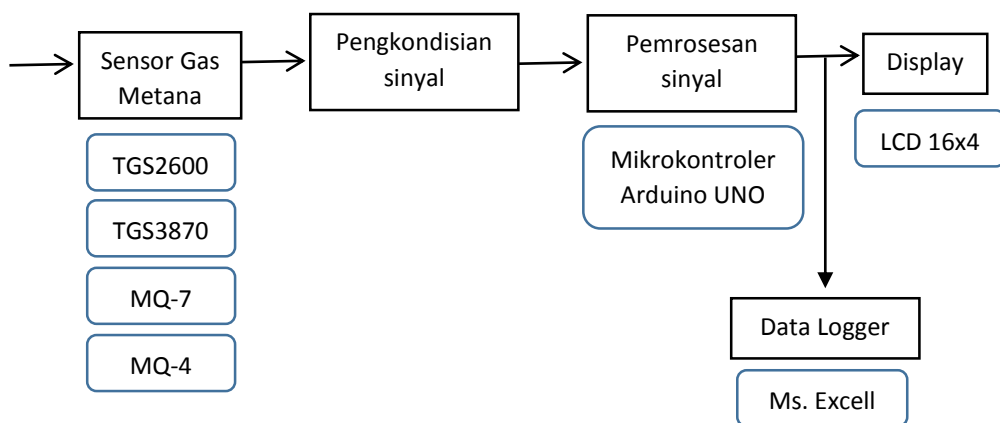
3.2.7 Penyusunan Laporan

Tahap terakhir dalam penelitian ini adalah penyusunan laporan. Penyusunan laporan dalam bentuk pembukuan seluruh proses dan data selama proses pembuatan sampai dengan hasil dalam bentuk olahan data dalam bentuk laporan.

3.3 Diagram Blok Rangkaian

Blok diagram merupakan diagram yang akan memudahkan kita memahami aliran kerja dari suatu alat. Dalam penelitian ini blok diagram membantu untuk memahami bagaimana proses input bisa sampai menjadi output yang diinginkan yang dimana outputan dalam bentuk visual dan *data logger*. Diagram blok merupakan pernyataan hubungan yang berurutan dari suatu atau lebih komponen yang memiliki kesatuan kerja tersendiri, dan setiap blok komponen mempengaruhi komponen lainnya.

Adapun rangkaian diagram blok dari sistem yang dirancang seperti diperlihatkan pada gambar berikut

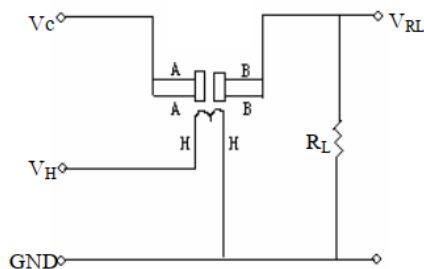


Gambar 3. 2 Diagram Blok Rangkaian Alat

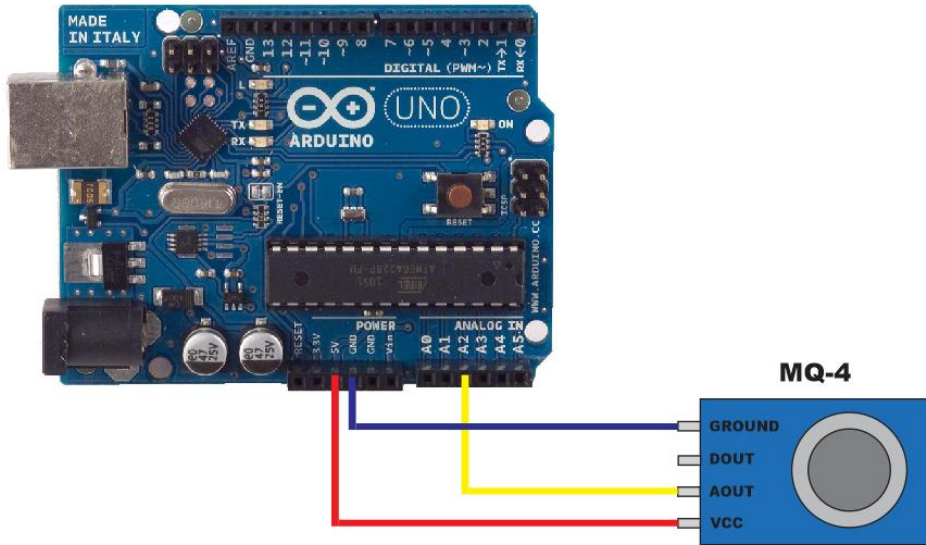
3.4 Rangkaian Sensor

3.4.1 Rangkaian Sensor MQ-4

Skematik rangkaian dari sensor MQ-4 penggunaannya pada mikrokontroler Arduino adalah sebagai berikut.



Gambar 3. 3 Skema Rangkaian Sensor MQ-4

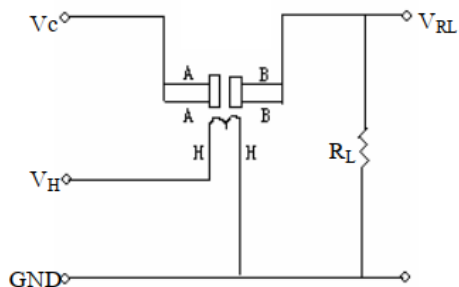


Gambar 3. 4 Wiring Sensor MQ-4

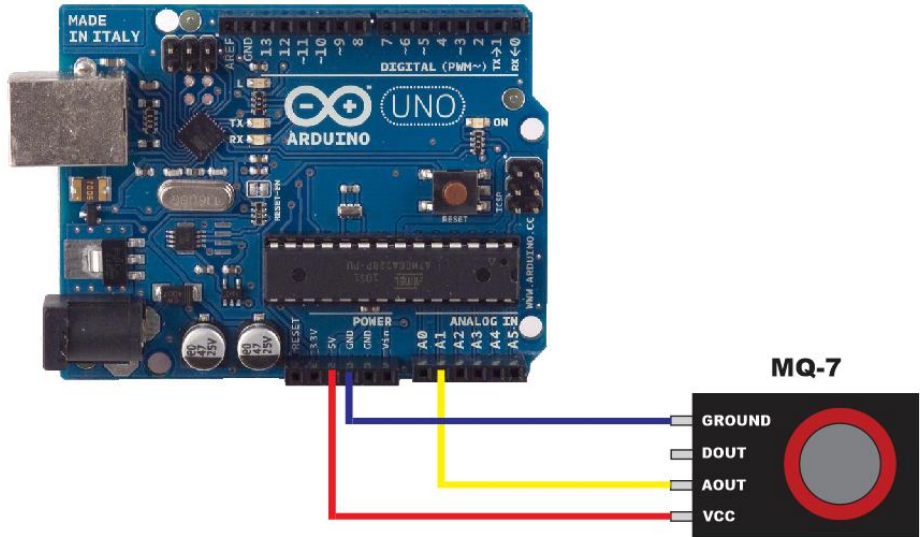
Rangkaian diatas merupakan kebutuhan rangkaian dasar pada sensor MQ-4 agar dapat dioperasikan dengan benar. Sensor memiliki dua sumber tegangan yang berbeda. Yang pertama sumber tegangan untuk suplai kebutuhan pemanas atau *heater* (VH) yang terdapat didalam sensor sebagai syarat *sensing*, kemudian tegangan kedua digunakan untuk sumber tegangan uji (VC). VH digunakan untuk mensuplai tegangan yang akurat untuk kerja sensor dan VC digunakan untuk mendeteksi tegangan (VRL) pada *load resistance*.

3.4.2 Rangkaian Sensor MQ-7

Penggunaan sensor gas MQ-7 diperlukan alat untuk memproses nilai pembacaan melalui mikrokontroler Arduino. Dari sensor yang memiliki banyak pin kaki dihubungkan ke mikrokontroler Arduino sesuai skema rangkaian dasar sensor.



Gambar 3. 5 Skematik Rangkaian MQ-7

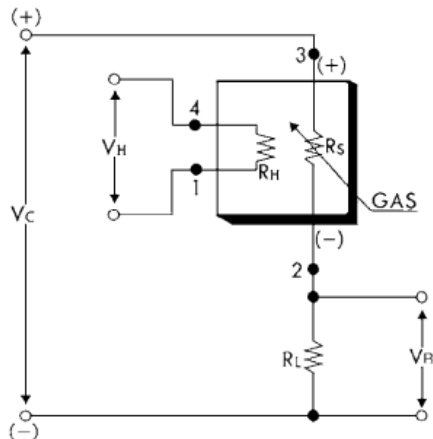


Gambar 3. 6 Wiring Sensor MQ-7

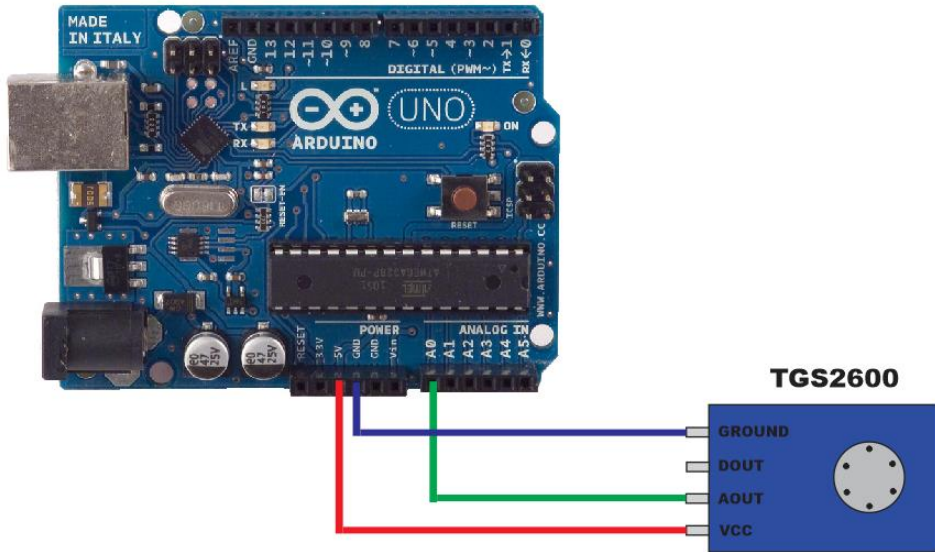
Skematik rangkaian pada gambar 3 adalah rangkaian dasar yang diperlukan untuk memproses data pembacaan sensor oleh mikrokontroler Arduino. Sensor MQ-7 pada pengoperasiannya membutuhkan dua jenis tegangan sumber yang berbeda yaitu tegangan untuk heater atau pemanas sensor (V_H) dan tegangan untuk proses pembacaan sensor.

3.4.3 Rangkaian Sensor TGS2600

Skema rangkaian minimal yang dibutuhkan sensor TGS2600 agar dapat diproses masuk ke mikrokontroler Arduino adalah sebagai berikut.



Gambar 3. 7 Skema Rangkaian Sensor TGS2600

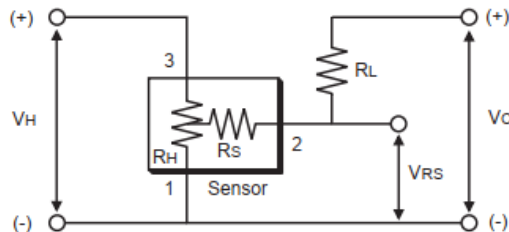


Gambar 3. 8 Wiring Sensor TGS2600

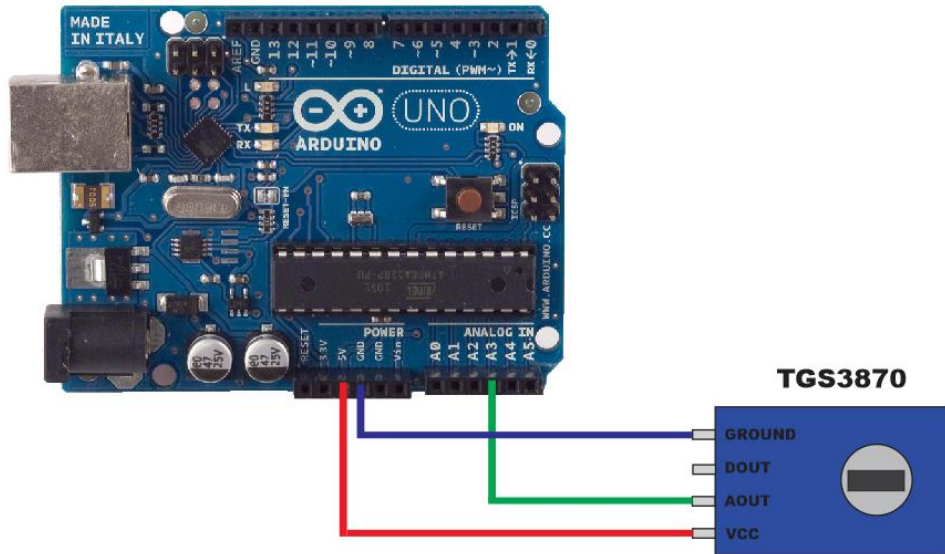
Rangkaian pada gambar 2 adalah *Basic Measuring Cicuit* yang berarti untuk mendapat hasil pengukuran yang tepat harus menggunakan sirkuit dasar seperti pada gambar 2. Sensor TGS2600 membutuhkan dua tipe tegangan input yaitu tegangan *heater* untuk pemanas kerja sensor (V_H) dan tegangan rangkaian (V_C). Tegangan pemanas dibutuhkan untuk mempertahankan elemen penginderaan pada suhu tertentu yang optimal. Tegangan sirkuit diterapkan untuk memungkinkan pengukuran tegangan yang melintasi beban resistor yang dihubungkan secara seri dengan sensor TGS2600.

3.4.4 Rangkaian Sensor TGS3870

Adapun rangkaian dasar dari sensor TGS3870 agar dapat diproses oleh mikrokontroler Arduino adalah sebagai berikut.



Gambar 3. 9 Skema Rangkaian Sensor TGS3870



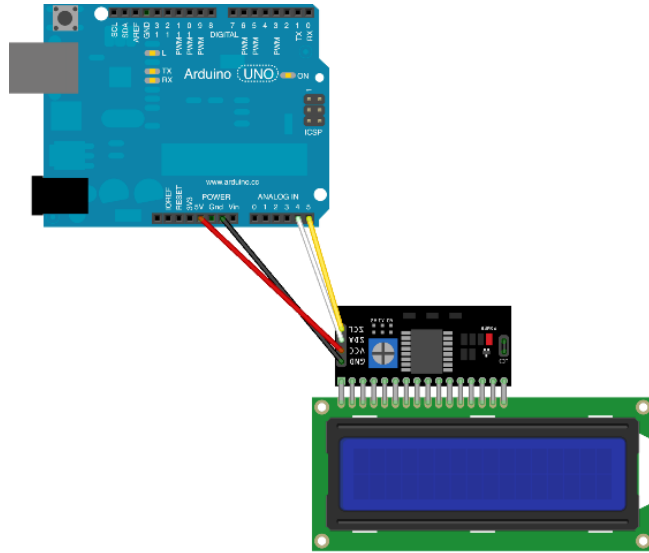
Gambar 3. 10 Wiring Sensor TGS3870

Sensor TGS3870 memiliki dua jenis tegangan input. Tegangan input pertama adalah tegangan untuk heater atau pemanas (VH). Tegangan kedua adalah tegangan circuit (VC). Sensor TGS3870 memiliki tiga kaki pin. Kaki pin nomor 1 berperan sebagai anoda (-), kemudian kaki pin nomor 2 berperan sebagai sensor elektroda (+), dan kaki pin yang ke-3 berperan sebagai heater. Untuk mempertahankan elemen penginderaan pada suhu tertentu yang optimal, tegangan heater sebesar 0,9 volt dan 0,2 volt diterapkan secara bergantian antara pin 1 dan pin 3 selama siklus pemanasan 20 detik.

3.4.5 Rangkaian LCD 16x4

Pemasangan komponen LCD berfungsi sebagai alat yang menunjukkan nilai hasil pembacaan secara langsung dari kondisi nyata yang sebenarnya. Pembacaan yang dilakukan oleh sensor dan diolah melalui mikrokontroler Arduino kemudian data visual ditampilkan ke LCD secara real time dan hasil pengukuran tercatat pada Microsoft Excel. Jenis komponen LCD yang digunakan untuk membuat alat ini adalah LCD berukuran 16x4, berarti LCD dapat memuat 16 karakter huruf sebanyak 4 baris.

Dalam penggunaan LCD pada mikrokontroler Arduino memerlukan banyak pin digital input sebanyak 6 sampai 7 pin, sehingga memanfaatkan komponen tambahan I2C (Inter Integrated Circuit). Sehingga rangkaian dasar untuk LCD yang menggunakan modul I2C dirangkai seperti rangkaian dasar berikut



Gambar 3. 11 Rangkaian LCD dengan Modul I2C pada Arduino

Dengan menggunakan modul I2C dapat menyederhanakan rangkaian elektronik yang semula membutuhkan sebanyak 7 pin di Arduino menjadi lebih sedikit sebanyak 4 pin yang terdiri dari pin Ground, pin VCC, pin SDA dan pin SCL.

3.5 Desain Rancangan Alat

Pembuatan Box alat digunakan untuk wadah sebagai tempat proses pembacaan dari sample gas buang mesin diesel dual fuel.



Gambar 3. 12 Box Alat Ukur

Desain Box terdiri dari 2 ruangan, yaitu ruangan atas yang berfungsi sebagai tempat proses pembacaan gas buang mesin diesel dual fuel oleh keempat sensor yang bekerja, dan ruangan bawah adalah tempat elektronika yang menggabungkan sistem wiring dari sensor, mikrokontroler, LCD dan komponen pendukung lainnya.

Pada desain Box dirancang dapat memuat empat sensor pada area tengah. Kemudian dibuatkan port input sebagai tempat masuknya sample gas buang dan port output yang dipasang kipas angin agar menyedot keluar sample gas yang masuk pada ruang pembacaan karena proses pembacaan yang bersifat kontinu. Pada area pembacaan dibuatkan sekat melintang agar sample gas buang dari mesin menjadi lebih turbulen di area pembacaan agar proses pembacaan lebih maksimal.

3.6 Skema Pengujian

Pada tahapan ini alat sudah selesai dibuat dan diperlukan proses pengujian agar mendapatkan nilai yang valid. Maka dari itu sebelum alat digunakan sebagai alat ukur tetap pada konsentrasi gas metana dari gas buang mesin diesel dual fuel, dilakukan beberapa pengujian untuk memvalidasi hasil pembacaan oleh alat. Proses validasi dilakukan dengan cara pengkalibrasian terhadap gas kalibrator dan kemudian diuji kembali untuk melihat tingkat keakurasian hasil pembacaan alat.

Tahapan skema pengujian alat pada penelitian ini adalah

A. Pembuatan Gas Kalibrator dan Proses Kalibrasi

Sebuah alat ukur harus tervalidasi nilainya karena menjadi acuan untuk pengambilan data yang penting. Dalam pembuatan sebuah alat ukur hal utama yang harus diperhatikan adalah bagaimana cara agar memvalidasi output nilai dari pembacaan oleh alat terhadap suatu kadar gas. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan untuk memvalidasi alat ukur agar sesuai dengan standar adalah dengan membuat secara nyata gas pembanding untuk keperluan pengukuran alat.

Pembuatan gas kalibrator dilakukan secara manual dengan cara mencampurkan dua fluida gas yang berbeda yaitu gas metana dan gas inert. Gas inert diperlukan sebagai gas pencampur dengan gas metana agar tidak terjadi reaksi eksplosif dikarenakan sifat dari gas metana yang mudah terbakar maka dari itu digunakan gas yang bersifat inert agar meredam proses reaktif campuran gas. Gas inert yang digunakan adalah gas nitrogen. Dan untuk sumber gas metana menggunakan *Compressed Natural Gas* karena gas tersebut mengandung banyak gas metana CH₄.



Gambar 3. 13 Tabung Gas Nitrogen



Gambar 3. 14 Tabung CNG

Proses pencampuran gas antara metana dengan nitrogen dilakukan secara perbandingan volume sehingga menjadi beberapa variasi kandungan metana terhadap campuran gas. Untuk mengambil volume dari CNG menggunakan suntikan kecil berkapasitas 1 mL dikarenakan pada penelitian ini kandungan gas yang dibutuhkan berskala kecil. Dan untuk pengambilan volume gas nitrogen dilakukan dengan memanfaatkan sensor flowrate sehingga dapat dihitung berapa volume yang masuk kedalam wadah yang sudah disediakan.



Gambar 3. 15 Suntikan 1 mL



Gambar 3. 16 Flow Sensor

B. Pengujian Akurasi Nilai Pembacaan

Setelah proses pemrograman untuk keperluan kalibrasi sensor pada alat terselesaikan, selanjutnya alat ukur perlu melakukan pengujian untuk mengecek performa kerja dari pembacaan masing-masing sensor. Analisa performa menunjukkan seberapa besar keakuratan masing-masing sensor dalam membaca kandungan gas metana pada gas campuran. Analisa performa tersaji dalam bentuk persentase nilai error pembacaan terhadap nilai kandungan gas perbandingan yang sebenarnya.

C. Pengujian pada Mesin Diesel Dual Fuel

Setelah alat terkalibrasi, alat kemudian dapat digunakan pada pengujian monitoring emisi gas metana tidak terbakar pada gas buang mesin diesel dual fuel. Pengujian dilakukan dengan cara pengambilan beberapa sampel gas buang dari mesin diesel dual fuel pada tiap variasi kondisi operasi mesin.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

Analisa Data

4.1 Pemrograman Arduino IDE

Fungsi dari pemrograman adalah sebagai bentuk perintah atau instruksi untuk mengolah data input sehingga akan membentuk data output yang sudah direncanakan. Data input pada penelitian ini diperoleh dari empat buah jenis sensor gas metana yaitu sensor MQ-4, sensor MQ-7, sensor TGS2600 dan sensor TGS3870. Dalam penelitian ini pemrograman khusus dibutuhkan untuk mengolah data inputan dari sensor gas tersebut sehingga akan menghasilkan data output berupa jumlah besaran ppm dalam suatu kandungan gas buang mesin diesel *dual fuel* dengan penambahan CNG. Data output yang berupa nilai kandungan ppm gas metana akan ditampilkan melalui LCD 16x4 secara *real time* dan hasil pembacaan tiap detiknya akan tercatat langsung oleh Ms. Excel melalui program khusus yang menghubungkan mikrokontroler Arduino dengan Ms. Excel.

Pemrograman untuk penelitian ini menggunakan mikrokontroler Arduino. Pada *software* Arduino IDE terdiri dari dua bagian utama fungsi program. Bagian pertama yaitu bagian *void setup* yang bentukan *coding* bersifat menyeluruh untuk keseluruhan *listing program* pada Arduino IDE. Kemudian bagian kedua adalah *void loop* dimana *listing program* pada bagian ini bersifat berulang-ulang untuk siklus waktu yang sudah diatur sesuai dengan perencanaan awal program dengan menggunakan fungsi *delay*. Untuk pengaturan awal *programming* Arduino IDE maka harus dijabarkan dahulu melalui fungsi *void setup* sehingga bentuk *coding program* seperti berikut

```
int MQ4Value = analogRead(A1); // membaca nilai ADC sensor MQ4
int MQ7Value = analogRead(A2); // membaca nilai ADC sensor MQ7
int TGS2600Value = analogRead(A3); // membaca nilai ADC sensor TGS2600
int TGS3870Value = analogRead(A0); // membaca nilai ADC sensor TGS3870
#include "Wire.h" // Untuk Modul I2C
#include "LCD.h" // Untuk LCD
#include "LiquidCrystal_I2C.h" // Menam bahkan library*
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,2,1,0,4,5,6,7); //default I2C

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin (16,4); // 16 x 4 LCD module
  lcd.setBacklightPin(3,POSITIVE); // BL, BL_POL
  lcd.setBacklight(HIGH);
}
```

Gambar 4. 1 Pemrograman pada void setup

Pada pemrograman awal sangat penting untuk memberi perintah agar dapat ditentukan untuk data inputan sensor agar tidak tertukar dengan data sensor yang lain, maka dari itu dilakukan penegasan pada program di tiap-tiap input sensor sesuai dengan tempatnya masing-masing mulai dari Analog Input 0 sampai dengan Analog Input 3. Setelah masing-masing port input didetailkan fungsi kerjanya sebagai pembaca data analog sensor gas, dapat dilanjutkan dengan pemrograman spesifik untuk mengkonversi nilai analog menjadi nilai ppm melalui proses numerik program. Untuk kebutuhan pemrograman komponen LCD 16x4, pemrograman awal dibutuhkan untuk menambahkan library masukan untuk komponen LCD itu sendiri.

Setelah perancangan program pada *void setup* untuk indikator utama sudah terpenuhi, maka dilanjutkan dengan pemrograman yang lebih detail untuk masing-masing sensor sesuai dengan karakteristiknya masing-masing. Pemrograman untuk masing-masing pengolahan data sensor dilanjutkan pada *void loop* karena pada program ini bersifat diulang-ulang selama beberapa waktu. Untuk *listing program* lengkapnya dibahas sebagai berikut

4.1.1 Pemrograman Sensor MQ-4

Sensor MQ-4 memanfaatkan perubahan nilai resistansi sebagai acuan untuk konversi menjadi besaran ppm. Perubahan resistansi dapat dikalkulasi dengan adanya nilai inputan sensor yang bersifat analog dan dijadikan besaran nilai voltase atau tegangan ADC yang dihasilkan oleh sensor melalui persamaan seperti berikut

$$V_{RL} = \left(\frac{5.00 \times Analog}{1024} \right)$$

Melalui persamaan seperti diatas dapat dicari nilai resistansi sensor. Persamaan yang digunakan untuk mencari besarnya nilai resistansi sensor adalah sebagai berikut

$$R_s = \left(\frac{V_c}{V_{RL}} - 1 \right) \times R_L$$

dimana,

R_s = Nilai Resistansi

V_c = Tegangan Input (5 Volt)

V_{RL} = Tegangan ADC

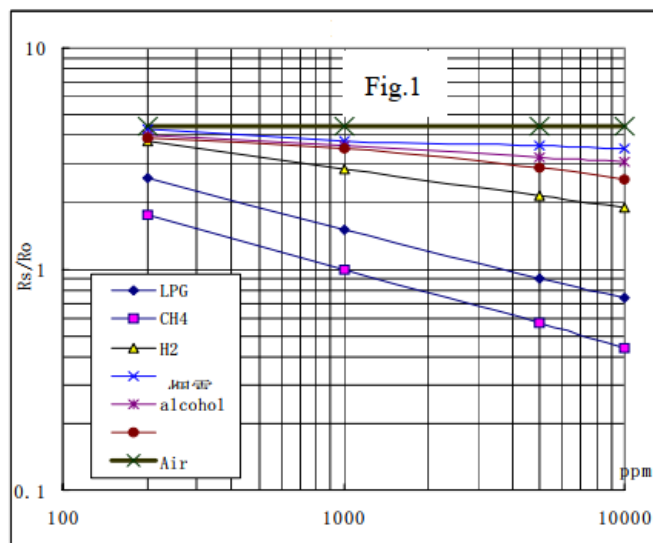
R_L = Load Resistance (tertera pada modul sensor)

Persamaan yang sudah direncanakan sebelumnya kemudian dimasukkan kedalam *listing program* seperti pada gambar berikut

```
int MQ4Value = analogRead(A1); // membaca nilai ADC sensor MQ4
MQ4_ADC = MQ4Value*5.00/1024; // mengubah nilai ADC menjadi volt
Rs_MQ4 = ((5.00/MQ4_ADC)-1)*RL_MQ4; // membaca nilai RS
ratio_MQ4 = Rs_MQ4/Ro_MQ4; // ratio = RS/R0
```

Gambar 4. 2 Pemrograman void loop awal MQ-4

Setelah mendapatkan nilai resistansi R_s , kemudian menggunakan perbandingan R_s/R_o dimana R_o merupakan nilai resistansi yang dihasilkan ketika udara bebas dari kandungan gas metana, akan menghasilkan besaran ppm sesuai dengan grafik yang terdapat pada *Product Guide Sensor*.



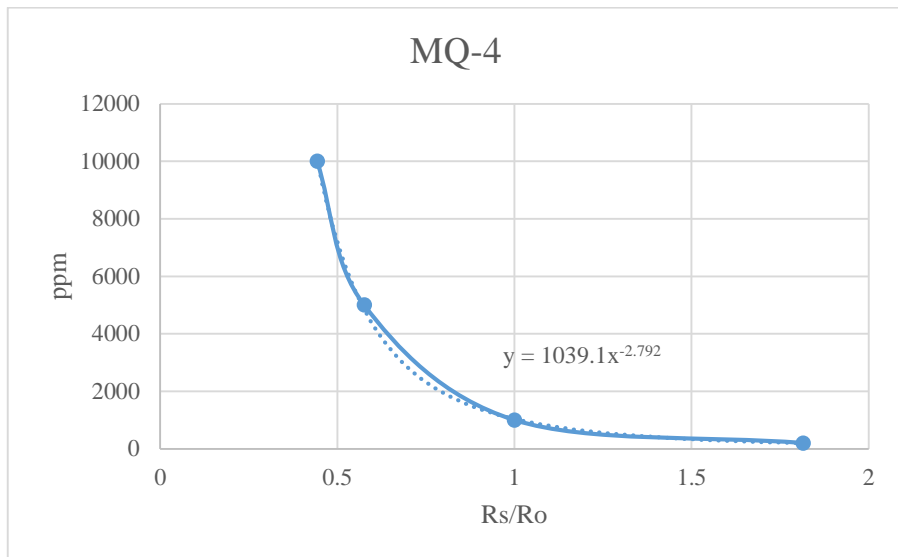
Gambar 4. 3 Perbandingan R_s/R_o dengan PPM MQ-4

Dari grafik tersebut diambil beberapa titik sebagai acuan dan didapatkan titik-titik pengambilan yaitu

Tabel 4. 1 Titik Pengambilan Perbandingan MQ-4

MQ-4	
ppm CH4	R_s/R_o
200	1.815
1000	1
5000	0.576
10000	0.443

Dengan titik tersebut akan dibuat grafik pada Microsoft Excel agar mendapatkan persamaan garis yang terbuat. Grafik yang dihasilkan dengan penentuan titik tersebut adalah.



Gambar 4. 4 Grafik Perbandingan Rs/Ro dengan ppm MQ-4

Setelah melakukan plotting kembali pada Ms. Excel, didapatkan pendekatan garis yang didapatkan adalah dengan persamaan $y=1039.1x^{-2.792}$ dimana absis x adalah nilai dari Rs/Ro dan sumbu y adalah nilai dari ppm hasil dari pembacaan sensor. Grafik tersebut berperan sebagai persamaan matematis yang berfungsi untuk mengkonversi nilai dari Rs/Ro menjadi besaran nilai ppm gas metana.

Untuk pemrograman mulai dari data input awal berbentuk data analog sudah lengkap sampai dengan konversi nilai Rs/Ro menjadi ppm. Kemudian nilai yang belum ditentukan adalah nilai dari Ro itu sendiri. Ro merupakan suatu nilai yang tetap selama proses pembacaan berlangsung. Ro untuk sensor MQ4 adalah besarnya resistansi yang didapatkan ketika sensor mendeteksi kandungan gas metana sebesar 1000 ppm. Maka dari itu untuk menentukan besar nilai Ro dilakukan percobaan dengan cara sensor melakukan pendeteksian terhadap gas yang mengandung 1000 ppm gas metana dan dikalkulasi seperti persamaan untuk mencari Rs dikarenakan Rs/Ro ketika 1000 ppm adalah bernilai 1. Maka nilai Rs yang keluar pada saat mendeteksi 1000 ppm merupakan nilai dari Ro sensor MQ-4

$$R_s = \left(\frac{5.00}{V_{\text{sensor}}} - 1 \right) \times R_L$$

$$R_s = \left(\frac{5.00}{1.8} - 1 \right) \times 1000$$

$$R_s = 1778$$

Maka didapat nilai R_o adalah sebesar nilai R_s yaitu 1778 kemudian nilai R_o dimasukkan kedalam program yang disetting nilai R_o pada void setup.

```
float MQ4_ADC; // mengubah nilai ADC menjadi volt
float Rs_MQ4; // Mendapatkan nilai RS Sensor MQ4 dalam gas
float ratio_MQ4; // Mencari ratio RS_GAS/RS_air MQ4
long RL_MQ4 = 1000; // nilai R pada modul MQ 4 = 1Kohm
int MQ4Value = analogRead(A1); // membaca nilai ADC sensor MQ4
MQ4_ADC = MQ4Value*5.00/1024; // mengubah nilai ADC menjadi volt
Rs_MQ4 = ((5.00/MQ4_ADC)-1)*RL_MQ4; // membaca nilai RS
ratio_MQ4 = Rs_MQ4/Ro_MQ4; // ratio = RS/R0
float ppmMQ4 = 1039.1*pow(ratio_MQ4,-2.792); // persamaan garis
```

Gambar 4. 5 Pemrograman Sensor MQ-4

4.1.2 Pemrograman Sensor MQ-7

Sensor MQ-7 sebagai sensor pendeteksi tipe multi-gas sensor dapat mendeteksi bervariasi jenis gas termasuk gas metana CH_4 dapat dikhususkan untuk hanya membaca gas metana dengan pengaturan perubahan grafik untuk gas metana saja. Sebelum itu harus dilakukan matematis dulu melalui *programming* dengan data mentahan adalah data analog sensor yang kemudian akan didapatkan hasil tegangan ADC sensor dengan persamaan berikut

$$V_{RL} = \left(\frac{5.00 \times Analog}{1024} \right)$$

Melalui persamaan seperti diatas dapat dicari nilai resistansi sensor. Persamaan yang digunakan untuk mencari besarnya nilai resistansi sensor adalah sebagai berikut

$$R_s = \left(\frac{V_c}{V_{RL}} - 1 \right) \times R_L$$

dimana,

R_s = Nilai Resistansi

V_c = Tegangan Input (5 Volt)

V_{RL} = Tegangan ADC

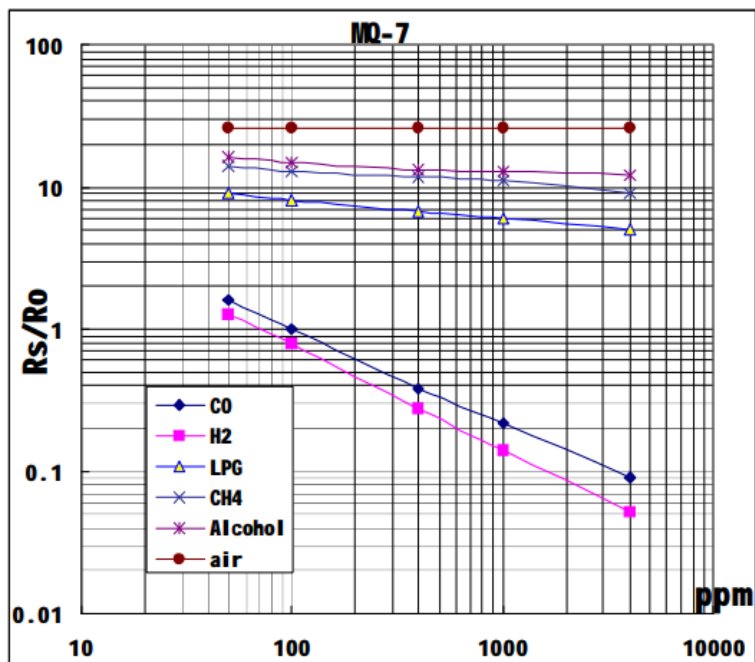
R_L = Load Resistance (tertera pada modul sensor)

Persamaan yang sudah direncanakan sebelumnya kemudian dimasukkan kedalam *listing program* seperti pada gambar berikut

```
float MQ7_ADC; // mengubah nilai ADC menjadi volt
float Rs_MQ7; // Mendapatkan nilai RS Sensor MQ7 dalam gas
float ratio_MQ7; // Mencari ratio RS_GAS/RS_air MQ4
long RL_MQ7 = 1000; // nilai R pada modul MQ 7 = 1Kohm
int MQ7Value = analogRead(A2); // membaca nilai ADC sensor MQ7
MQ7_ADC = MQ7Value*5.00/1024; // mengubah nilai ADC menjadi volt
Rs_MQ7 = ((5.00/MQ7_ADC)-1)*RL_MQ7; // membaca nilai RS
ratio_MQ7 = Rs_MQ7/Ro_MQ7; // ratio = RS/R0
```

Gambar 4. 6 Pemrograman void loop awal MQ-7

Setelah mendapatkan nilai resistansi Rs, kemudian menggunakan perbandingan Rs/Ro dimana Ro merupakan nilai resistansi yang dihasilkan ketika udara bebas dari kandungan gas metana, akan menghasilkan besaran ppm sesuai dengan grafik yang terdapat pada *Product Guide Sensor*.



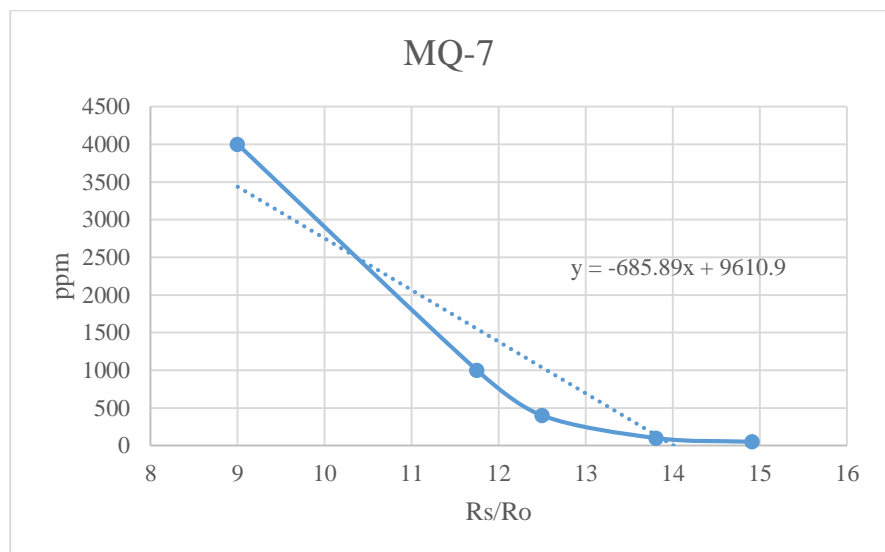
Gambar 4. 7 Perbandingan Rs/Ro dengan PPM MQ-7

Dari grafik tersebut diambil beberapa titik sebagai acuan dan didapatkan titik-titik pengambilan yaitu

Tabel 4. 2 Titik Pengambilan Perbandingan MQ-7

MQ-7	
ppm CH4	Rs/Ro
50	14.91
100	13.81
1000	11.75
4000	9

Dengan titik tersebut akan dibuat grafik pada Ms. Excel agar mendapatkan persamaan garis yang terbuat. Grafik yang dihasilkan dengan penentuan titik tersebut adalah.



Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Rs/Ro dengan ppm MQ-7

Setelah diplotting ulang pada software Ms. Excel, didapatkan persamaan garis yang berupa garis linear dengan persamaan $y = -685.89x + 9610.9$ dimana nilai x adalah R_s/R_o dan sumbu y adalah hasil dari ppm gas metana. Persamaan inilah yang dimasukkan kedalam program perintah di Arduino IDE untuk mengkonversi nilai R_s/R_o menjadi nilai ppm.

Data selanjutnya yang dibutuhkan adalah nilai R_o . Untuk sensor MQ-7 nilai R_s/R_o pada saat mendeteksi 100 ppm gas metana adalah sebesar 8. Sehingga dari hal tersebut dapat dicari nilai dari R_o dimulai dengan menghitung besarnya nilai R_s sensor MQ-7 ketika mendeteksi gas 100 ppm metana. Mencari nilai R_s MQ-7 dapat dengan cara berikut

$$R_s = \left(\frac{5.00}{V_{sensor}} - 1 \right) \times R_L$$

$$R_s = \left(\frac{5.00}{0.4} - 1 \right) \times 1000$$

$$R_s = 11500$$

Nilai R_s/R_o pada saat mendeteksi 100 ppm adalah 13.8, maka dari itu

$$R_s/R_o = 13.8$$

$$R_o = R_s/13.8$$

$$R_o = 11500/13.8$$

$$R_o = 833$$

Nilai R_o diketahui adalah sebesar 833 dan ini adalah nilai yang tetap untuk keperluan sensor MQ-7 yang kemudian dimasukkan kedalam program perintah Arduino yang menegaskan bahwa nilai R_o MQ-7 adalah sebesar 833.

```
float MQ7_ADC; // mengubah nilai ADC menjadi volt
float Rs_MQ7; // Mendapatkan nilai RS Sensor MQ7 dalam gas
float ratio_MQ7; // Mencari ratio RS_GAS/RS_air MQ4
long RL_MQ7 = 1000; // nilai R pada modul MQ 7 = 1Kohm
int MQ7Value = analogRead(A2); // membaca nilai ADC sensor MQ7
MQ7_ADC = MQ7Value*5.00/1024; // mengubah nilai ADC menjadi volt
Rs_MQ7 = ((5.00/MQ7_ADC)-1)*RL_MQ7; // membaca nilai RS
ratio_MQ7 = Rs_MQ7/Ro_MQ7; // ratio = RS/R0
float ppmMQ7 = -685.89*ratio_MQ7+9610.9; // persamaan
```

Gambar 4. 9 Pemrograman Sensor MQ-7

4.1.3 Pemrograman Sensor TGS2600

Pada sensor TGS2600 memiliki karakteristik yang sama dimana menggunakan perubahan resistansi sebagai data inputan sensor. Perbedaan karakteristiknya adalah persamaan yang digunakan untuk menghasilkan besaran dari nilai resistansi atau R_s . Persamaan yang digunakan untuk kebutuhan sensor TGS2600 adalah sebagai berikut

$$R_s = \left(\frac{V_{cxRL}}{V_{out}} \right) - R_L$$

Dimana

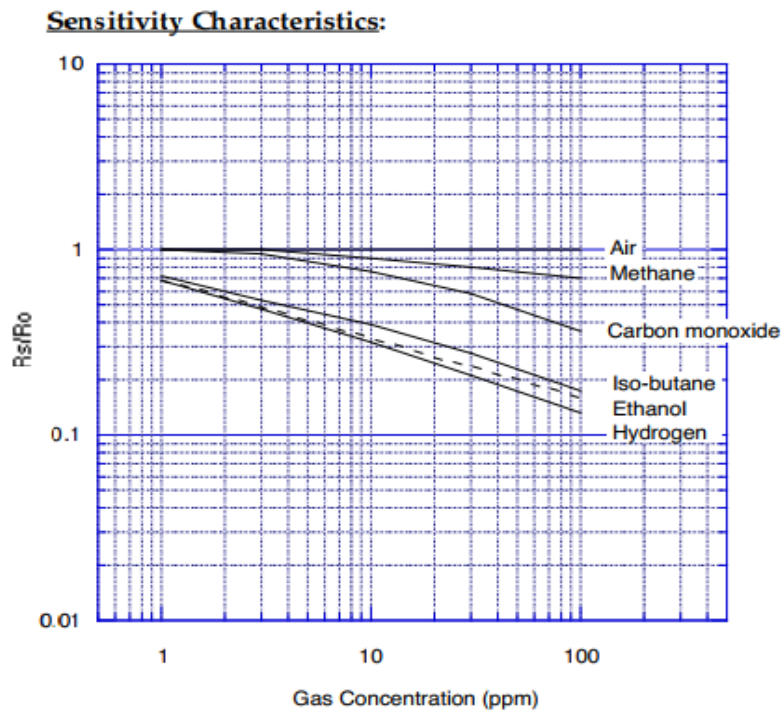
R_s = Nilai Resistansi

V_c = Tegangan Input (5 Volt)

V_{out} = Tegangan ADC

R_L = Load Resistance (tertera pada modul sensor)

Kemudian setelah mendapatkan nilai R_s maka membutuhkan nilai R_o juga dimana R_o didapatkan dimana kondisi normal sensor tidak mendeteksi kandungan gas yang mudah terbakar pada udara lingkungan. Setelah mendapatkan nilai R_s/R_o maka dikonversi menjadi besaran PPM dengan cara konversi menggunakan grafik yang sudah disediakan pada *product guide* sensor TGS2600.



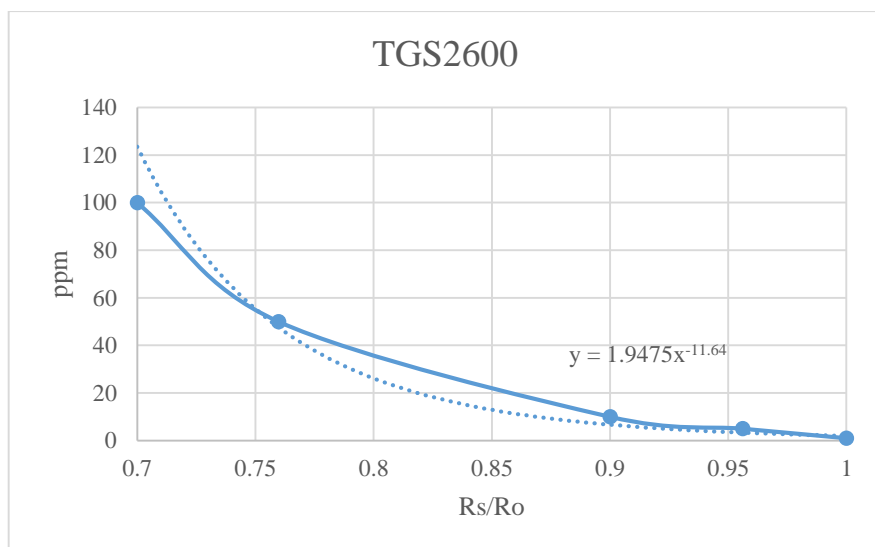
Gambar 4. 10 Perbandingan R_s/R_o dengan ppm TGS2600

Targetan gas adalah gas metana maka ditunjuk titik pada garis yang menunjukkan identitas metana. Kemudian dibuat grafik yang sama pula dalam Ms. Excel agar dapat diketahui persamaan yang dihasilkan oleh grafik tersebut. Titik yang diambil adalah sebagai berikut

Tabel 4. 3 Titik Perpotongan Rs/Ro dengan ppm TGS2600

TGS2600	
ppm CH4	Rs/Ro
1	1
5	0.956
10	0.9
50	0.7598
100	0.7

Dengan titik-titik tersebut kemudian dibuat grafik pada Ms. Excel dan didapatkan bentuk grafik dan persamaan seperti grafik berikut



Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Rs/Ro dengan ppm TGS2600

Persamaan yang dihasilkan pada garis yang mendekati grafik perpotongan tersebut adalah $y=1.9475x^{-11.64}$ dimana x menunjukkan besaran Rs/Ro, dan sumbu y menunjukkan besaran ppm gas metana. Kemudian persamaan tersebut dimasukkan kedalam perintah program Arduino IDE yang bekerja untuk pengoperasian sensor TGS2600.

Kemudian step terakhir dalam pemrograman mencari nilai ppm adalah belum diketahuinya nilai Ro. Maka dari itu dilakukan perhitungan manual untuk mencari nilai Ro sensor TGS2600. Nilai Rs/Ro TGS2600 adalah 1 ketika sensor mendeteksi udara bersih yaitu nol ppm gas metana. Maka nilai Ro sensor TGS2600 adalah sama dengan nilai Rs ketika sensor ketika tidak mendeteksi kandungan gas metana atau udara bersih.

Maka dilakukanlah perhitungan untuk mencari nilai R_s ketika sensor TGS2600 tidak mendeteksi adanya kandungan gas metana dengan anggapan nilai udara bersih adalah nol ppm gas metana.

$$R_s = \left(\frac{V_{cxRL}}{V_{out}} \right) - RL$$

$$R_s = \left(\frac{5.00 \times 1000}{0.35} \right) \times 1000$$

$$R_s = 13285$$

Nilai R_s ketika mendeteksi nol ppm gas metana adalah sebesar 13285 dan dikarenakan nilai R_s/R_o ketika mendeteksi nol ppm adalah 1, maka dapat dikatakan bahwa nilai R_s sama dengan nilai R_o . Sehingga nilai R_o untuk dasar pemrograman sensor TGS2600 adalah sebesar 13285. Nilai tersebut dimasukkan kedalam fungsi programming untuk menegaskan nilai R_o TGS2600 yang bersifat konstan.

```
float TGS2600_ADC; // mengubah nilai ADC menjadi volt
float Rs_TGS2600; // Mendapatkan nilai RS Sensor TGS2600 dalam gas
float ratio_TGS2600; // Mencari ratio RS_GAS/RS_air TGS2600
long RL_TGS2600 = 1000; // nilai R pada modul TGS2600 = 1Kohm
int TGS2600Value = analogRead(A3); // membaca nilai ADC sensor
TGS2600_ADC = TGS2600Value*5.00/1024; // mengubah nilai ADC - volt
Rs_TGS2600 = (5.00*RL_TGS2600/TGS2600_ADC)-RL_TGS2600;
ratio_TGS2600 = Rs_TGS2600/Ro_TGS2600; // ratio = RS/R0
float ppmTGS2600 = 1.9475*pow(ratio_TGS2600,-11.64); // persamaan
```

Gambar 4. 12 Pemrograman Sensor TGS2600

4.1.4 Pemrograman Sensor TGS3870

Sensor TGS3870 juga memanfaatkan perubahan nilai resistansi sebagai acuan untuk konversi menjadi besaran ppm. Sensor TGS3870 memiliki ketentuan berbeda dalam perencanaan program koding menentukan besaran nilai R_s dikarenakan R_s juga dipengaruhi oleh besaran nilai tegangan pemanas sensor. Persamaan R_s untuk TGS3870 adalah sebagai berikut

$$R_s = \left(\frac{V_{RS}-0.5V_H}{V_C-V_{RS}} \right) \times R_L$$

Dimana

R_s = Nilai Resistansi

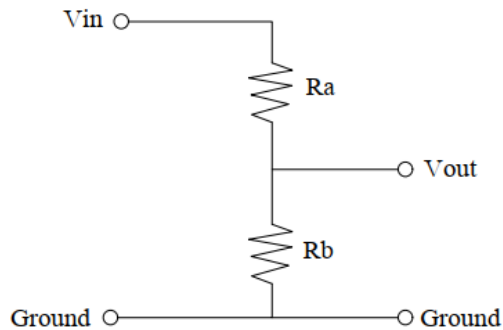
V_c = Tegangan Input (5 Volt)

V_{RS} = Tegangan ADC

V_H = Tegangan Pemanas

R_L = Load Resistance (tertera pada modul sensor)

Untuk menghasilkan tegangan sebesar 0,9 volt dan 0,2 volt menggunakan metode pembagian tegangan dengan memanfaatkan resistor. Dikarenakan tegangan inputan untuk heater menggunakan sumber tegangan dari Arduino maka tegangan yang dihasilkan adalah sebesar 5 volt. Untuk menghasilkan output tegangan yang direncanakan digunakan rangkaian sebagai berikut



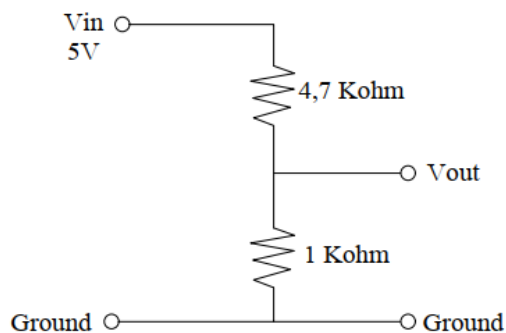
Gambar 4. 13 Gambar Rangkaian Pembagi Tegangan

$$V_{out} = V_{in} \times \left(\frac{R_b}{R_a + R_b} \right)$$

Tegangan yang dibutuhkan untuk suplai heater adalah sebesar 0,9 volt dan 0,2 volt secara berkala bergantian selama 20 detik. Untuk tegangan sebesar 0,9 volt digunakan resistor sebesar 4,7K Ω dan 1K Ω . Sementara untuk menghasilkan tegangan sebesar 0,2 volt digunakan dua buah resistor sebesar 4,7K Ω dan 200 Ω .

Untuk detail rangkaian dan perhitungan dapat dilihat sebagai berikut.

Penghasil tegangan 0,9 volt.



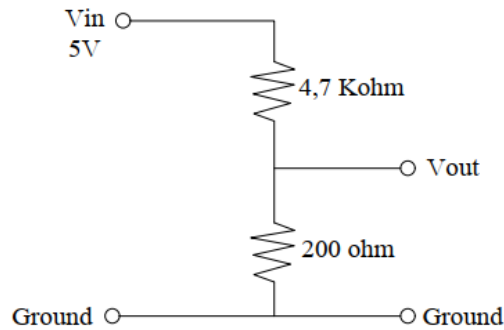
Gambar 4. 14 Rangkaian Penghasil Tegangan 0.9 Volt

$$V_{out} = V_{in} \times \left(\frac{R_b}{R_a + R_b} \right)$$

$$V_{out} = 5 \times \left(\frac{1}{4,7+1} \right)$$

$$V_{out} = 0,877 \text{ volt} \sim 0,9 \text{ Volt}$$

Penghasil tegangan 0,2 volt



Gambar 4. 15 Rangkaian Penghasil Tegangan 0.2 Volt

$$V_{out} = V_{in} \times \left(\frac{R_b}{R_a + R_b} \right)$$

$$V_{out} = 5 \times \left(\frac{0,2}{4,7+0,2} \right)$$

$$V_{out} = 0,204 \text{ Volt} \sim 0,2 \text{ Volt}$$

Untuk mengecek kembali kepastian dari hasil rangkaian dan perhitungan dipastikan menggunakan volt meter agar tegangan yang dihasilkan akurat pada 0,9 volt dan 0,2 volt. Kemudian untuk pergantian secara berkala diatur melalui mikorkontroler Arduino dengan mengatur coding program menggunakan system delay.

```
int TGS3870 = A0; //Sensor Pin
void setup() {
  pinMode(7, OUTPUT);
  pinMode(TGS3870, INPUT);
  Serial.begin(9600);

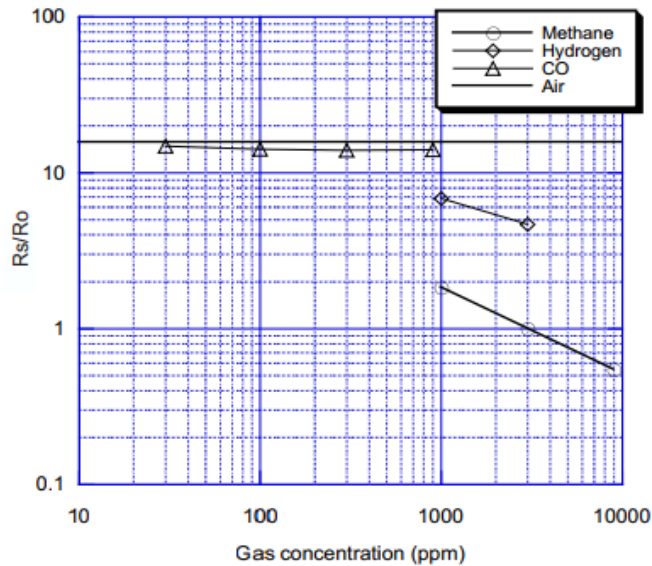
  void loop() {

    digitalWrite(7, HIGH);
    delay(15000);
    digitalWrite(7, LOW);
    Serial.println("0,0");
    delay(5000);
  }
}
```

Gambar 4. 16 Programming untuk Delay Tegangan Heater

Setelah rangkaian untuk menghasilkan voltase sesuai dengan kebutuhan sensor, maka langkah selanjutnya dapat menghitung nilai resistansi R_s , kemudian menggunakan perbandingan R_s/R_o untuk nilai konversi menjadi ppm gas metana. Persamaan untuk mengkonversi dari R_s/R_o menjadi ppm gas metana terdapat sebuah grafik yang menerangkan hubungan tiap perpotongan R_s/R_o dengan nilai ppm.

Sensitivity Characteristics (methane):



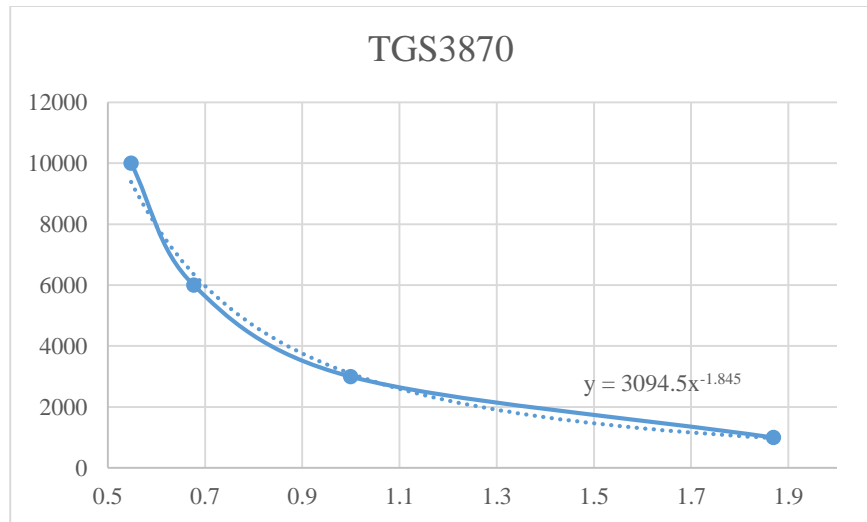
Gambar 4. 17 Perbandingan R_s/R_o dengan ppm TGS3870

Dari grafik tersebut diambil beberapa titik sebagai acuan dan didapatkan titik perpotongan untuk diplotting kembali agar mendapatkan persamaan garis yang mendekati

Tabel 4. 4 Titik Perpotongan R_s/R_o dengan ppm TGS3870

TGS3870	
ppm CH4	R_s/R_o
1000	1.845
3000	1
6000	0.677
10000	0.548

Dengan titik tersebut akan dibuat grafik pada Ms. Excel agar mendapatkan persamaan garis yang terbuat. Grafik yang dihasilkan dengan penentuan titik tersebut adalah.



Gambar 4. 18 Grafik Perbandingan Rs/Ro dengan ppm TGS3870

Pendekatan garis sesuai dengan plottingan titik perpotongan yang diambil, didapatkan sebuah grafik yang mendekati dengan persamaan $y=3094.5x^{-1.845}$ dimana nilai sumbu x adalah Rs/Ro dan sumbu y menerangkan nilai ppm gas metana untuk sensor TGS3870. Persamaan tersebut kemudian dimasukkan kedalam program mikrokontroler untuk media pengubah nilai Rs/Ro menjadi nilai ppm.

Kemudian step terakhir dalam pemrograman mencari nilai ppm adalah belum diketahuinya nilai Ro. Maka dari itu dilakukan perhitungan manual untuk mencari nilai Ro sensor TGS3870. Cara untuk mencari nilai Ro sensor TGS3870 adalah dengan mendeteksi sensor TGS3870 pada kadar gas 1000 ppm gas metana dan dengan menggunakan persamaan grafik yang tersedia maka akan dapat diketahui nilai dari Ro untuk sensor TGS3870.

Persamaan garis untuk konversi Rs/Ro menjadi ppm adalah

$$Y = 3094.5x^{-1.845}$$

$$1000 = 3094.5x^{-1.845}$$

$$0.323 = x^{-1.845}$$

$$X = 1.845$$

Maka, nilai Rs/Ro adalah sebesar 1.845. dengan mencari nilai Rs pada saat mendeteksi 1000 ppm gas metana akan dapat didapatkan nilai dari Ro sensor TGS3870. Nilai Rs dari sensor TGS3870 didapatkan langsung melalui pemrograman mikrokontroler Arduino dengan programming seperti berikut

$$R_s_TGS3870 = ((TGS3870_ADC - (0.5 * 0.9)) / (5 * TGS3870_ADC)) * RL_TGS3870;$$

Pada saat mendeteksi kandungan 1000 ppm gas metana, sensor TGS3870 mengeluarkan nilai sebesar 3412.2 maka dari itu didapatkan nilai R_o sebesar.

$$R_s/R_o = 1.845$$

$$R_o = R_s/1.845$$

$$R_o = 3412.2/1.845$$

$$R_o = 1849.43$$

Nilai R_o dari sensor TGS3870 adalah sebesar 1849.43 dan dimasukkan kedalam pemrograman yang menjelaskan bahwa nilai R_o untuk sensor TGS3870 adalah sebesar 1849.43 dan bersifat konstan.

```
float TGS3870_ADC; // mengubah nilai ADC menjadi volt
float Rs_TGS3870; // Mendapatkan nilai RS Sensor TGS3870 dalam gas
float ratio_TGS3870; // Mencari ratio RS_GAS/RS_air TGS3870
long RL_TGS3870 = 1000; // nilai R pada modul TGS3870 = 1Kohm
int TGS3870Value = analogRead(A0); // membaca nilai ADC
TGS3870_ADC = TGS3870Value*5.00/1024; // mengubah nilai ADC - volt
Rs_TGS3870 = ((TGS3870_ADC - (0.5*0.9)) / (5*TGS3870_ADC)) * RL_TGS3870;
ratio_TGS3870 = Rs_TGS3870/Ro_TGS3870; // ratio = RS/R0
float ppmTGS3870 = 3094.5*pow(ratio_TGS3870, -1.845); // persamaan
```

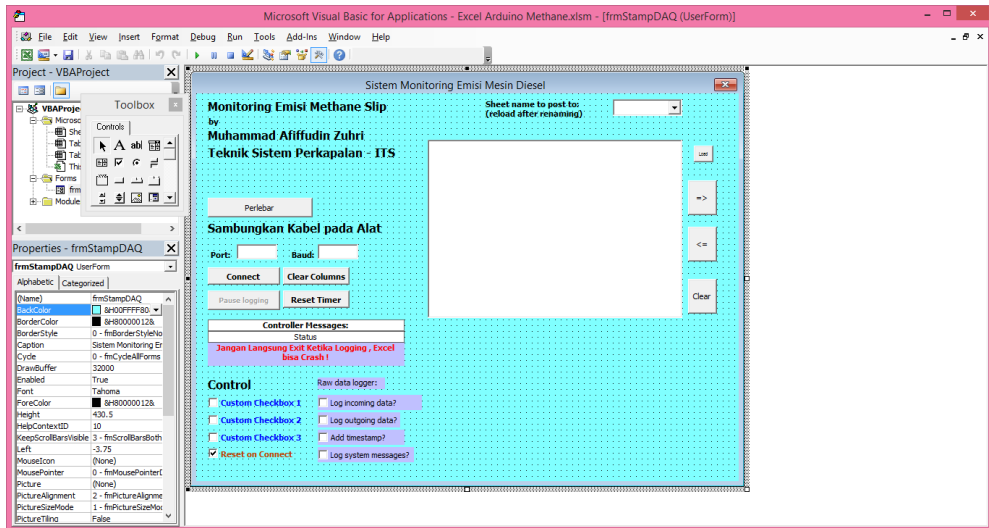
Gambar 4. 19 Programming Sensor TGS3870

4.2 Pemrograman Data Logger Ms. Excel

Sifat dari pembacaan oleh alat ukur yang menggunakan mikrokontroler Arduino bersifat *looping* yang berarti proses pembacaan dapat berulang-ulang untuk mendapatkan data input dengan selang waktu pembacaan yang diatur melalui sistem *delay*. Pembacaan yang menghasilkan banyak data pada tiap waktu akan seketika menghilang jika tidak ada ada sistem perekam nilai bacaan tiap waktunya karena *looping* yang bergantian. Maka dari itu diperlukan sistem *recording data* untuk merekam hasil pembacaan setiap waktu mikrokontroler bereaksi melakukan proses pembacaan. Sistem seperti ini dinamakan sebagai proses *data logging*.

Sistem *data logging* dapat menggunakan berbagai macam bentuk aplikasi. Dalam proses ini digunakan sistem *data logging* menggunakan Microsoft Excel. Penggunaan Ms. Excel dapat digunakan sebagai *data logger* dengan cara menghubungkan data serial Arduino IDE dari hasil pembacaan melalui pemrograman `serial.print` dan dikirim kepada Ms. Excel secara *real time*.

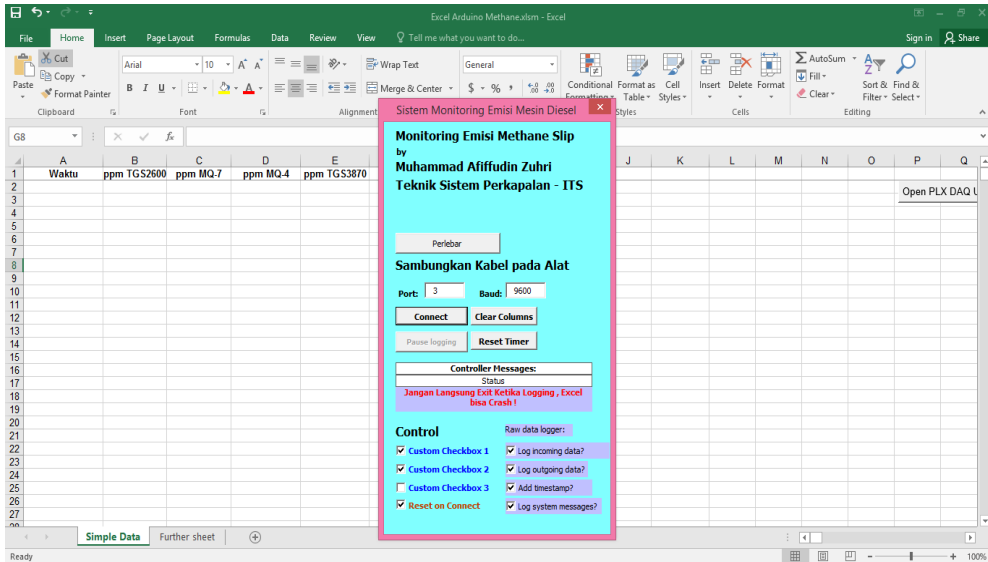
Dalam penggunaan Ms. Excel juga dibuatkan bentuk interaktif pada awal bukaan program agar sistem programming untuk *data logger* tidak terlihat rumit karena data dari pembacaan alat yang bersifat harus mudah dipahami oleh banyak operator. Dan untuk memudahkan pengoperasian awal, dibuatkan pemrograman visual basic macro excel. Langkah pertama dibuatkan dahulu template interface yang akan muncul ketika operator membuka file excel tersebut.



Gambar 4. 20 Tampilan Pemrograman Visual Basic Macro Excel

Pada template interface diatur berbagai penempatan *tools* yang memiliki kegunaan masing-masing. Pemrograman untuk visual basic macro excel memiliki segi pemrogramannya sendiri yang kemudian disambungkan dengan program Arduino IDE. Sistem komunikasi yang menghubungkan antara Arduino dan Visual Basic Macro Excel berupa data serial dari Arduino dan dibuatkan *tools* tombol “connect” yang akan menjadi tombol untuk menerima data serial Arduino agar langsung dikirim ke kolom yang ada pada Ms. Excel.

Pengaturan kolom yang akan muncul pada proses pembacaan pada Ms. Excel bergantung pada setup program pada Arduino IDE. Tampak hasil awal untuk konfirmasi hubungan antara Ms. Excel dengan Arduino IDE seperti pada gambar berikut.



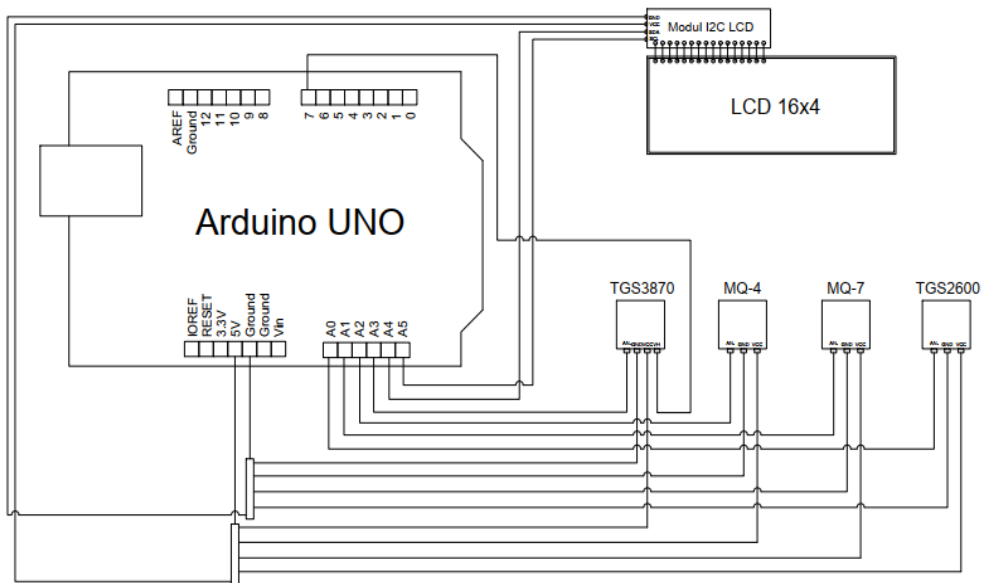
Gambar 4. 21 Tampilan Interface Awal pada Ms. Excel

4.3 Skematik Rangkaian Rancang Bangun

Penelitian bertujuan untuk mendeteksi kandungan gas metana dengan jangka pembacaan yang panjang mulai dari 0 ppm sampai dengan 10000ppm kandungan gas metana sehingga menggunakan empat buah sensor yang karakteristiknya berbeda-beda menjadi satu bagian dalam pemrograman mikrokontroler. Penggunaan empat buah sensor setidaknya jenis dari *hardware* mikrokontroler Arduino harus memiliki empat pin input data analog ditambah dengan kebutuhan dua port input lagi untuk kebutuhan pemasangan oleh modul LCD 16x4. Sehingga *hardware* Arduino harus memiliki setidaknya minimal total enam *port input* data analog, dan pada penelitian ini dipilih menggunakan Arduino UNO yang memiliki *port input* untuk data analog sebanyak enam *port* dan beberapa *port* untuk data digital, tapi dalam kasus ini sebagian banyak digunakan untuk pengolahan data analog sensor.

Pembagian *port* untuk data analog dikhususkan untuk masing-masing sensor tidak boleh menggunakan *port* yang sama dengan sensor yang lain. Sementara untuk *port* bagian tegangan suplai sensor sebesar 5 volt dan juga *port* Ground tiap *hardware* Arduino hanya memiliki sedikit *port* dengan kebutuhan masing-masing sensor akan aliran suplai voltase dan ground maka dibuatkan sebuah manifold atau busbar yang sederhana sehingga aliran listrik akan bergabung menjadi satu.

Berikut adalah skematik rangkaian keseluruhan sistem rancang bangun sistem monitoring gas metana menggunakan sensor TGS2600, sensor MQ-7, sensor MQ-4, sensor TGS3870, mikrokontroler Arduino UNO dan LCD 16x4



Gambar 4. 22 Skematik Rangkaian Rancang Bangun

Pada gambar 4.17 dapat dilihat untuk pembagian *port* pada mikrokontroler Arduino UNO adalah sebagai berikut

Tabel 4. 5 Pembagian Port Arduino

Pin Komponen	Port Arduino UNO
Data Analog TGS2600	Port Analog 0
Data Analog MQ-7	Port Analog 1
Data Analog MQ-4	Port Analog 2
Data Analog TGS3870	Port Analog 3
Data SDA LCD 16x4	Port Analog 4
Data SCL LCD 16x4	Port Analog 5
Suplai Heater TGS3870	Port Digital 7
Ground Sensor dan LCD	Port Ground
Suplai Tegangan Sensor dan LCD	Port 5V

4.4 Pembuatan Gas Kalibrator

Sebuah alat ukur yang menghasilkan suatu nilai harus dipastikan kesesuaian hasil ukur alat dengan kondisi objek yang diukur sebenarnya. Proses penyamaan hasil ukur dengan kondisi nilai objek yang sebenarnya pada saat sebelum pengambilan data dinamakan dengan proses kalibrasi alat ukur. Hal ini dilakukan agar mendapat data pembacaan yang akurat dan meminimalisir terjadinya *error* pada saat pembacaan.

Pembuatan gas kalibrator dalam penelitian ini menggunakan metode pencampuran antara dua fluida yaitu fluida utama untuk target pendeteksian menggunakan *Compressed Natural Gas* yang mengandung banyak kandungan gas metana didalamnya. Kemudian fluida sebagai pencampur dalam hal ini gas yang bersifat inert karena kondisinya gas tambahan dicampurkan dengan gas metana yang bersifat mudah meledak dan mudah bereaksi, maka dari itu digunakan gas tambahan yang bersifat inert untuk meredam terjadinya reaksi terbakar pada saat proses pencampuran. Gas inert yang dipakai pada metode pencampuran ini adalah gas nitrogen (N₂) murni. Kedua gas tersebut dicampurkan menjadi beberapa variasi kandungan gas metana yang nantinya berperan sebagai gas kalibrator untuk alat ukur.

Sebelum masuk ketahap proses pencampuran kedua gas, dilakukan dahulu perhitungan secara matematis agar dapat menghasilkan pencampuran gas yang akurat. Pada penelitian ini perhitungan untuk membuat gas kalibrator menggunakan metode pencampuran secara kuantitas volume. Volume dari masing-masing gas yang akan dicampurkan dibandingkan secara volume kemudian didapatkan besar kandungan gas metana yang terdapat pada campuran gas tersebut. Pembuatan campuran gas juga tidak hanya pada satu titik kandungan saja, akan tetapi dibuat bervariasi sesuai dengan karakteristik masing-masing sensor karena dibutuhkan untuk kalibrasi masing-masing sensor.

Alat ukur gas metana menggunakan empat buah sensor dengan variasi rentang pembacaan yang berbeda-beda. Pada masing-masing rentang tersebut diambil seminimalnya satu titik pengkalibrasian untuk tiap sensor. Adapun karakteristik kemampuan rentang ukur sensor adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 6 Rentang Kerja Sensor

Sensor	Rentang (ppm)
TGS2600	0 - 100
MQ-7	50 - 4,000
MQ-4	300 - 10,000
TGS3870	1,000 - 10,000

Sesuai karakteristik masing-masing sensor pada tabel 4.6, maka variasi titik pengambilan untuk pembuatan campuran gas kalibrator adalah;

Tabel 4. 7 Titik Pembuatan Gas Campuran

Nilai	Satuan
100	ppm
200	ppm
300	ppm
1000	ppm
5000	ppm

Didapatkan kebutuhan untuk pembuatan campuran menjadi sebanyak lima variasi campuran gas. Detail perhitungan untuk masing-masing proses pembuatan adalah sebagai berikut

4.4.1 Pembuatan 100 ppm Gas Metana pada Campuran Gas

Pengertian dari ppm adalah *part per million*, jadi maksudnya adalah jika 1 ppm maka terdapat satu partikel benda didalam satu juta benda dalam lingkup tersebut.

Pembuatan 100 ppm gas metana dalam campuran gas, berarti terdapat sebanyak 100 partikel gas metana didalam satu juta partikel gas yang bercampur baik itu metana maupun gas inert. Sehingga persentase perbandingan antara gas metana dengan gas nitrogen adalah

$$100 \text{ ppm} = 0.01\% \text{ gas metana} + 99.99\% \text{ gas nitrogen}$$

Sehingga kuantitas yang dicampur untuk membuat campuran gas adalah

$$\text{Metana} = 1 \text{ mL}$$

$$\text{Nitrogen} = 9998 \text{ mL} = 9.99 \text{ Liter}$$

Untuk pengambilan gas metana sebanyak 1 mL diambil menggunakan suntikan berspesifikasi kuantitas yang kecil berukuran 1 mL agar mendapatkan hasil yang akurat.

Pengambilan gas metana memanfaatkan CNG yang sebagian besar mengandung gas metana sebesar 94.9%, sehingga untuk mendapatkan 1 mL gas metana diambil jumlah CNG sebanyak

$$\text{Volume CNG} = \left(\frac{1 \text{ mL}}{94.9\%} \right) = 1.05 \text{ mL CNG}$$

Kemudian untuk pengukuran pengambilan gas nitrogen menggunakan sensor *flowrate*. Untuk mendapatkan volume gas nitrogen sebanyak 9.99 Liter maka dilakukan hasil eksperimen yang mengatur parameter lama waktu pengisian gas, nilai *flowrate*, dan kebutuhan volume. Hasil pengambilan gas nitrogen memanfaatkan lama waktu pengisian gas dengan *flowrate* yang sudah diatur nilainya. Persamaan yang berlaku seperti berikut.

$$\text{Waktu Pengisian (s)} = \left(\frac{\text{Volume Gas (L)}}{\text{flowrate (L/min)}} \right) \times 60$$

Hasil yang didapatkan sesuai persamaan diatas adalah

$$\text{Kebutuhan} = 9.99 \text{ Liter}$$

$$\text{Flow} = 40 \text{ L/min}$$

$$\text{Waktu} = 14.9 \text{ detik}$$

Jadi untuk memperoleh jumlah gas sebanyak 9.99 Liter adalah dengan mengatur *flowrate* dari gas nitrogen sebesar 40 L/min dengan durasi pengisian selama 14.9 detik.

Kemudian kedua gas dicampur kedalam satu wadah berupa plastik besar tebal dan didiamkan beberapa saat sehingga akan membentuk gas campuran dengan kandungan gas metana sebesar 100 ppm dan digunakan sebagai gas kalibrator.

4.4.2 Pembuatan 200 ppm Gas Metana pada Campuran Gas

Pembuatan 200 ppm gas metana dalam campuran gas, berarti terdapat sebanyak 200 partikel gas metana didalam satu juta partikel gas yang bercampur baik itu metana maupun gas inert. Sehingga persentase perbandingan antara gas metana dengan gas nitrogen adalah

$$200 \text{ ppm} = 0.02\% \text{ gas metana} + 99.98\% \text{ gas nitrogen}$$

Sehingga kuantitas yang dicampur untuk membuat campuran gas adalah

$$\text{Metana} = 1 \text{ mL}$$

$$\text{Nitrogen} = 4999.5 \text{ mL} = 4.99 \text{ Liter}$$

Untuk pengambilan gas metana sebanyak 1 mL diambil menggunakan suntikan berspesifikasi kuantitas yang kecil berukuran 1 mL agar mendapatkan hasil yang akurat.

Pengambilan gas metana memanfaatkan CNG yang sebagian besar mengandung gas metana sebesar 94.9%, sehingga untuk mendapatkan 1 mL gas metana diambil jumlah CNG sebanyak

$$\text{Volume CNG} = \left(\frac{1 \text{ mL}}{94.9\%} \right) = 1.05 \text{ mL CNG}$$

Kemudian untuk pengukuran pengambilan gas nitrogen menggunakan sensor *flowrate*. Untuk mendapatkan volume gas nitrogen sebanyak 4.99 Liter maka dilakukan hasil eksperimen yang mengatur parameter lama waktu pengisian gas, nilai *flowrate*, dan kebutuhan volume. Hasil pengambilan gas nitrogen memanfaatkan lama waktu pengisian gas dengan *flowrate* yang sudah diatur nilainya. Persamaan yang berlaku seperti berikut.

$$\text{Waktu Pengisian (s)} = \left(\frac{\text{Volume Gas (L)}}{\text{flowrate (L/min)}} \right) \times 60$$

Hasil yang didapatkan sesuai persamaan diatas adalah

$$\text{Kebutuhan} = 4.99 \text{ Liter}$$

$$\text{Flow} = 30 \text{ L/min}$$

$$\text{Waktu} = 9.98 \text{ detik}$$

Jadi untuk memperoleh jumlah gas sebanyak 4.99 Liter adalah dengan mengatur *flowrate* dari gas nitrogen sebesar 30 L/min dengan durasi pengisian selama 9.98 detik.

Kemudian kedua gas dicampur kedalam satu wadah berupa plastik besar tebal dan didiamkan beberapa saat sehingga akan membentuk gas campuran dengan kandungan gas metana sebesar 200 ppm dan digunakan sebagai gas kalibrator.

4.4.3 Pembuatan 300 ppm Gas Metana pada Campuran Gas

Pembuatan 300 ppm gas metana dalam campuran gas, berarti terdapat sebanyak 300 partikel gas metana didalam satu juta partikel gas yang bercampur baik itu metana maupun gas inert. Sehingga persentase perbandingan antara gas metana dengan gas nitrogen adalah

$$300 \text{ ppm} = 0.03\% \text{ gas metana} + 99.97\% \text{ gas nitrogen}$$

Sehingga kuantitas yang dicampur untuk membuat campuran gas adalah

$$\text{Metana} = 1 \text{ mL}$$

$$\text{Nitrogen} = 3332 \text{ mL} = 3.3 \text{ Liter}$$

Untuk pengambilan gas metana sebanyak 1 mL diambil menggunakan suntikan berspesifikasi kuantitas yang kecil berukuran 1 mL agar mendapatkan hasil yang akurat.

Pengambilan gas metana memanfaatkan CNG yang sebagian besar mengandung gas metana sebesar 94.9%, sehingga untuk mendapatkan 1 mL gas metana diambil jumlah CNG sebanyak

$$\text{Volume CNG} = \left(\frac{1 \text{ mL}}{94.9\%} \right) = 1.05 \text{ mL CNG}$$

Kemudian untuk pengukuran pengambilan gas nitrogen menggunakan sensor *flowrate*. Untuk mendapatkan volume gas nitrogen sebanyak 3.3 Liter maka dilakukan hasil eksperimen yang mengatur parameter lama waktu pengisian gas, nilai *flowrate*, dan kebutuhan volume. Hasil pengambilan gas nitrogen memanfaatkan lama waktu pengisian gas dengan *flowrate* yang sudah diatur nilainya. Persamaan yang berlaku seperti berikut.

$$\text{Waktu Pengisian (s)} = \left(\frac{\text{Volume Gas (L)}}{\text{flowrate (L/min)}} \right) \times 60$$

Hasil yang didapatkan sesuai persamaan diatas adalah

$$\text{Kebutuhan} = 3.3 \text{ Liter}$$

$$\text{Flow} = 20 \text{ L/min}$$

$$\text{Waktu} = 9.9 \text{ detik}$$

Jadi untuk memperoleh jumlah gas sebanyak 3.3 Liter adalah dengan mengatur *flowrate* dari gas nitrogen sebesar 20 L/min dengan durasi pengisian selama 9.9 detik.

Kemudian kedua gas dicampur kedalam satu wadah berupa plastik besar tebal dan didiamkan beberapa saat sehingga akan membentuk gas campuran dengan kandungan gas metana sebesar 300 ppm dan digunakan sebagai gas kalibrator.

4.4.4 Pembuatan 1000 ppm Gas Metana pada Campuran Gas

Pembuatan 1000 ppm gas metana dalam campuran gas, berarti terdapat sebanyak 1000 partikel gas metana didalam satu juta partikel gas yang bercampur baik itu metana maupun gas inert. Sehingga persentase perbandingan antara gas metana dengan gas nitrogen adalah

$$1000 \text{ ppm} = 0.1\% \text{ gas metana} + 99.9\% \text{ gas nitrogen}$$

Sehingga kuantitas yang dicampur untuk membuat campuran gas adalah

$$\text{Metana} = 1 \text{ mL}$$

$$\text{Nitrogen} = 999 \text{ mL} = 0.9 \text{ Liter}$$

Untuk pengambilan gas metana sebanyak 1 mL diambil menggunakan suntikan berspesifikasi kuantitas yang kecil berukuran 1 mL agar mendapatkan hasil yang akurat.

Pengambilan gas metana memanfaatkan CNG yang sebagian besar mengandung gas metana sebesar 94.9%, sehingga untuk mendapatkan 1 mL gas metana diambil jumlah CNG sebanyak

$$\text{Volume CNG} = \left(\frac{1 \text{ mL}}{94.9\%} \right) = 1.05 \text{ mL CNG}$$

Kemudian untuk pengukuran pengambilan gas nitrogen menggunakan sensor *flowrate*. Untuk mendapatkan volume gas nitrogen sebanyak 0.9 Liter maka dilakukan hasil eksperimen yang mengatur parameter lama waktu pengisian gas, nilai *flowrate*, dan kebutuhan volume. Hasil pengambilan gas nitrogen memanfaatkan lama waktu pengisian gas dengan *flowrate* yang sudah diatur nilainya. Persamaan yang berlaku seperti berikut.

$$\text{Waktu Pengisian (s)} = \left(\frac{\text{Volume Gas (L)}}{\text{flowrate (L/min)}} \right) \times 60$$

Hasil yang didapatkan sesuai persamaan diatas adalah

$$\text{Kebutuhan} = 0.9 \text{ Liter}$$

$$\text{Flow} = 5 \text{ L/min}$$

$$\text{Waktu} = 10.8 \text{ detik}$$

Jadi untuk memperoleh jumlah gas sebanyak 0.9 Liter adalah dengan mengatur *flowrate* dari gas nitrogen sebesar 5 L/min dengan durasi pengisian selama 10.8 detik.

Kemudian kedua gas dicampur kedalam satu wadah berupa plastik besar tebal dan didiamkan beberapa saat sehingga akan membentuk gas campuran dengan kandungan gas metana sebesar 1000 ppm dan digunakan sebagai gas kalibrator.

4.4.5 Pembuatan 5000 ppm Gas Metana pada Campuran Gas

Pembuatan 5000 ppm gas metana dalam campuran gas, berarti terdapat sebanyak 5000 partikel gas metana didalam satu juta partikel gas yang bercampur baik itu metana maupun gas inert. Sehingga persentase perbandingan antara gas metana dengan gas nitrogen adalah

$$5000 \text{ ppm} = 0.5\% \text{ gas metana} + 99.5\% \text{ gas nitrogen}$$

Sehingga kuantitas yang dicampur untuk membuat campuran gas adalah

$$\text{Metana} = 1 \text{ mL}$$

$$\text{Nitrogen} = 191 \text{ mL} = 0.191 \text{ Liter}$$

Pengambilan gas metana memanfaatkan CNG yang sebagian besar mengandung gas metana sebesar 94.9%, sehingga untuk mendapatkan 1 mL gas metana diambil jumlah CNG sebanyak

$$\text{Volume CNG} = \left(\frac{1 \text{ mL}}{94.9\%} \right) = 1.05 \text{ mL CNG}$$

Kemudian untuk pengukuran pengambilan gas nitrogen menggunakan sensor *flowrate*. Untuk mendapatkan volume gas nitrogen sebanyak 0.9 Liter maka dilakukan hasil eksperimen yang mengatur parameter lama waktu pengisian gas, nilai *flowrate*, dan kebutuhan volume. Hasil pengambilan gas nitrogen memanfaatkan lama waktu pengisian gas dengan *flowrate* yang sudah diatur nilainya. Persamaan yang berlaku seperti berikut.

$$\text{Waktu Pengisian (s)} = \left(\frac{\text{Volume Gas (L)}}{\text{flowrate (L/min)}} \right) \times 60$$

Hasil yang didapatkan sesuai persamaan diatas adalah

$$\text{Kebutuhan} = 0.19 \text{ Liter}$$

$$\text{Flow} = 1 \text{ L/min}$$

$$\text{Waktu} = 11.5 \text{ detik}$$

Jadi untuk memperoleh jumlah gas sebanyak 0.19 Liter adalah dengan mengatur *flowrate* dari gas nitrogen sebesar 1 L/min dengan durasi pengisian selama 11.5 detik. Kemudian kedua gas dicampur kedalam satu wadah berupa plastik besar tebal dan didiamkan beberapa saat sehingga akan membentuk gas campuran dengan kandungan gas metana sebesar 5000 ppm dan digunakan sebagai gas kalibrator.

Setelah proses pencampuran selesai, campuran gas tersebut kemudian diujikan terhadap kemampuan pembacaan alat ukur sebagai tahap awal validasi pembacaan karena gas tersebut merupakan gas pembanding dari alat ukur untuk mendeteksi seberapa besar nilai kandungan gas metana yang akan dideteksi oleh masing-masing sensor gas metana tersebut.

4.5 Pemrograman Awal Alat Ukur

Masing-masing sensor yang digunakan pada sistem monitor telah terangkai dan terprogram sesuai dengan rencana penelitian. Tiap sensor akan menghasilkan satu nilai pembacaan sesuai dengan karakteristik kerja masing-masing sensor. Jika digabungkan didalam satu alat maka dalam satu alat akan menghasilkan total empat nilai hasil pembacaan dari sensor yang bekerja pada alat ukur tersebut. Maka dari itu perlu dilakukan pemrograman agar alat ukur menghasilkan satu output nilai yang dinamakan dengan hasil pembacaan oleh alat ukur. Nilai dari output alat ukur diatur agar memberikan nilai yang sesuai dengan kemampuan rentang kerja dari masing-masing sensor.

Pemrograman awal untuk output pembacaan alat ukur adalah dengan cara mengatur satu keluaran nilai pembacaan dengan menggunakan salah satu nilai dari sensor. Pemrograman awal yang direncanakan adalah ketika sensor TGS2600 mendeteksi nilai gas berada diantara 0 – 100 ppm, maka data output pembacaan alat akan menggunakan nilai dari sensor TGS2600. Kemudian ketika sensor TGS2600 mendeteksi nilai lebih dari 100 ppm maka akan otomatis menggunakan nilai dari sensor MQ-7. Kemudian jika sensor MQ-4 mendeteksi kadar lebih dari 300 ppm maka otomatis output alat ukur akan menggunakan nilai dari MQ-4. Dan ketika sensor TGS3870 mendeteksi lebih dari 1000 ppm maka otomatis akan beralih menggunakan nilai dari sensor TGS3870.

4.6 Pengujian Awal Alat Ukur

Setelah proses pemrograman sesuai dengan perencanaan, proses pengujian diperlukan untuk memastikan program berjalan sesuai dengan perencanaan. Proses pengujian juga dibutuhkan untuk menganalisa performa dari keakuratan hasil pembacaan alat ukur.

Analisa performa diukur dengan melihat seberapa besar *gap* atau selisih nilai yang dikeluarkan oleh alat saat proses pembacaan dengan hasil gas pembanding. Selisih hasil pembacaan disajikan dalam bentuk seberapa besar error yang terjadi pada masing-masing sensor pada saat proses pembacaan. Persamaan yang digunakan untuk mengukur persentase error adalah sebagai berikut

$$\text{Error (\%)} = \frac{\text{Hasil pembacaan alat} - \text{Gas pembanding (ppm)}}{\text{Gas pembanding (ppm)}} \times 100\%$$

Hasil uji coba untuk analisa performa kemampuan pembacaan masing-masing sensor tersajikan dalam data sebagai berikut beserta dengan perhitungan nilai error yang terjadi pada masing-masing sensor terhadap nilai gas pembanding.

4.6.1 Pengujian Awal pada 100 ppm

Pengujian alat ukur pada saat diberikan nilai gas sebesar 100 ppm adalah sebagai berikut

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Awal pada 100 ppm

Waktu	TGS2600	MQ-7	MQ-4	TGS3870	Alat Ukur
0	98.2	108.4	263.8	857.1	98.2
8	98.2	108.4	263.8	857.3	98.2
16	98.4	108.4	263.5	857.3	98.4
24	98.4	108.2	263.8	857.5	98.4
32	98.6	108.8	263.5	857.5	98.6
40	98.4	108.8	263.1	857.3	98.4
48	98.6	108.4	263.1	857.7	98.6
56	98.4	108.4	263.5	857.7	98.4
64	98.2	109.1	263.5	857.9	98.2

Pengujian awal pada kondisi 100 ppm gas metana menunjukkan hasil seperti pada tabel 4.8. Pada proses pengukuran untuk kandungan gas metana sebesar 100 ppm, masing-masing sensor menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan oleh kemampuan kerja sensor yang berbeda pada tiap rentang yang dideteksi. Terlihat bahwa selisih nilai pembacaan sensor dengan gas pembanding paling kecil ada pada sensor TGS2600 dan sensor MQ-7.

Kemudian untuk analisa performa dari hasil pembacaan alat ukur dilihat dari persentase nilai error dari selisih pembacaan dan nilai gas pembanding adalah sebagai berikut

Tabel 4. 9 Analisa Error pada Pengujian Awal 100 ppm

Sensor	TGS2600	MQ-7	MQ-4	TGS3870	Alat Ukur
ppm	98.4	108.4	263.5	857.3	98.4
Error	1.60%	8.40%	163.50%	757.30%	1.60%

Tabel 4.9 memperlihatkan hasil pengambilan data pada tiap sensor dengan titik pengambilan data diambil rata-rata output data ppm tiap waktunya. Performa untuk hasil pembacaan masing-masing sensor menunjukkan nilai error yang berbeda tergantung pada karakteristik masing-masing. Output data yang ditampilkan melalui pemrograman pada alat ukur adalah sebesar 98.4 ppm. Dengan hasil tersebut didapatkan nilai error yang

terjadi pada saat alat ukur melakukan pembacaan dikondisi 100 ppm adalah sebesar 1.6%.

4.6.2 Pengujian Awal pada 200 ppm

Pengujian alat ukur pada saat diberikan nilai gas sebesar 200 ppm adalah sebagai berikut

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Awal pada 200 ppm

Waktu	TGS2600	MQ-7	MQ-4	TGS3870	Alat Ukur
0	108.7	205.1	283.6	866.3	205.1
8	108.9	205.1	283.4	866.3	205.1
16	109.1	205.1	283.6	866.7	205.1
24	109.1	205.4	283.6	866.7	205.4
32	109.1	205.9	284.1	866.7	205.9
40	109.5	205.9	284.1	866.7	205.9
48	109.1	205.6	283.6	866.5	205.6
56	109.3	205.4	283.6	866.7	205.4
64	109.5	205.4	283.4	866.9	205.4

Pengujian awal pada kondisi 200 ppm gas metana menunjukkan hasil seperti pada tabel 4.10. Pada pengukuran untuk kandungan gas metana sebesar 200 ppm, masing-masing sensor menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan oleh kemampuan kerja sensor yang berbeda pada tiap rentang yang dideteksi. Hasil analisa *gap error* menunjukkan bahwa selisih nilai pembacaan sensor dengan gas pembanding paling kecil ada pada sensor MQ-7 dengan selisih nilai beberapa ppm. Hal ini dikarenakan nilai 200 ppm masuk kedalam kemampuan rentang pembacaan sensor MQ-7 dimana kemampuan membaca sensor MQ-7 dimulai dari 50 – 4000 ppm.

Kemudian untuk analisa performa dari hasil pembacaan 200 ppm gas metana dan hasil alat ukur dilihat dari persentase nilai error dari selisih pembacaan dan nilai gas pembanding adalah sebagai berikut

Tabel 4. 11 Analisa Error pada Pengujian Awal 200 ppm

Sensor	TGS2600	MQ-7	MQ-4	TGS3870	Alat Ukur
ppm	109.1	205.4	283.6	866.7	205.4
Error	45.45%	2.70%	41.80%	333.35%	2.70%

Tabel 4.11 memperlihatkan hasil pengambilan data pada tiap sensor dengan titik pengambilan data diambil rata-rata output data ppm tiap waktunya. Untuk output dari hasil pembacaan alat ukur menunjukkan besar nilai ppm sebesar 205.4 ppm menggunakan nilai dari sensor MQ-7. Hasil analisa nilai error yang terjadi pada alat ukur ketika kondisi pembacaan gas 200 ppm adalah error sebesar 2.7%.

4.6.3 Pengujian Awal pada 300 ppm

Pengujian alat ukur pada saat diberikan nilai gas sebesar 300 ppm adalah sebagai berikut

Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Awal pada 300 ppm

Waktu	TGS2600	MQ-7	MQ-4	TGS3870	Alat Ukur
0	117.5	296.5	305.6	846.5	305.6
8	117.8	296.8	305.6	846.7	305.6
16	117.8	296.8	305.6	846.5	305.3
24	117.5	297.0	305.3	846.9	305.3
32	117.3	296.5	305.3	847.1	305.3
40	117.3	296.5	305.0	847.1	305.0
48	117.3	296.5	305.3	846.9	305.3
56	117.5	296.8	305.0	846.5	304.8
64	117.5	296.8	305.3	846.9	305.0

Pengujian awal pada kondisi 300 ppm gas metana menunjukkan hasil seperti pada tabel 4.12. Pada pengukuran untuk kandungan gas metana sebesar 300 ppm, masing-masing sensor menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan oleh kemampuan kerja sensor yang berbeda pada tiap rentang yang dideteksi. Selisih nilai pembacaan sensor dengan gas pembanding paling kecil ada pada sensor MQ-4 dan MQ-7. Analisa performa dari hasil pembacaan 300 ppm gas metana dan hasil alat ukur dilihat dari persentase nilai error dari selisih pembacaan dan nilai gas pembanding adalah sebagai berikut

Tabel 4. 13 Analisa Error pada Pengujian Awal 300 ppm

Sensor	TGS2600	MQ-7	MQ-4	TGS3870	Alat Ukur
ppm	117.5	296.5	305.3	846.9	305.3
Error	60.83%	1.17%	1.77%	182.30%	1.77%

Tabel 4.13 menjelaskan hasil pengambilan data pada tiap sensor dengan titik pengambilan data diambil rata-rata output data ppm tiap waktunya. Untuk output dari hasil pembacaan alat ukur menunjukkan besar nilai ppm sebesar 305.3 ppm menggunakan nilai dari sensor MQ-4. Hasil analisa nilai error yang terjadi pada alat ukur ketika kondisi pembacaan gas 300 ppm adalah error sebesar 1.77%. output dari pembacaan alat kurang maksimal dikarenakan pada kondisi tersebut hasil dari pembacaan sensor MQ-7 menunjukkan nilai error yang lebih kecil daripada sensor MQ-4 yaitu sebesar 1.17%.

4.6.4 Pengujian Awal pada 1000 ppm

Pengujian alat ukur pada saat diberikan nilai gas sebesar 1000 ppm adalah sebagai berikut

Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Awal pada 1000 ppm

Waktu	TGS2600	MQ-7	MQ-4	TGS3870	Alat Ukur
0	139.4	992.5	1028.1	1010.6	1010.6
8	139.4	992.5	1028.4	1010.6	1010.6
16	139.6	992.7	1028.1	1010.2	1010.2
24	139.8	992.9	1027.7	1010.4	1010.4
32	139.6	993.0	1027.7	1010.6	1010.6
40	139.6	992.7	1027.9	1010.6	1010.6
48	139.6	992.7	1027.9	1010.4	1010.4
56	139.8	992.7	1027.7	1010.2	1010.2
64	140.0	992.5	1027.7	1010.8	1010.8

Pengujian awal pada kondisi 1000 ppm gas metana menunjukkan hasil seperti pada tabel 4.14. Untuk hasil analisa selisih hasil pembacaan dengan gas pembanding pada kadar 1000 ppm gas metana menunjukkan hasil pada tiga sensor selisih yang terjadi atau error yang muncul adalah kecil. Hal ini dikarenakan dari ketiga sensor yaitu MQ-7, MQ-4 dan sensor TGS3870 memiliki jangkauan rentang pembacaan luas dan nilai 1000 ppm masuk kedalam rentang kemampuan pembacaan ketiga sensor tersebut.

Analisa performa dari hasil pembacaan 1000 ppm gas metana dan hasil alat ukur dilihat dari persentase nilai error dari selisih pembacaan dan nilai gas pembanding adalah sebagai berikut

Tabel 4. 15 Analisa Error pada Pengujian Awal 1000 ppm

Sensor	TGS2600	MQ-7	MQ-4	TGS3870	Alat Ukur
ppm	139.6	992.7	1027.9	1010.6	1010.6
Error	86.04%	0.73%	2.79%	1.06%	1.06%

Tabel 4.16 menjelaskan hasil pengambilan data pada tiap sensor dengan titik pengambilan data diambil rata-rata output data ppm tiap waktunya. Output nilai alat ukur sebesar 1010.6 ppm menggunakan nilai dari sensor TGS3870. Hasil analisa nilai error yang terjadi pada alat ukur ketika kondisi pembacaan gas 1000 ppm adalah error sebesar 1.06%. Hasil output pembacaan alat ukur kurang maksimal dikarenakan pada sensor MQ-7 mendapatkan nilai error yang lebih kecil daripada nilai ppm dari sensor TGS3870. Nilai error sensor MQ-7 lebih kecil yaitu sebesar 0.73%.

4.6.5 Pengujian Awal pada 5000 ppm

Pengujian alat ukur pada saat diberikan nilai gas sebesar 5000 ppm adalah sebagai berikut

Tabel 4. 16 Hasil Pengujian Awal pada 5000 ppm

Waktu	TGS2600	MQ-7	MQ-4	TGS3870	Alat Ukur
0	192.3	4140.6	5016.9	4981.5	4981.5
8	192.3	4140.8	5016.9	4981.1	4981.1
16	192.5	4141.2	5016.9	4981.1	4981.1
24	192.7	4140.8	5017.2	4981.1	4981.1
32	192.7	4141.0	5016.9	4981.5	4981.5
40	192.7	4141.0	5016.6	4981.5	4981.5
48	192.9	4140.6	5016.6	4981.7	4981.7
56	193.0	4140.6	5016.6	4981.7	4981.7
64	192.7	4140.8	5016.9	4981.9	4981.9
72	192.7	4140.8	5017.2	4981.7	4981.7
80	192.5	4140.6	5017.2	4981.5	4981.5

Pengujian awal pada kondisi 5000 ppm gas metana menunjukkan hasil seperti pada tabel 4.16. Pada pengukuran untuk kandungan gas metana sebesar 5000 ppm, dapat dilihat hasil yang mendekati nilai dari gas pembanding ada pada nilai sensor MQ-4 dan TGS3870. Hal ini dikarenakan nilai tersebut masih masuk kedalam daerah kemampuan rentang pembacaan kedua sensor. Kemudian hasil pembacaan yang selisih sangat jauh adalah pada sensor TGS2600 karena memang karakteristik sensor TGS2600 adalah untuk pembacaan pada rentang rendah.

Analisa performa dari hasil pembacaan 5000 ppm gas metana dan hasil alat ukur dilihat dari persentase nilai error dari selisih pembacaan dan nilai gas pembanding adalah sebagai berikut

Tabel 4. 17 Analisa Error pada Pengujian Awal 5000 ppm

Sensor	TGS2600	MQ-7	MQ-4	TGS3870	Alat Ukur
ppm	192.7	4140.8	5016.9	4981.5	4981.5
Error	96.15%	17.18%	0.34%	0.37%	0.37%

Tabel 4.18 menjelaskan hasil pengambilan data pada tiap sensor dengan titik pengambilan data diambil rata-rata output data ppm tiap waktunya. Untuk output dari hasil pembacaan alat ukur menunjukkan besar nilai ppm sebesar 4981.5 ppm menggunakan nilai dari sensor TGS3870. Hasil analisa nilai error yang terjadi pada alat ukur ketika kondisi pembacaan gas 5000 ppm adalah error sebesar 0.37%.

Pengujian awal pada alat ukur menunjukkan hasil di beberapa kondisi pembacaan variasi kadar ppm gas metana mendapatkan nilai error yang lebih besar daripada hasil dari pembacaan sensor yang lain yang seharusnya fungsi pemrograman memberikan nilai error yang paling kecil diantara empat sensor yang bekerja. Seperti pada kondisi pembacaan gas metana 300 ppm untuk output nilai dari alat ukur menghasilkan nilai error yang lebih besar daripada nilai error pada sensor MQ-7. Juga pada kondisi pembacaan gas metana 1000 ppm dimana output alat ukur menghasilkan nilai error yang lebih besar daripada nilai error yang dihasilkan oleh sensor MQ-7. Maka dari itu dilakukan analisa penyebab dan dilakukan pemrograman ulang untuk output alat ukur.

4.7 Pemrograman Ulang Alat Ukur

Setelah dilakukan analisa terhadap ketidaksesuaian output yang dirancang dikarenakan karakteristik dari masing-masing sensor yang bekerja mempunyai nilai rentang yang berbeda-beda. Pada sensor TGS2600 pembacaan dimulai dari kadar 0 ppm sampai dengan 100 ppm. Sensor tersebut memiliki rentang sensor yang lebih kecil daripada sensor MQ-7 yang memiliki kemampuan pembacaan dimulai dari 50 ppm sampai dengan 4000 ppm. Sensor MQ-7 memiliki delta rentang dari awal sampai akhir adalah sebesar 3950 ppm. Hal inilah yang menjadi penyebab hasil keakuratan pembacaan yang berbeda-beda dari tiap sensor. Maka dari itu dilakukan pemrograman ulang dimana hasil output data pembacaan alat ukur akan menampilkan data sensor dengan memprioritaskan nilai sensor yang memiliki delta rentang paling rendah.

Tabel 4. 18 Delta Rentang Pembacaan Sensor

Sensor	Δ Rentang Pembacaan
TGS2600	100
MQ-7	3950
MQ-4	9700
TGS3870	9000

Program perintah yang diatur adalah ketika sensor TGS2600 mendeteksi kadar ppm antara nilai 0 – 100 ppm maka hasil yang ditampilkan adalah nilai ppm dari sensor TGS2600. Jika sensor TGS2600 mendeteksi nilai lebih dari 100 ppm maka nilai pembacaan pada alat ukur akan otomatis menjadi nilai dari sensor MQ-7. Kemudian jika sensor TGS3870 mendeteksi kandungan sebesar lebih dari 4000 ppm maka otomatis output nilai pembacaan oleh alat ukur akan menjadi nilai dari sensor TGS3870.

4.8 Pengujian Ulang Alat Ukur

Pemrograman ulang telah dilaksanakan dan dilakukan pengujian kembali untuk melihat perbedaan hasil pengukuran oleh alat ukur. Pengujian ulang juga dilakukan agar memastikan kembali hasil output nilai dari alat ukur menampilkan nilai error yang paling kecil diantara empat sensor yang bekerja. Hasil dari pengujian ulang mendapatkan hasil sebagai berikut.

4.8.1 Pengujian Ulang pada 100 ppm

Pengujian ulang alat ukur pada saat diberikan nilai gas sebesar 100 ppm adalah sebagai berikut

Tabel 4. 19 Hasil Pengujian Ulang pada 100 ppm

Waktu	TGS2600	MQ-7	MQ-4	TGS3870	Alat Ukur
0	97.5	110.5	278.4	834.6	97.5
8	97.8	110.0	278.5	834.6	97.8
16	98.8	109.6	278.5	835.2	98.8
24	98.4	109.1	278.9	835.4	98.4
32	97.8	108.8	278.9	835.2	97.8
40	98.0	108.8	278.5	835.7	98.0
48	97.8	109.4	278.5	835.2	97.8
56	97.8	109.4	278.4	835.2	97.8
64	98.2	110.1	278.4	834.9	98.2

Pada proses pengukuran untuk kandungan gas metana sebesar 100 ppm, masing-masing sensor menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan oleh kemampuan kerja sensor yang berbeda pada tiap rentang yang dideteksi. Terlihat bahwa selisih nilai pembacaan sensor dengan gas pembanding paling kecil ada pada sensor TGS2600 dan sensor MQ-7. Hal ini dikarenakan nilai 100 ppm masih masuk kedalam kemampuan rentang pembacaan sensor TGS2600 dan juga sensor MQ-7 dimana kemampuan membaca sensor TGS2600 mulai dari 0 – 100 ppm, dan sensor MQ-7 dimulai dari 50 – 4000 ppm. Kemudian selisih hasil pembacaan yang besar terjadi pada sensor MQ-4 dan yang paling besar adalah sensor TGS3870. Ini dikarenakan nilai dari 100 ppm tidak termasuk kedalam rentang pembacaan sensor MQ-4 yang dimulai dari angka 300 ppm, dan juga jauh dari rentang pembacaan sensor TGS3870 yang dimulai dari nilai 1000 ppm.

Kemudian untuk analisa performa dari hasil pembacaan alat ukur dilihat dari persentasi nilai error dari selisih pembacaan dan nilai gas pembanding adalah sebagai berikut

Tabel 4. 20 Analisa Error pada Pengujian Ulang 100 ppm

Sensor	TGS2600	MQ-7	MQ-4	TGS3870	Alat Ukur
ppm	98.8	109.6	278.9	835.2	98.8
Error	1.20%	9.60%	178.90%	735.20%	1.20%

Tabel 4.20 memperlihatkan hasil pengambilan data pada tiap sensor dengan titik pengambilan data diambil rata-rata output data ppm tiap waktunya. Dapat dilihat performa untuk hasil pembacaan masing-masing sensor menunjukkan nilai error yang berbeda tergantung pada karakteristik masing-masing. Output data yang ditampilkan melalui pemrograman pada alat ukur adalah sebesar 98.8 ppm. Dengan hasil tersebut didapatkan nilai error yang terjadi pada saat alat ukur melakukan pembacaan dikondisi 100 ppm adalah sebesar 1.2%.

4.8.2 Hasil Pengujian Ulang pada 200 ppm

Pengujian ulang alat ukur pada saat diberikan nilai gas sebesar 200 ppm adalah sebagai berikut

Tabel 4. 21 Hasil Pengujian Ulang pada 200 ppm

Waktu	TGS2600	MQ-7	MQ-4	TGS3870	Alat Ukur
0	112.1	204.3	287.9	872.1	204.3
8	112.1	204.7	287.5	872.8	204.7
16	112.8	204.3	287.5	873.2	204.3
24	113.2	205.1	287.9	873.3	205.1
32	113.2	205.6	288.3	874.1	205.6
40	113.5	205.6	288.3	873.7	205.6
48	113.5	205.1	288.0	874.1	205.1
56	113.2	204.7	288.0	874.1	204.7
64	113.5	204.7	287.5	873.9	204.7

Pada pengukuran untuk kandungan gas metana sebesar 200 ppm, masing-masing sensor menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan oleh kemampuan kerja sensor yang berbeda pada tiap rentang yang dideteksi. Hasil analisa *gap error* menunjukkan bahwa selisih nilai pembacaan sensor dengan gas pembanding paling kecil ada pada sensor MQ-7 dengan selisih nilai beberapa ppm. Hal ini dikarenakan nilai 200 ppm masuk kedalam kemampuan rentang pembacaan sensor MQ-7 dimana kemampuan membaca sensor MQ-7 dimulai dari 50 – 4000 ppm. Kemudian selisih hasil pembacaan yang besar terjadi pada sensor TGS2600 dikarenakan sudah melebihi daerah jangkauan kemampuan pembacaan yang hanya sampai pada 100 ppm, MQ-4 dikarenakan nilai dari 200 ppm tidak termasuk kedalam rentang pembacaan sensor MQ-4 yang dimulai dari angka 300 ppm, dan juga jauh dari rentang pembacaan sensor TGS3870 yang dimulai dari nilai 1000 ppm.

Kemudian untuk analisa performa dari hasil pembacaan 200 ppm gas metana dan hasil alat ukur dilihat dari persentasi nilai error dari selisih pembacaan dan nilai gas pembanding adalah sebagai berikut

Tabel 4. 22 Analisa Error pada Pengujian Ulang 200 ppm

Sensor	TGS2600	MQ-7	MQ-4	TGS3870	Alat Ukur
ppm	122.8	204.3	287.5	873.2	204.3
Error	38.60%	2.15%	43.75%	336.60%	2.15%

Tabel 4.22 memperlihatkan hasil pengambilan data pada tiap sensor dengan titik pengambilan data diambil rata-rata output data ppm tiap waktunya. Untuk output dari hasil pembacaan alat ukur menunjukkan besar nilai ppm sebesar 204.3 ppm menggunakan nilai dari sensor MQ-7. Hasil analisa nilai error yang terjadi pada alat ukur ketika kondisi pembacaan gas 200 ppm adalah error sebesar 2.15%.

4.8.3 Hasil Pengujian Ulang pada 300 ppm

Pengujian ulang alat ukur pada saat diberikan nilai gas sebesar 300 ppm adalah sebagai berikut

Tabel 4. 23 Hasil Pengujian Ulang pada 300 ppm

Waktu	TGS2600	MQ-7	MQ-4	TGS3870	Alat Ukur
0	129.8	296.1	304.2	846.5	296.1
8	129.8	296.6	304.8	846.7	296.6
16	130.2	296.1	304.8	846.5	296.1
24	130.4	296.4	305.2	846.9	296.4
32	130.4	296.6	305.2	847.1	296.6
40	130.8	296.0	305.0	847.1	296.0
48	131.1	297.3	305.2	846.9	297.3
56	131.1	297.3	304.8	846.5	297.3
64	130.8	297.0	304.6	846.9	297.0

Pada pengukuran untuk kandungan gas metana sebesar 300 ppm, masing-masing sensor menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan oleh kemampuan kerja sensor yang berbeda pada tiap rentang yang dideteksi. Selisih nilai pembacaan sensor dengan gas pembanding paling kecil ada pada sensor MQ-4 dan MQ-7. Kemudian selisih hasil pembacaan yang besar terjadi pada sensor TGS2600 dikarenakan sudah melebihi daerah jangkauan kemampuan pembacaan yang hanya sampai pada 100 ppm, dan juga jauh dari rentang pembacaan sensor TGS3870 yang dimulai dari nilai 1000 ppm.

Analisa performa dari hasil pembacaan 300 ppm gas metana dan hasil alat ukur dilihat dari persentasi nilai error dari selisih pembacaan dan nilai gas pembanding adalah sebagai berikut

Tabel 4. 24 Analisa Error pada Pengujian Ulang 300 ppm

Sensor	TGS2600	MQ-7	MQ-4	TGS3870	Alat Ukur
ppm	130.2	296.1	304.8	846.5	296.1
Error	56.60%	1.30%	1.60%	182.17%	1.30%

Tabel 4.24 menjelaskan hasil pengambilan data pada tiap sensor dengan titik pengambilan data diambil rata-rata output data ppm tiap waktunya. Untuk output dari hasil pembacaan alat ukur menunjukkan besar nilai ppm sebesar 296.1 ppm menggunakan nilai dari sensor MQ-7. Hasil analisa nilai error yang terjadi pada alat ukur ketika kondisi pembacaan gas 300 ppm adalah error sebesar 1.3%.

4.8.4 Hasil Pengujian Ulang pada 1000 ppm

Pengujian ulang alat ukur pada saat diberikan nilai gas sebesar 1000 ppm adalah sebagai berikut

Tabel 4. 25 Hasil Pengujian Ulang pada 1000 ppm

Waktu	TGS2600	MQ-7	MQ-4	TGS3870	Alat Ukur
0	144.8	991.1	1034.0	1011.4	991.1
8	144.5	991.6	1034.5	1011.7	991.6
16	144.5	991.6	1034.8	1011.7	991.6
24	144.8	991.6	1035.1	1011.4	991.6
32	145.2	991.8	1035.1	1011.4	991.8
40	145.2	991.8	1035.6	1010.8	991.8
48	144.8	991.6	1035.1	1010.8	991.6
56	145.2	992.2	1035.1	1011.4	992.2
64	144.8	992.2	1034.8	1011.4	992.2

Pada pengukuran untuk kandungan gas metana sebesar 1000 ppm, masing-masing sensor menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan oleh kemampuan kerja sensor yang berbeda pada tiap rentang yang dideteksi. Untuk hasil analisa selisih hasil pembacaan dengan gas pembanding pada kadar 1000 ppm gas metana menunjukkan hasil pada tiga sensor selisih yang terjadi atau error yang muncul adalah kecil. Hal ini dikarenakan dari ketiga sensor yaitu MQ-7, MQ-4 dan sensor TGS3870 memiliki jangkauan rentang pembacaan yang cukup luas hingga ribuan dan nilai 1000 ppm masuk kedalam rentang kemampuan pembacaan ketiga sensor tersebut. Hasil yang menunjukkan selisih besar adalah pada sensor TGS2600 dikarenakan maksimal kemampuan sensor TGS2600 untuk membaca akurat adalah hanya sampai pada 100 ppm.

Analisa performa dari hasil pembacaan 1000 ppm gas metana dan hasil alat ukur dilihat dari persentasi nilai error dari selisih pembacaan dan nilai gas pembanding adalah sebagai berikut

Tabel 4. 26 Analisa Error pada Pengujian Ulang 1000 ppm

Sensor	TGS2600	MQ-7	MQ-4	TGS3870	Alat Ukur
ppm	144.5	991.6	1034.8	1011.7	991.6
Error	85.55%	0.84%	3.48%	1.17%	0.84%

Tabel 4.26 menjelaskan hasil pengambilan data pada tiap sensor dengan titik pengambilan data diambil rata-rata output data ppm tiap waktunya. Untuk output dari hasil pembacaan alat ukur menunjukkan besar nilai ppm sebesar 991.6 ppm menggunakan nilai dari sensor MQ-7. Hasil analisa nilai error yang terjadi pada alat ukur ketika kondisi pembacaan gas 1000 ppm adalah error sebesar 0.84%.

4.8.5 Hasil Pengujian Ulang pada 5000 ppm

Pengujian ulang alat ukur pada saat diberikan nilai gas sebesar 5000 ppm adalah sebagai berikut

Tabel 4. 27 Hasil Pengujian Ulang pada 5000 ppm

Waktu	TGS2600	MQ-7	MQ-4	TGS3870	Alat Ukur
0	198.3	4145.1	5014.3	4985.4	4985.4
8	198.3	4145.6	5014.1	4986.1	4986.1
16	198.5	4147.2	5014.9	4986.3	4986.3
24	198.3	4147.2	5014.9	4986.3	4986.3
32	198.9	4147.5	5014.7	4986.1	4986.1
40	198.9	4147.5	5014.4	4986.1	4986.1
48	199.1	4147.2	5014.1	4986.3	4986.3
56	198.9	4147.0	5013.9	4986.4	4986.4
64	198.5	4146.8	5014.1	4986.1	4986.1

Pada pengukuran untuk kandungan gas metana sebesar 5000 ppm, dapat dilihat hasil yang mendekati nilai dari gas pembanding ada pada nilai sensor MQ-4 dan TGS3870. Hal ini dikarenakan nilai tersebut masih masuk kedalam daerah kemampuan rentang pembacaan kedua sensor. Kemudian hasil pembacaan yang selisih sangat jauh adalah pada sensor TGS2600 karena memang karakteristik sensor TGS2600 adalah untuk pembacaan pada rentang rendah.

Analisa performa dari hasil pembacaan 5000 ppm gas metana dan hasil alat ukur dilihat dari persentasi nilai error dari selisih pembacaan dan nilai gas pembanding adalah sebagai berikut

Tabel 4. 28 Analisa Error pada Pengujian Ulang 5000 ppm

Sensor	TGS2600	MQ-7	MQ-4	TGS3870	Alat Ukur
ppm	198.5	4147.2	5014.9	4986.3	4986.3
Error	96.03%	17.06%	0.30%	0.27%	0.27%

Tabel 4.28 menjelaskan hasil pengambilan data pada tiap sensor dengan titik pengambilan data diambil rata-rata output data ppm tiap waktunya. Untuk output dari hasil pembacaan alat ukur menunjukkan besar nilai ppm sebesar 4986.3 ppm menggunakan nilai dari sensor TGS3870. Hasil analisa nilai error yang terjadi pada alat ukur ketika kondisi pembacaan gas 5000 ppm adalah error sebesar 0.27%.

4.9 Performa Pembacaan Alat Ukur

Sistem monitoring emisi gas metana tidak terbakar dari mesin diesel dual fuel memanfaatkan empat jenis sensor gas metana. Dari keempat sensor tersebut menghasilkan satu nilai output data hasil pembacaan sesuai dengan kemampuan kerja masing-masing. Pengujian kesesuaian hasil data yang keluar dari pembacaan alat ukur telah dilakukan dan hasilnya adalah sebagai berikut

Tabel 4. 29 Hasil Performa Alat Ukur

	100 ppm	200 ppm	300 ppm	1000 ppm	5000 ppm
Alat Ukur	98.8	204.3	296.1	991.6	4986.3
Error	1.20%	2.15%	1.30%	0.84%	0.27%

Performa alat dilihat dari segi seberapa jauh selisih hasil output pembacaan oleh alat ukur dengan gas pembanding. Hasil analisa tingkat error menunjukkan bahwa rata-rata untuk pembacaan pada tiap kondisi variasi kadar ppm gas metana menghasilkan nilai error yang rendah dengan error paling kecil adalah sebesar 0.27% pada kondisi pengukuran 5000 ppm gas metana, dan error terbesar adalah sebesar 2.15% pada kondisi pengukuran gas pembanding sebesar 200 ppm gas metana.

4.10 Pengujian pada Mesin Diesel Dual Fuel

Proses pengujian dan analisa performa telah dilaksanakan. Kemudian alat dapat digunakan untuk melakukan pengambilan data emisi gas metana pada mesin diesel dual fuel. Proses pengambilan data dilakukan dengan cara mengambil sample gas buang dari mesin diesel dual fuel yang dimasukkan kedalam ruang pembacaan alat ukur. Didalam alat ukur dipasang empat sensor gas metana dan akan menghasilkan data emisi dengan satuan ppm.

Hasil dari pengambilan data emisi gas metana dari mesin diesel dual fuel adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 30 Hasil Pembacaan pada Mesin Diesel Dual Fuel

Waktu (s)	Hasil Pembacaan (ppm)
0	24.3
8	27.5
16	27.6
24	27.5
32	27.7
40	27.8
48	27.8
56	27.7
64	27.6
72	27.6
80	27.6

Pengambilan data dilakukan pada saat mesin diesel dual fuel pada kondisi bukaan CNG 8ms dengan power 1000 Watt. Proses pengambilan data emisi pada mesin diesel dual fuel dilakukan selama 80 detik agar mendapatkan data yang cukup akurat dikarenakan proses pembacaan dengan kondisi gas buang yang tidak diam pada ruang pembacaan alat ukur. Didapatkan hasil emisi gas metana dari mesin diesel dual fuel pada kondisi bukaan CNG 8 ms dengan power 1000 Watt adalah sebesar 27.7 ppm.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

Kesimpulan

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dibuat, didapatkan kesimpulan sebagai berikut

1. Telah dibuat rancang bangun monitoring gas metana sebagai deteksi dari *methane slip* dengan memanfaatkan empat jenis sensor gas metana dengan kemampuan rentang pembacaan yang berbeda-beda menjadi satu sehingga menjadikan alat ukur memiliki rentang pembacaan yang luas mulai dari 0 – 10000 ppm kadar gas metana. Sensor yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sensor TGS2600 yang memiliki kemampuan pembacaan mulai dari 0 – 100 ppm, sensor MQ-7 dengan kemampuan pembacaan mulai daari 50 – 4000 ppm, sensor MQ-4 dengan kemampuan pembacaan mulai dari 300 – 10,000 ppm, dan sensor TGS3870 dengan kemampuan pembacaan mulai dari 1000 – 10,000 ppm. Nilai persamaan untuk konversi dari resistansi sensor menjadi nilai ppm pada sensor TGS2600 adalah $y = -85.077x + 83.797$, nilai persamaan untuk sensor MQ-7 adalah $y = -685.89x + 9610.9$, nilai persamaan untuk MQ-4 adalah $y = 1039.1x^{-2.792}$, dan untuk sensor TGS3870 didapatkan nilai persamaan $y = 3094.5x^{-1.845}$
2. Hasil pengujian alat ukur menunjukkan nilai selisih antara data output pengukuran oleh alat ukur dengan nilai dari gas pembanding menghasilkan nilai error yang rendah. Error paling kecil menunjukkan nilai 0.27% dan nilai error terbesar pada proses pengujian mencapai 2.15%.

5.2 Saran

Berdasarkan proses penelitian yang telah dilaksanakan, saran untuk penelitian ini adalah

1. Proses pencampuran gas untuk membuat gas kalibrator terhitung secara manual dan kemungkinan terjadinya *human error* sangat besar. Dibutuhkan pembuatan gas kalibrator dengan kondisi yang memadai.
2. Pada saat merangkai didalam box, sering terjadi putus kabel yang mengakibatkan pemasangan kembali. Untuk itu dibutuhkan kabel yang cukup memadai untuk proses perangkaian alat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Daftar Pustaka

- Arif, A., & Sudarmanta, B. (2015). KARAKTERISASI PERFORMA MESIN DIESEL DUAL FUEL SOLAR-CNG TIPE LPG DENGAN PENGATURAN START OF INJECTION DAN DURASI INJEKSI.
- Aslamia, S. (2015). ROBOT PENDETEKSI MANUSIA SEBAGAI SISTEM KEAMANAN RUANGAN MENGGUNAKAN SENSOR PIR DENGAN MEDIA KOMUNIKASI XBEE BERBASIS ARDUINO LEONARDO.
- Exoryanto, D. Y., & Sudarmanta, B. (2016). Studi Eksperimen Unjuk Kerja Mesin Diesel Menggunakan Sistem Dual Fuel Solar-Gas CNG dengan Variasi Tekanan Injeksi Gas dan Derajat Waktu Injeksi.
- Ferdiansyah, I. (2019). RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING EMISI GAS BUANG MESIN DIESEL KONSENTRASI SO_x , NO_x , dan CO SECARA REAL TIME BERBASIS MIKROKONTROLER.
- Karami, M., McMorrow, G. V., & Wang, L. (2018). Continuous monitoring of indoor environmental quality using an Arduino-based data acquisition system. *Journal of Building Engineering*.
- Kho, D. (2019, February 2). *Pengertian LCD (Liquid Crystal Display) dan Prinsip Kerjanya*. Retrieved from Teknik Elektronika: <https://teknikelektronika.com/pengertian-lcd-liquid-crystal-display-prinsip-kerja-lcd/>
- Li, Y., Hailin, L., Guo, H., Li, Y., & Yao, M. (2017). A numerical investigation on methane combustion and emissions from a natural gas-diesel dual fuel engine using CFD model. *Applied Energy*.
- Mohajan, H. (2011). Dangerous Effects of Methane Gas in Atmosphere. *International Journal of Economic and Political Integration*.
- Pratama, Y. P. (2015). APLIKASI SENSOR PHOTODIODA SEBAGAI INPUT PENGGERAK MOTOR PADA COCONUT MILK AUTO MACHINE.
- Putra, A. P. (2017). Rancang Bangun Robot Pemindah Barang Dengan Melalui Pengendali Smartphone Berbasis Android.
- Saputra, P. E. (2015). SISTEM KEAMANAN RUANG MULTI SENSOR (HARDWARE).
- Stenersen, D., & Thonsand, O. (2017). *GHG and NO_x emissions from gas fueled engines*. SINTEF.

Wei, L. (2016). A Review on Natural Gas/Diesel Dual Fuel Combustion, Emissions and Performance. *Fuel Processing*.

LAMPIRAN A DATASHEET MQ-4

Henan Hanwei Electronics Co., Ltd

www.hwsensor.com

MQ-4 Semiconductor Sensor for Natural Gas

Sensitive material of MQ-4 gas sensor is SnO₂, which with lower conductivity in clean air. When the target combustible gas exist, The sensor's conductivity is more higher along with the gas concentration rising. Please use simple electrocircuit, Convert change of conductivity to correspond output signal of gas concentration.

MQ-4 gas sensor has high sensitivity to Methane, also to Propane and Butane. The sensor could be used to detect different combustible gas, especially Methane, it is with low cost and suitable for different application.

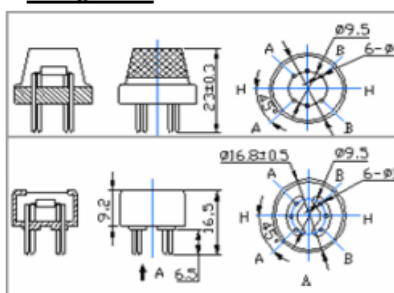
Character

- * Good sensitivity to Combustible gas in wide range
- * High sensitivity to Natural gas
- * Long life and low cost
- * Simple drive circuit

Application

- * Domestic gas leakage detector
- * Industrial Combustible gas detector
- * Portable gas detector

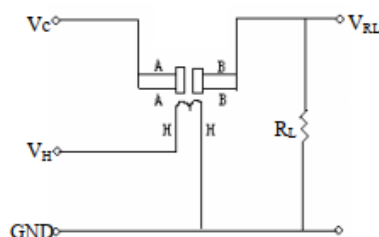
Configuration



Technical Data

Model No.		MQ-4	
Sensor Type		Semiconductor	
Standard Encapsulation		Bakelite (Black Bakelite)	
Detection Gas		Natural gas/ Methane	
Concentration		300-10000ppm (Natural gas / Methane)	
Circuit	Loop Voltage	V _c	≤24V DC
	Heater Voltage	V _H	5.0V±0.2V AC or DC
	Load Resistance	R _L	Adjustable
Character	Heater Resistance	R _H	31Ω±3Ω (Room Tem.)
	Heater consumption	P _H	≤900mW
	Sensing Resistance	R _s	2KΩ-20KΩ (in 5000ppm CH ₄)
	Sensitivity	S	R _s (in air)/R _s (5000ppm CH ₄)≥5
	Slope	α	≤0.6(R _s 5000ppm/R _s 3000ppm CH ₄)
Condition	Tem. Humidity	20°C±2°C ; 65%±5%RH	
	Standard test circuit	V _c : 5.0V±0.1V; V _H : 5.0V±0.1V	
	Preheat time	Over 48 hours	

Basic test loop



The above is basic test circuit of the sensor. The sensor need to be put 2 voltage, heater voltage(V_H) and test voltage(V_C). V_H used to supply certified working temperature to the sensor, while V_C used to detect voltage (V_{RL}) on load resistance (R_L) whom is in series with sensor. The sensor has light polarity, V_c need DC power. V_C and V_H could use same power circuit with precondition to assure performance of sensor. In order to make the sensor with better performance, suitable R_L value is needed: Power of Sensitivity body(P_S):

$$P_s = V_o^2 \times R_s / (R_s + R_L)^2$$

Resistance of sensor (R_s): $R_s = (V_o / V_{RL} - 1) \times R_L$

Sensitivity Characteristics

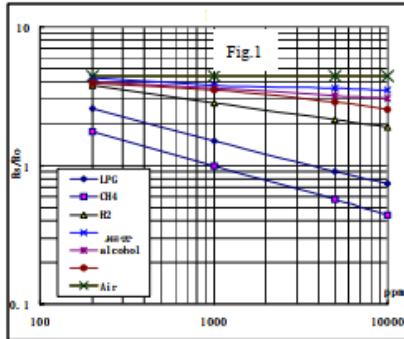


Fig.1 shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-4, ordinate means resistance ratio of the sensor (R_s/R_o), abscissa is concentration of gases. R_s means resistance in different gases, R_o means resistance of sensor in 1000ppm Methane. All test are under standard test conditions.

P.S.: Sensitivity to smoke is ignite 10pcs cigarettes in $8m^3$ room, and the output equals to 200ppm Methane

Influence of Temperature/Humidity

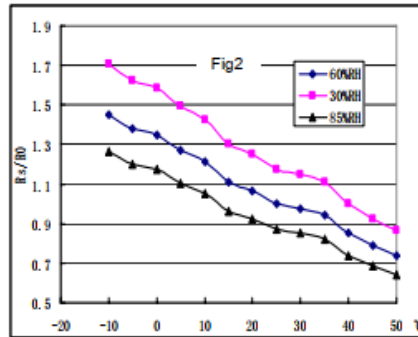


Fig.2 shows the typical temperature and humidity characteristics. Ordinate means resistance ratio of the sensor (R_s/R_o), R_s means resistance of sensor in 1000ppm Methane under different tem. and humidity. R_o means resistance of the sensor in environment of 1000ppm Methane, 20°C/65%RH

LAMPIRAN B DATASHEET MQ-7

HANWEI ELECTRONICS CO., LTD

MQ-7

<http://www.hwsensor.com>

TECHNICAL DATA MQ-7 GAS SENSOR

FEATURES

- * High sensitivity to carbon monoxide
- * Stable and long life

APPLICATION

They are used in gas detecting equipment for carbon monoxide(CO) in family and industry or car.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remark
Vc	circuit voltage	5V±0.1	Ac or Dc
V _H (H)	Heating voltage (high)	5V±0.1	Ac or Dc
V _H (L)	Heating voltage (low)	1.4V±0.1	Ac or Dc
R _L	Load resistance	Can adjust	
R _H	Heating resistance	33 Ω ±5%	Room temperature
T _H (H)	Heating time (high)	60 ± 1 seconds	
T _H (L)	Heating time (low)	90 ± 1 seconds	
PH	Heating consumption	About 350mW	

b. Environment conditions

Symbol	Parameters	Technical conditions	Remark
Tao	Using temperature	-20℃-50℃	
Tas	Storage temperature	-20℃-50℃	Advice using scope
RH	Relative humidity	Less than 95%RH	
O ₂	Oxygen concentration	21%(stand condition) the oxygen concentration can affect the sensitivity characteristic	Minimum value is over 2%

c. Sensitivity characteristic

symbol	Parameters	Technical parameters	Remark
R _s	Surface resistance Of sensitive body	2-20k	In 100ppm Carbon Monoxide
a (300/100ppm)	Concentration slope rate	Less than 0.5	R _s (300ppm)/R _s (100ppm)
Standard working condition	Temperature	-20℃ ± 2℃	relative humidity 65% ± 5%
		Vc:5V±0.1V	VH:5V±0.1V
			VH:1.4V±0.1V
Preheat time	No less than 48 hours	Detecting range: 20ppm-2000ppm carbon monoxide	

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

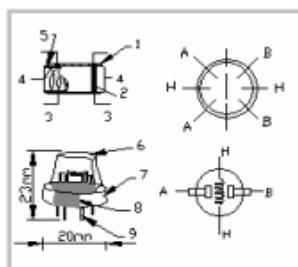
Structure and configuration of MQ-7 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro AL₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-7 have

TEL:86-371-67169070 67169080

FAX:86-371-67169090

Email: sales@hwsensor.com

6 pin, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.



Parts	Materials
1 Gas sensing layer	SnO_2
2 Electrode	Au
3 Electrode line	Pt
4 Heater coil	Ni-Cr alloy
5 Tubular ceramic	Al_2O_3
6 Anti-explosion network	Stainless steel gauze (SUS316 100-mesh)
7 Clamp ring	Copper plating Ni
8 Resin base	Bakelite
9 Tube Pin	Copper plating Ni

Fig.1

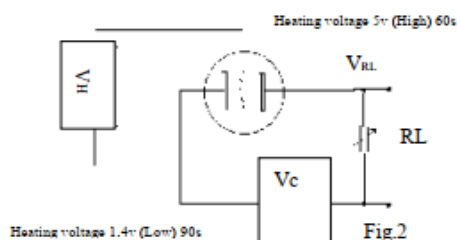
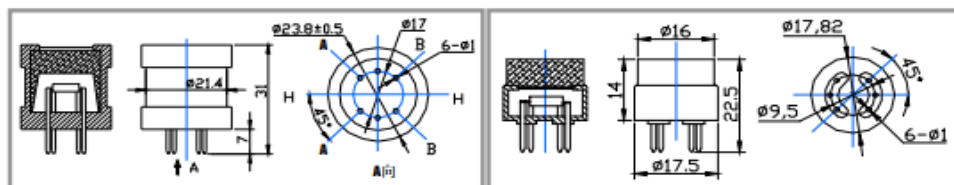


Fig.2

Standard circuit:

As shown in Fig 2, standard measuring circuit of MQ-7 sensitive components consists of 2 parts. one is heating circuit having time control function (the high voltage and the low voltage work circularly). The second is the signal output circuit, it can accurately respond changes of surface resistance of the sensor.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

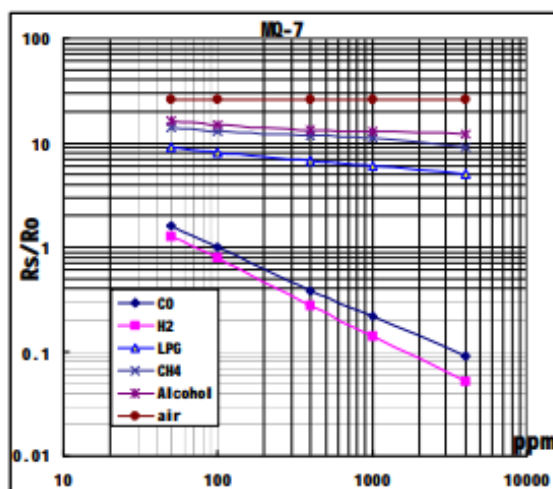


Fig.3 sensitivity characteristics of the MQ-7

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-7 for several gases.

in their: Temp: 20°C,

Humidity: 65%.

O_2 concentration 21%

$R_L=10k\Omega$

R_o : sensor resistance at 100ppm CO in the clean air.

R_s : sensor resistance at various concentrations of gases.

LAMPIRAN C DATASHEET TGS2600

TGS 2600 - for the detection of Air Contaminants

Features:

- * Low power consumption
- * High sensitivity to gaseous air contaminants
- * Long life and low cost
- * Uses simple electrical circuit
- * Small size

The sensing element is comprised of a metal oxide semiconductor layer formed on an alumina substrate of a sensing chip together with an integrated heater. In the presence of a detectable gas, the sensor's conductivity increases depending on the gas concentration in the air. A simple electrical circuit can convert the change in conductivity to an output signal which corresponds to the gas concentration.

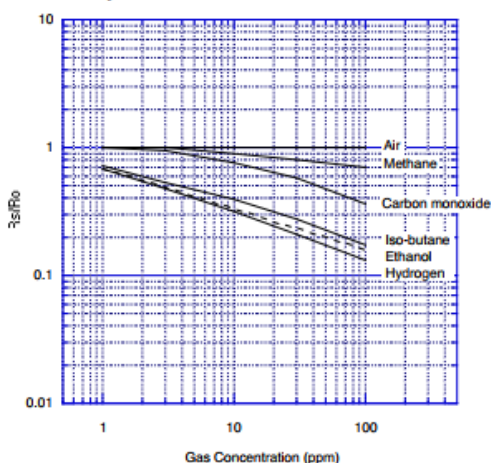
The TGS 2600 has high sensitivity to low concentrations of gaseous air contaminants such as hydrogen and carbon monoxide which exist in cigarette smoke. The sensor can detect hydrogen at a level of several ppm. Figaro also offers a microprocessor (FIC02667) which contains special software for handling the sensor's signal for appliance control applications.

Due to miniaturization of the sensing chip, TGS 2600 requires a heater current of only 42mA and the device is housed in a standard TO-5 package.

The figure below represents typical sensitivity characteristics, all data having been gathered at standard test conditions (see reverse side of this sheet). The Y-axis is indicated as sensor resistance ratio (R_s/R_o) which is defined as follows:

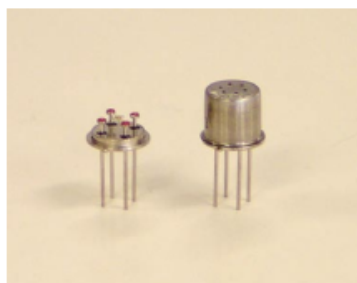
R_s = Sensor resistance in displayed gases at various concentrations
 R_o = Sensor resistance in fresh air

Sensitivity Characteristics:



Applications:

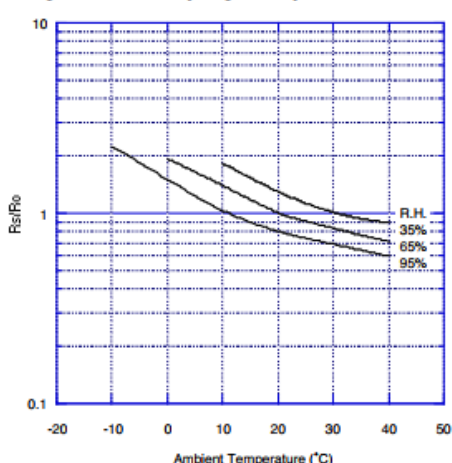
- * Air cleaners
- * Ventilation control
- * Air quality monitors



The figure below represents typical temperature and humidity dependency characteristics. Again, the Y-axis is indicated as sensor resistance ratio (R_s/R_o), defined as follows:

R_s = Sensor resistance in fresh air at various temperatures/humidities
 R_o = Sensor resistance in fresh air at 20°C and 65% R.H.

Temperature/Humidity Dependency:



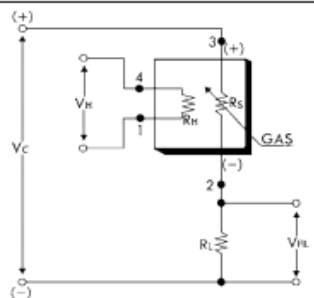
IMPORTANT NOTE: OPERATING CONDITIONS IN WHICH FIGARO SENSORS ARE USED WILL VARY WITH EACH CUSTOMER'S SPECIFIC APPLICATIONS. FIGARO STRONGLY RECOMMENDS CONSULTING OUR TECHNICAL STAFF BEFORE DEPLOYING FIGARO SENSORS IN YOUR APPLICATION AND, IN PARTICULAR, WHEN CUSTOMER'S TARGET GASES ARE NOT LISTED HEREIN. FIGARO CANNOT ASSUME ANY RESPONSIBILITY FOR ANY USE OF ITS SENSORS IN A PRODUCT OR APPLICATION FOR WHICH SENSOR HAS NOT BEEN SPECIFICALLY TESTED BY FIGARO.

Basic Measuring Circuit:

The sensor requires two voltage inputs: heater voltage (V_H) and circuit voltage (V_C). The heater voltage (V_H) is applied to the integrated heater in order to maintain the sensing element at a specific temperature which is optimal for sensing. Circuit voltage (V_C) is applied to allow measurement of voltage (V_{out}) across a load resistor (R_L) which is connected in series with the sensor.

DC voltage is required for the circuit

voltage since the sensor has a polarity. A common power supply circuit can be used for both V_C and V_H to fulfill the sensor's electrical requirements. The value of the load resistor (R_L) should be chosen to optimize the alarm threshold value, keeping power consumption (P_S) of the semiconductor below a limit of 15mW. Power consumption (P_S) will be highest when the value of R_S is equal to R_L on exposure to gas.

**Specifications:**

Model number		TGS 2600-B00	
Sensing element type		D1	
Standard package		TO-5 metal can	
Target gases		Air contaminants	
Typical detection range		1 ~ 30 ppm of H ₂	
Standard circuit conditions	Heater voltage	V_H	5.0±0.2V DC/AC
	Circuit voltage	V_C	5.0±0.2V DC $P_S \leq 15mW$
	Load resistance	R_L	Variable 0.45kΩ min.
Electrical characteristics under standard test conditions	Heater resistance	R_H	approx. 83Ω at room temp. (typical)
	Heater current	I_H	42±4mA
	Heater power consumption	P_H	210mW $V_H=5.0V$ DC
	Sensor resistance	R_S	10k~90kΩ in air
	Sensitivity (change ratio of R_S)		0.3~0.6 $\frac{R_S(10ppm \text{ of } H_2)}{R_S(\text{air})}$
Standard test conditions	Test gas conditions	normal air at 20±2°C, 65±5%RH	
	Circuit conditions	$V_C = 5.0\pm 0.01V$ DC $V_H = 5.0\pm 0.05V$ DC	
	Conditioning period before test	7 days	

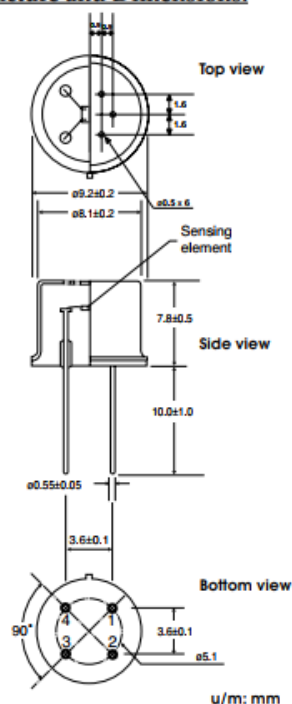
The value of power consumption (P_S) can be calculated by utilizing the following formula:

$$P_S = \frac{(V_C - V_{out})^2}{R_S}$$

Sensor resistance (R_S) is calculated with a measured value of V_{out} by using the following formula:

$$R_S = \frac{V_C \times R_L}{V_{out}} - R_L$$

For information on warranty, please refer to Standard Terms and Conditions of Sale of Figaro USA Inc. All sensor characteristics shown in this brochure represent typical characteristics. Actual characteristics vary from sensor to sensor. The only characteristics warranted are those in the Specification table above.

Structure and Dimensions:**Pin connection:**

- 1: Heater
- 2: Sensor electrode (-)
- 3: Sensor electrode (+)
- 4: Heater

FIGARO USA, INC.

121 S. Wilke Rd. Suite 300
Arlington Heights, IL 60005
Phone: (847)-832-1701
Fax: (847)-832-1705
e-mail: figarousa@figarosensor.com

LAMPIRAN D DATASHEET TGS3870

TGS 3870-B00 - for the detection of both Methane and Carbon Monoxide

Features:

- * Miniature size and low power consumption
- * High sensitivity and selectivity to both methane and carbon monoxide (CO)
- * Low sensitivity to alcohol vapor
- * Long life and low cost

Applications:

- * Combination methane and carbon monoxide detectors

TGS 3870-B00 is a micro-bead type semiconductor gas sensor for the detection of both methane and carbon monoxide. Using a micro-bead gas sensing structure, both methane and carbon monoxide can be detected with a single sensor element by periodic application of two different heater voltages (high and low). Miniaturization of the gas sensing bead results in a heater power consumption of only 38mW (average).

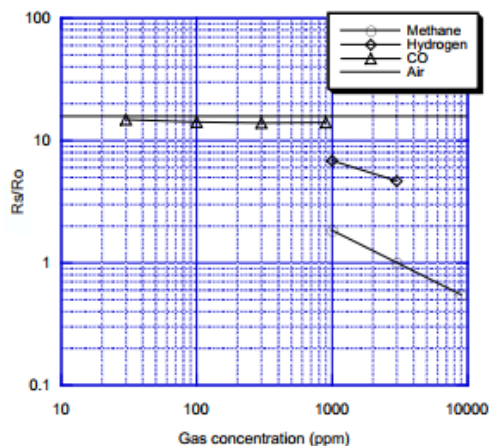
TGS 3870-B00 has low sensitivity to alcohol vapors (a typical interference gas in the residential environment) and has high durability, making the sensor ideal for consumer market gas alarms.



The figure below represents typical sensitivity characteristics, all data having been gathered at standard test conditions (see reverse side of this sheet). The Y-axis is indicated as sensor resistance ratio (R_s/R_o) which is defined as follows:

R_s = Sensor resistance in displayed gases at various concentrations
 R_o = Sensor resistance in 3000ppm of methane

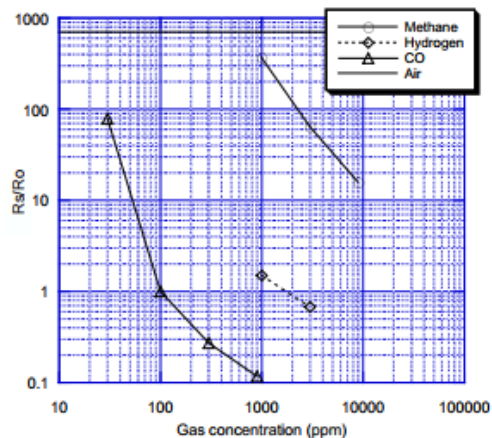
Sensitivity Characteristics (methane):



The figure below represents typical sensitivity characteristics, all data having been gathered at standard test conditions (see reverse side of this sheet). The Y-axis is indicated as sensor resistance ratio (R_s/R_o) which is defined as follows:

R_s = Sensor resistance in displayed gases at various concentrations
 R_o = Sensor resistance in 100ppm of CO

Sensitivity Characteristics (CO):



IMPORTANT NOTE: OPERATING CONDITIONS IN WHICH FIGARO SENSORS ARE USED WILL VARY WITH EACH CUSTOMER'S SPECIFIC APPLICATIONS. FIGARO STRONGLY RECOMMENDS CONSULTING OUR TECHNICAL STAFF BEFORE DEPLOYING FIGARO SENSORS IN YOUR APPLICATION AND, IN PARTICULAR, WHEN CUSTOMER'S TARGET GASES ARE NOT LISTED HEREIN. FIGARO CANNOT ASSUME ANY RESPONSIBILITY FOR ANY USE OF ITS SENSORS IN A PRODUCT OR APPLICATION FOR WHICH SENSOR HAS NOT BEEN SPECIFICALLY TESTED BY FIGARO.

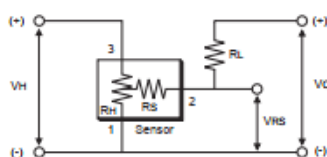
Basic Measuring Circuit:

The sensor requires two voltage inputs: heater voltage (V_H) and circuit voltage (V_C). The sensor has three pins: Pin #3--heater (+), Pin #2--sensor electrode (+), and Pin #1--common (-). To maintain the sensing element at specific temperatures which are optimal for sensing two different gases, heater voltages of 0.9V and 0.2V are alternately applied between pins #1 and #3 during a 20 second heating cycle.

Circuit voltage (V_C) is applied between both ends of the sensor (R_S) and a load resistor (R_L), which are connected in series, to allow measurement of voltage (V_{RS}).

Circuit voltage (V_C) should be applied only at the moment when the signal is taken from the sensor.

Please refer to the document "Technical Information for TGS3870-B00" for details regarding the timing and application of V_C and V_H .



Basic measuring circuit

Caution: Do not apply a constant circuit voltage (5.0V) or the sensor would not exhibit its specified characteristics.

Specifications:

Model number		TGS3870-B00	
Sensing principle		MOS type	
Standard package		Plastic base and metal can	
Target gases		Methane and Carbon Monoxide	
Typical detection range		Methane 1~25% LEL Carbon monoxide 50~1,000ppm	
Standard circuit conditions	Heater voltage	V_H	$V_{HH} = 0.9V \pm 3\%$ for 5 sec. $V_{HL} = 0.2V \pm 3\%$ for 15sec.
	Circuit voltage	V_C	5.0±0.2V DC pulse (refer to Technical Information for TGS3870-B00)
	Load resistance	R_L	variable (>0.75kΩ)
Electrical characteristics under standard test conditions	Heater resistance	R_H	30±0.3Ω at room temp.
	Heater power consumption	P_H	120mW $V_{HH} = 0.9V$ DC
			11mW $V_{HL} = 0.2V$ DC
			38mW average
	Sensor resistance	R_S	0.35kΩ~3.5kΩ in 3000ppm methane 1.8kΩ~24kΩ in 150ppm CO
Sensitivity (change ratio of R_S)	β	0.50~0.65	$\frac{R_S(3000ppm CH_4)}{R_S(1000ppm CH_4)}$
		0.1~0.6	$\frac{R_S(300ppm CO)}{R_S(150ppm CO)}$
Standard test conditions	Test gas conditions	Target gas in air at 20±2°C, 65±5%RH	
	Circuit conditions	$V_{HH} = 0.9V \pm 2\%$ for 5 sec. $V_{HL} = 0.2V \pm 2\%$ for 15 sec. $V_C = 5.0 \pm 0.02V$ DC pulse (refer to Technical Information for TGS3870-B00)	
	Conditioning period before test	≥5 days	

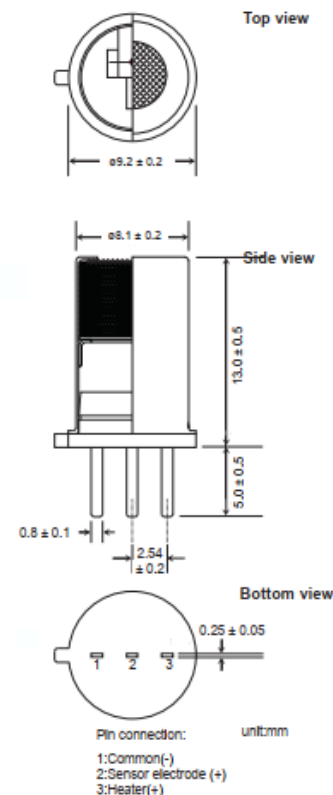
The value of power dissipation (P_S) can be calculated by utilizing the following formula:

$$P_S = \frac{(V_{RS})^2}{R_S}$$

Sensor resistance (R_S) is calculated with a measured value of V_{RS} by using the following formula:

$$R_S = \frac{(V_{RS} - 0.5V_H)}{(V_C - V_{RS})} \times R_L$$

All sensor characteristics shown in this brochure represent typical characteristics. Actual characteristics vary from sensor to sensor. The only characteristics warranted are those in the Specification table above.

Structure and Dimensions:

FIGARO ENGINEERING INC.
1-5-11 Senba-nishi
Mino, Osaka 562-8505 JAPAN
Tel: 81-72-728-2567
Fax: 81-72-728-0467
email: figaro@figaro.co.jp
www.figaro.co.jp

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Muhammad Afiffudin Zuhri, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Anak pertama dari Ayah Abdul Mujib dan Ibu Suparmi. Lahir pada tanggal 11 Agustus 1998, di Malang, Jawa Timur. Penulis telah menyelesaikan jenjang pendidikan dasar di SDN Tawangargo I Kec. Karangploso, Malang. Pendidikan menengah pertama di SMP Islam Sabilillah Malang. Pendidikan menengah atas di MAN Malang I. Kemudian melanjutkan pendidikan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Program Studi Sarjana Reguler dengan bidang *Marine Power Plant* (MPP). Penulis memiliki pengalaman melaksanakan Kerja Praktik di 2 perusahaan, yaitu PT. Orela Shipyards di Gresik, Jawa Timur dan PT. Pertamina Marine Region IV di Cilacap, Jawa Tengah. Selain aktivitas akademik, penulis juga aktif di bidang non-akademik. Aktif bergabung dalam organisasi kemahasiswaan yaitu aktif dalam Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknologi Kelautan ITS dan Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan. Selain itu juga aktif dalam berbagai pelatihan dan kepanitiaan yang diadakan di Institut. Penulis dapat dihubungi melalui afiffudinzuhr98@gmail.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”