

RANCANG BANGUN SISTEM PENGUKURAN PADA ALAT KALIBRASI SENSOR GAS OKSIGEN (O₂)

Nama Mahasiswa : Zaini Latif
NRP : 2109 100 107
Jurusan : Teknik Mesin ITS
Dosen Pembimbing : Arif Wahjudi, ST., MT., Ph.D
Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT

ABSTRAK

Perkembangan teknologi pembakaran bahan bakar semakin canggih. Hal ini ditandai dengan maraknya penggunaan Electronic Fuel Injection (EFI) menggantikan karburator. Electronic Fuel Injection (EFI) menggunakan sistem yang diatur secara komputer oleh perangkat elektronik yang disebut Electronic Control Unit (ECU). ECU bekerja berdasarkan masukan dari sensor-sensor yang ada. ECU menerima sinyal dari sensor dan melakukan pengolahan data untuk mengirimkan sinyal untuk mengatur udara dan pasokan bahan bakar ke dalam ruang pembakaran secara efektif dan efisien. Salah satu sensor yang digunakan adalah sensor gas O₂. Sensor gas O₂ tentunya juga bisa mengalami ketidaktepatan pembacaan saat awal maupun setelah pemakaian dalam jangka waktu tertentu, sehingga harus dikalibrasi.

Metode kalibrasi dalam penelitian ini ialah dengan prinsip tekanan berubah dengan volume tetap. Pada metode tekanan berubah dengan volume tetap, validasi dilakukan dengan cara memvakumkan tabung reaksi hingga tekanan vakum yang diinginkan, kemudian tabung reaksi diisi dengan nitrogen hingga

tekanan kembali ke 1 atm dan mencatat kadar oksigen yang tertinggal.

Dari hasil pengujian kalibrasi didapatkan selisih terbesar terjadi pada tekanan 1,48 bar dengan selisih pembacaan kadar oksigen antara alat kalibrasi dengan sensor oksigen sebesar 3,45 %. Sedangkan selisih terkecilnya terjadi pada tekanan 1,49 bar dengan selisih pembacaannya sebesar 0,43 %.

Kata Kunci : Electronic Fuel Injection (EFI), Electronic Control Unit (ECU), Sensor gas O₂, kalibrasi.

Design Construction Measurement System The Oxygen (O₂) Sensor Calibration Tool

Name : Zaini Latif
Number of Register : 2109100107
Department : Mechanical Engineering
Academic Supervisor : Arif Wahjudi, ST., MT., Ph.D
Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT

The development of combustion technology is getting more sophisticated these days. One of the example is the use of Electronic Fuel Injectin (EFI) to replace the carburator. Electronic fuel injecton (EFI) using the computerized electronic devices comonly known as electronic control unit (ECU). ECU works based on the input of several sensors that attached on it. ECU received signals from the sensors and starting to process the data that will be sent as feedback to control the air and fuel respectively to the combustion chamber, effectively and efficiently. One of the sensor used on this procces is called O₂ gas sensor. The O₂ gas sensor need to be calibrated after several use of a certain period.

The calibaration method that used in this experiment is the principal of isochoric. In this method ,the validation procces is performed by vacuming the test tube up until the desired value of pressure is required, after that the tube is filled by nitrogen until the pressure back to 1 atm and record the oxygen levels that left. From the result of calibration testing, the biggest difference happened on 1,48 bar with the difference of oxygen level between the calibration device and the oxygen sensor by 3,45 %.

Meanwhile, the smallest difference happened on 1,49 bar with the difference of 0,43%.

Keyword : Electronic Fuel Injection (EFI), the Electronic Control Unit (ECU), O₂ gas sensor, calibration.

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Pengaruh temperature dan tekanan terhadap % oksigen.....	38
Tabel 4.2 Tabel hasil uji coba.....	42

BAB IV PEMBAHASAN

4.1. Perancangan *Interface* Sistem ke Komputer

Interface merupakan sistem yang digunakan untuk menghubungkan antara manusia dengan peralatan teknologi. *Interface* dapat berupa pengendali atau visualisasi. Tujuan dari *interface* adalah untuk meningkatkan interaksi antara mesin dan operator melalui tampilan pada layar komputer.

4.1.1. Sensor

Sensor merupakan salah satu komponen penting sebagai pengindera dari sistem. Bagian ini akan mengubah hal-hal yang dideteksi menjadi besaran-besaran listrik sehingga dapat diproses oleh sistem elektronika seperti mikrokontroler melalui ADC (*Analog to Digital Converter*) yang mengubah sinyal elektronik menjadi data digital. Namun seringkali besaran listrik yang dihasilkan sensor sangat kecil sehingga ADC tidak dapat memprosesnya secara langsung. Untuk itu rangkaian pengkondisi signal dibutuhkan untuk menguatkan signal tersebut menjadi tegangan analog yang cukup besar. Sensor yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

a. Sensor Tekanan

Sensor tekanan merupakan sensor yang digunakan untuk merubah perubahan tekanan menjadi perubahan sinyal listrik. Tegangan output maksimal sensor tekanan sebesar 4.5 volt sehingga sinyal tersebut sudah cukup untuk langsung diolah oleh mikrokontroler melalui ADC. Oleh karena itu, sensor tekanan tidak membutuhkan pengkondisian sinyal. Sensor tekanan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Sensor tekanan

b. Termokopel

Termokopel adalah sensor yang digunakan untuk mengubah perubahan suhu menjadi perubahan tegangan listrik. Termokopel sendiri adalah dua buah kawat logam yang berbeda jenisnya, dimana salah satu ujungnya disatukan. Jika kedua kawat telah disatukan tersebut menerima perlakuan panas, maka akan ada beda tegangan pada kedua ujung kawat yang lainnya. Besar beda tegangan tergantung dari bahan atau tipe dari termokopel tersebut.

Termokopel tipe-K terbuat dari bahan Chromel (Ni-Cr alloy) – Alumel (Ni-Al alloy) yang mempunyai kemampuan untuk mengubah temperatur menjadi tegangan listrik secara linier dari 0°C - 1372°C . Beda tegangan yang diberikan untuk perubahan setiap 1°C adalah sebesar $40\mu\text{V}$. Termokopel yang digunakan tampak seperti pada gambar 4.2. di bawah ini :



Gambar 4.2 Termokopel tipe-K

c. Sensor Oksigen

Sensor oksigen yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor oksigen Figaro tipe KE-25. Fitur yang paling menonjol dari sensor ini ialah pembacaan sensor tidak dipengaruhi dengan adanya gas-gas yang lain seperti CO_2 , CO , H_2S , NO , H_2 . Sensor ini mempunyai *linieritas* yang baik dan menghasilkan keluaran yang stabil. Tidak diperlukan waktu pemanasan sehingga sensor ini dapat langsung beroperasi, dan tidak ada ketergantungan posisi.

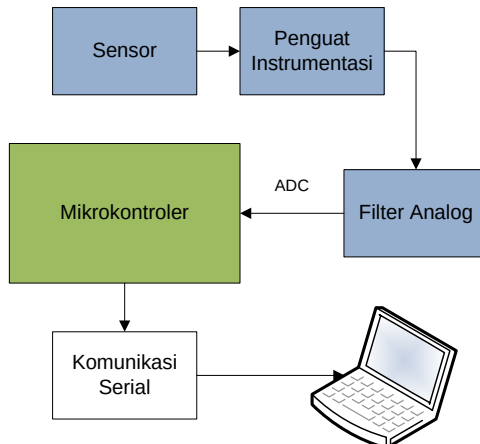
Penggunaan sensor oksigen Figaro KE-25 dapat diaplikasikan dalam berbagai hal, antara lain : dalam hal keselamatan seperti *Air Conditioner* (AC), pendeteksi gas Oksigen, pendeteksi kebakaran. Dalam hal pengukuran dapat digunakan untuk monitoring gas oksigen dalam gas buang. Dalam hal Bioteknologi digunakan untuk inkubator Oksigen, *kultivator anaerobic*. Sensor oksigen tipe KE-25 tampak seperti gambar 4.3.



Gambar 4.3. Sensor Oksigen tipe KE-25

4.1.2. Sistem *Interface*

Rancangan sistem interface pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.4 di bawah ini :



Gambar 4.4 Sistem interface

Sistem *interface* bekerja berdasarkan sinyal-sinyal listrik yang berasal dari *output* sensor-sensor yang digunakan. Karena *output* dari sensor berupa sinyal analog maka sinyal analog tersebut harus dirubah terlebih dahulu menjadi sinyal digital dengan menggunakan *analog to digital converter* (ADC) agar bisa diolah oleh mikrokontroller. Hasil pengolahan mikrokontroller kemudian dikirim ke komputer dengan menggunakan komunikasi serial. Hasil kiriman data dari mikrokontroller selanjutnya diolah dengan visual basic untuk visualisasi pembacaan alat kalibrasi.

4.1.3. Resolusi Pengukuran

Resolusi sistem pengukuran pada alat kalibrasi tergantung dari resolusi pengukuran masing-masing sensor yang digunakan. Pada penelitian ini menggunakan persamaan gas ideal $P V = n R T$, karena metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan volume tetap maka yang akan berubah adalah faktor tekanan dan temperatur. Berdasarkan analisa regresi dan korelasi pada penelitian sebelumnya, diperoleh persamaan kadar oksigen terhadap tekanan dan temperatur. Kemudian dilakukan analisa korelasi untuk mengetahui seberapa besar pengaruh tekanan dan temperatur terhadap kadar oksigen. Dari analisa yang dilakukan diperoleh bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap kadar gas O_2 adalah faktor tekanan, sehingga pembacaan sensor tekanan sangat mempengaruhi resolusi alat kalibrasi. Berdasarkan spesifikasi, sensor tekanan memiliki resolusi sebesar 0.01 bar.

Berdasarkan analisa tekanan terhadap persentase oksigen pada penelitain sebelumnya, didapatkan persamaan $\%O_2 = -12,06 P^2 + 71,85 P - 59,01$, karena persamaan tersebut akan bernilai negatif ketika dibawah 1 bar maka analisa resolusi pengukuran dilakukan di atas 1 bar.

Analisa kadar O₂ saat 1,00 bar

$$\begin{aligned}\%O_2 &= -12,06 P^2 + 71,85 P - 59,01 \\ &= -12,06 (1,00)^2 + 71,85 (1,00) - 59,01 \\ &= 0,78\end{aligned}$$

Analisa kadar O₂ saat 1,01 bar

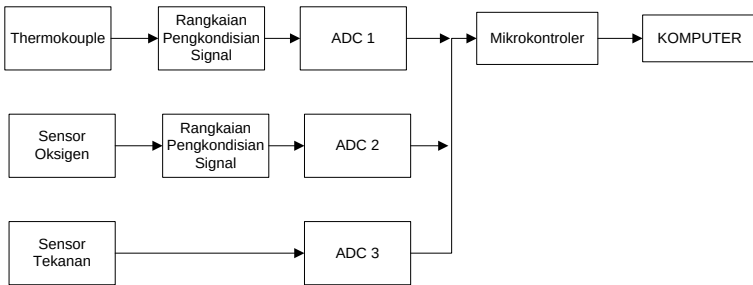
$$\begin{aligned}\%O_2 &= -12,06 P^2 + 71,85 P - 59,01 \\ &= -12,06 (1,01)^2 + 71,85 (1,01) - 59,01 \\ &= 1,26\end{aligned}$$

Jadi berdasarkan analisa diatas didapatkan resolusi pengukuran sebesar $1,26 - 0,78 = 0,48$ persen oksigen.

4.2. Perakitan Sistem *Interface* dan Pembuatan Program

4.2.1. Rangkaian Sistem *Interface*

Dalam rancangan rangkaian interface pada penelitian ini terdiri beberapa peralatan seperti terlihat pada gambar 4.5. pada sistem interface terdapat tiga buah sensor yaitu sensor thermokouple, sensor oksigen, dan sensor tekanan. Besaran listrik yang dihasilkan sensor sangat kecil sehingga memerlukan rangkaian pengkondisian signal agar dapat diproses mikrokontroler. Khusus untuk sensor tekanan yang memiliki keluaran tegangan yang cukup besar, maka rangkaian pengkondisian signal tidak diperlukan.



Gambar 4.5 Blok diagram sistem *interface*

Pemansangan sensor tekanan yang digunakan untuk mengukur perubahan tekanan dalam tabung dapat dilihat pada gambar 4.6. penghubung sensor tekanan dengan tabung menggunakan ulir agar mudah saat memasang dan melepas sensor.



Gambar 4.6 Pemasangan sensor tekanan pada tabung kalibrasi.



Gambar 4.7 Pemasangan termokopel pada tabung kalibrasi.

a. Mikrokontroler

Mikrokontroler yang digunakan pada penelitian ini ialah mikrokontroler Arduino UNO yang telah terpasang Atmega 328 dalam *board*. Arduino Uno memiliki 14 pin digital (6 pin dapat digunakan sebagai output PWM). Tampak atas dari arduino uno dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Mikrokontroler Arduino Uno

Adapun data teknis board Arduino UNO R3 adalah sebagai berikut :

- Mikrokontroler : ATmega328
- Tegangan Operasi : 5V
- Tegangan input (recomended) : 7 – 12 V
- Pin digital I/O : 14 (6 diantaranya pin PWM)
- Pin analog input : 6
- Arus DC per pin I/O : 40 mA
- Arus DC untuk pin 3.3 V : 150 mA
- Flash Memory : 32 KB dengan 0.5 KB digunakan untuk bootloader
- SRAM : 2 KB
- EEPROM : 1 KB
- Kecepatan Pewaktuan : 16 Mhz

b. Kabel USB

Kabel USB digunakan untuk menghubungkan mikrokontroller dengan computer dengan komunikasi serial, sehingga data serial dapat diolah untuk visualisasi pada komputer. Kabel USB yang digunakan dapat dilihat pada gambar 4.9 Di bawah ini :



Gambar 4.9 Kabel USB

c. Komputer

Komputer digunakan untuk menampilkan visualisasi hasil pengukuran yang telah diolah pada mikrokontroler.



Gambar 4.10 Koneksi mikrokontroler dengan komputer

4.2.2. Program Display

Pemrograman display menggunakan visual basic 6.0. Pada pemrograman visual basic, pengembangan aplikasi dimulai dengan pembentukan *user interface*, kemudian mengatur *property* dari objek-objek yang digunakan dalam *user interface* dan kemudian dilakukan penulisan kode program untuk menangani kejadian-kejadian (*event*).

Ada beberapa hal yang harus dipahami dalam Visual Basic antara lain :

- Objek, sering disebut *entity* adalah suatu yang bisa dibedakan dengan yang lain. Dalam Visual Basic objek-objek yang dimaksud disebut control. Jenis-

jenis control antara lain : *label*, *text box*, *combo box*, *list box*, dan lain-lain.

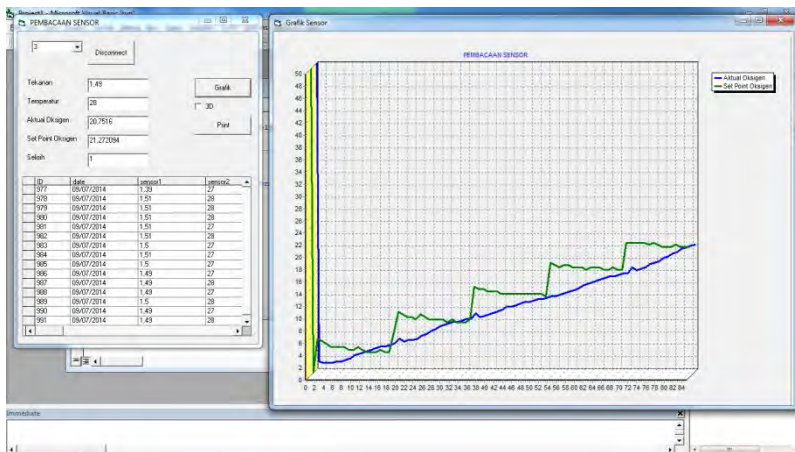
- Properti, sering disebut atribut, adalah ciri-ciri yang menggambarkan suatu objek.
- Event adalah suatu yang menimpa objek.
- Metode, adalah kemampuan yang dimiliki oleh suatu objek.

Display interface saat awal program belum berjalan dapat dilihat pada gambar 4.11.

ID	date	sensor1	sensor2

Gambar 4.11. Tampilan awal display *interface*

Gambar 4.11 merupakan tampilan program awal sistem pengukuran menggunakan visual basic 6.0. Pada tampilan tersebut terdiri dari beberapa fitur yang dapat menampilkan tekanan, temperature, kadar oksigen yang terbaca oleh sensor, kadar oksigen berdasarkan perhitungan dan selisih kadar oksigen. Selain itu ada beberapa tombol seperti connect-disconnect, grafik, pemilihan COM dan print. Tombol connect-disconnect berfungsi untuk menyambung dan memutus komunikasi antara mikrokontroler dengan komputer. Tombol COM digunakan untuk memilih konektor yang digunakan untuk menghubungkan mikrokontroler ke komputer. Tombol grafik digunakan untuk menampilkan grafik hasil pengolahan data yang diperoleh. Tombol print digunakan untuk mencetak data hasil pengukuran. Selain beberapa tombol di atas, terdapat juga tabel yang merekam data-data pengukuran.



Gambar 4.12 Tampilan display saat program berjalan

Gambar 4.12 di atas menunjukkan tampilan saat program dijalankan. Pada text box telah terisi sesuai dengan kondisi pengukuran. Di sisi kanan terlihat tampilan grafik dari hasil pengukuran. Garis hijau pada grafik menunjukkan nilai oksigen

berdasarkan perhitungan sedangkan garis biru pada grafik menunjukkan nilai oksigen dari pembacaan sensor oksigen.

4.3. Pengambilan dan analisa data

4.3.1. Pengambilan data

Pengambilan data kalibrasi sensor oksigen dilakukan dengan beberapa langkah sebagai berikut :

1. Memastikan semua komponen elektrik terhubung dengan baik.
2. Memastikan semua komponen non elektrik siap digunakan termasuk tabung oksigen dan nitrogen.



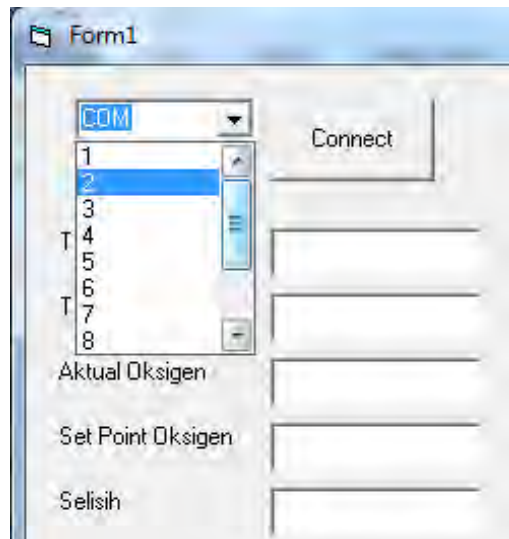
Gambar 4.13. Koneksi komponen elektrik dan non-elektrik

3. Menghubungkan mikrokontroler dengan komputer.



Gambar 4.14. Sambungan kabel mikrokontroler dan komputer

Cara menghubungkan mikrokontroler dilakukan dengan cara memilih COM port yang menghubungkan antara mikrokontroler dengan komputer. Seperti tampak pada gambar 4.14. Kemudian klik tombol connect untuk menghubungkan.

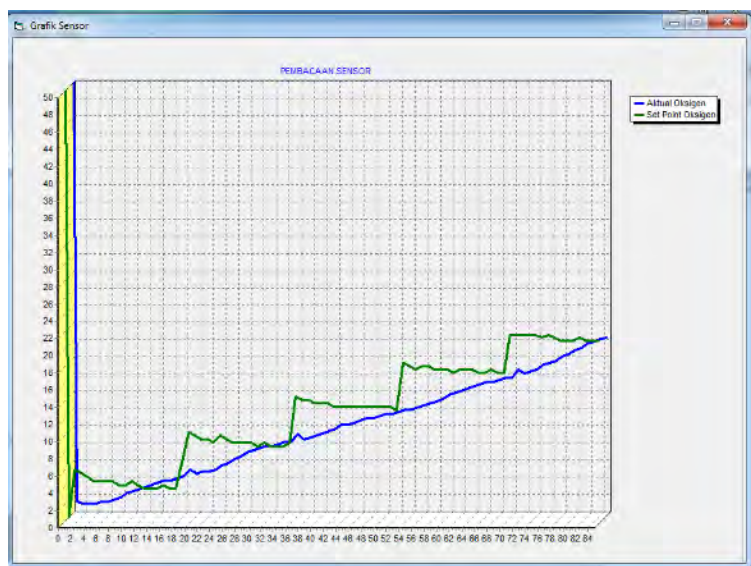


Gambar 4.15. Koneksi mikrokontroler dan komputer.

4. Setelah koneksi terhubung akan muncul grafik dan data hasil pengukuran. Data hasil pengukuran akan direkam seperti nampak pada gambar 4.16. Selain itu juga akan didapatkan grafik hasil pengukuran seperti nampak pada gambar 4.17.

ID	date	sensor 1	sensor 2
977	09/07/2014	1.39	27
978	09/07/2014	1.51	28
979	09/07/2014	1.51	28
980	09/07/2014	1.51	28
981	09/07/2014	1.51	27
982	09/07/2014	1.51	28
983	09/07/2014	1.5	27
984	09/07/2014	1.51	27
985	09/07/2014	1.5	27
986	09/07/2014	1.49	27
987	09/07/2014	1.49	28
988	09/07/2014	1.49	27
989	09/07/2014	1.5	28
990	09/07/2014	1.49	27
991	09/07/2014	1.49	28

Gambar 4.16 Data hasil pengukuran.



Gambar 4.17 Grafik hasil pengukuran.

Gambar 4.17 adalah grafik hasil pengukuran prosentase oksigen dengan tampilan menggunakan Visual Basic 6.0. Grafik hasil pengukuran menunjukkan tren grafik yang berbeda. Grafik berwarna hijau adalah grafik set poin presentase oksigen hasil perhitungan, sementara grafik berwarna biru adalah grafik pembacaan sensor oksigen.

Garis set poin presentase oksigen hasil perhitungan sesuai dengan pengkondisian tekanan dalam tabung kalibrasi. Pertama, grafik naik dari tekanan 1,0 bar menjadi 1,1 bar. Tekanan dalam tabung dikondisikan tetap pada kondisi ini. Selanjutnya, mikrokontroler diberikan delay selama 15 detik sebelum diubah menjadi set poin tekanan berikutnya. Setelah delay 15 detik terpenuhi, mikrokontroler memerintah aktuator (solenoid valve) untuk memasukkan oksigen lagi sampai pada set poin tekanan berikutnya. Langkah ini dilakukan sampai mencapai set poin tekanan 1,5 bar.

Grafik pembacaan sensor oksigen memiliki tren yang selalu meningkat. Berdasarkan datasheet sensor oksigen, sensor oksigen ini memiliki respon time 14 detik. Hal ini terlihat pada grafik bahwa pembacaan sensor oksigen selalu meningkat sebelum respon time tercapai.

4.3.2. Kompensasi Temperature terhadap Persentase Gas O₂

Berdasarkan analisa regresi dan korelasi, temperatur tidak signifikan terhadap perubahan kadar O₂. Akan tetapi perlu kompensasi untuk mengetahui perubahan kadar O₂ yang terjadi akibat perubahan temperatur. Perubahan temperatur dapat dilihat pada tabel 4.1:

Tabel 4.1. Pengaruh temperatur dan tekanan terhadap % oksigen.

Data 1			Data 2			Data 3		
T	P	%O ₂	T	P	%O ₂	T	P	%O ₂
26,8	1,0	0	27,9	1,0	0	27,6	1,0	0
26,8	1,1	5,37	28,0	1,1	5,33	27,7	1,1	5,33
26,8	1,2	10,19	28,0	1,2	10,16	27,8	1,2	10,12
26,9	1,3	14,51	28,0	1,3	14,51	28,0	1,3	14,42
27,0	1,4	18,44	27,9	1,4	18,49	28,1	1,4	18,35
27,3	1,5	21,96	27,8	1,5	22,13	28,2	1,5	21,93

Berdasarkan Tabel 4.1 diketahui perubahan temperatur yang terjadi. Karena pada penelitin ini tekanan yang digunakan hanya sampai 1,5 bar maka maksimal perubahan yang terjadi adalah 0,6° C. Pada analisa kompensasi menggunakan perubahan temperatur sebesar 1° C. Analisa kompensasi perubahan temperatur sebagai berikut :

Dengan menggunakan perumusan gas ideal,

$$P V = n R T$$

n = jumlah mol gas,

R = tetapan umum gas = $8,31 \times 10^3$ J/kmolK (SI) = 8,31 J/molK,

P = tekanan (N/m²),

V = volume (m³), dan

T = temperatur (K).

Contoh perhitungan:

$$P_1 = 1,1 \text{ bar} = 1 \text{ atm} + (1,1 \times 0,986923) = 2,0856513 \text{ N/m}^2$$

$$T_1 = 27,7^\circ\text{C} = 300,85 \text{ K}$$

$$V = 0,03198 \text{ m}^3$$

$$R = \text{tetapan umum gas} = 8,31 \text{ J/molK},$$

$$P_1 V = n \bar{R} T_1$$

$$2,0856513 \text{ N/m}^2 \cdot 0,03198 \text{ m}^3 = n \cdot 8,31 \text{ J/molK} \cdot 300,85 \text{ K}$$

$$n_{\text{total}} = 0,0000266789 \text{ mol}$$

Karena gas dalam tabung kalibrasi merupakan campuran nitrogen dan oksigen maka n adalah jumlah mol campuran.

$$n_{\text{oksigen}} = n_{\text{total}} - n_{\text{nitrogen}}$$

$$n_{\text{oksigen}} = 0,0000266789 \text{ mol} - 0,00002542452 \text{ mol}$$

$$n_{\text{oksigen}} = 0,0000012537 \text{ mol}$$

Jika jumlah mol oksigen dan nitrogen diketahui maka massa nitrogen dan oksigen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan $n = \frac{m}{Mr}$

Dimana : m = massa gas

Mr = massa relatif

Sehingga massa oksigen dan nitrogen dapat dihitung

Diketahui: $n_{\text{nitrogen}} = 0,00002542452 \text{ mol}$

$$Mr = 14$$

$$m = n \cdot Mr$$

$$m = 0,00002542452 \text{ mol} \times 14$$

$$m = 0,0003559432 \text{ gr}$$

$$n_{\text{oksigen}} = 0,0000012537 \text{ mol}$$

$$Mr = 16$$

$$\begin{aligned}
 m &= n \cdot M_r \\
 m &= 0,0000012537 \text{ mol} \cdot 16 \\
 m &= 0,0000200592 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar oksigen} &= \frac{m_{\text{oksigen}}}{m_{\text{oksigen}} + m_{\text{nitrogen}}} \\
 &= \frac{0,0000200592}{0,0000200592 + 0,0003559432} \\
 &= 0,053348 \\
 &= 5,33 \%
 \end{aligned}$$

Jika pada tekanan 1,1 bar terjadi kenaikan 1° C dari 27,7 ° C menjadi 28,7 ° C maka perhitungan kadar oksigen adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_2 &= 1,1 \text{ bar} = 1 \text{ atm} + (1,1 \times 0,986923) = 2,0856513 \text{ N/m}^2 \\
 T_2 &= 28,7^\circ\text{C} = 301,85 \text{ K} \\
 V &= 0,03198 \text{ m}^3 \\
 R &= \text{tetapan umum gas} = 8,31 \text{ J/molK},
 \end{aligned}$$

$$P_2 V = n \bar{R} T_2$$

$$\begin{aligned}
 2,0856513 \text{ N/m}^2 \cdot 0,03198 \text{ m}^3 &= n \cdot 8,31 \text{ J/molK} \cdot 301,85 \text{ K} \\
 n_{\text{total}} &= 0,0000265905 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{oksigen}} &= n_{\text{total}} - n_{\text{nitrogen}} \\
 n_{\text{oksigen}} &= 0,0000265905 \text{ mol} - 0,00002542452 \text{ mol} \\
 n_{\text{oksigen}} &= 0,0000011659 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

Sehingga massa oksigen dan nitrogen dapat dihitung

Diketahui: $n_{\text{nitrogen}} = 0,00002542452 \text{ mol}$

$$Mr = 14$$

$$m = n \cdot Mr$$

$$m = 0,00002542452 \text{ mol} \times 14$$

$$m = 0,0003559432 \text{ gr}$$

Diketahui: $n_{\text{oksigen}} = 0,0000011659 \text{ mol}$

$$Mr = 16$$

$$m = n \cdot Mr$$

$$m = 0,0000011659 \text{ mol} \times 16$$

$$m = 0,0000186544 \text{ gr}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar oksigen} &= \frac{m_{\text{oksigen}}}{m_{\text{oksigen}} + m_{\text{nitrogen}}} \\ &= \frac{0,0000186544}{0,0000186544 + 0,0003559432} \\ &= 0,04979 \\ &= 4,97 \% \end{aligned}$$

Maka kompensasi temperature terhadap persentase gas O_2 sebesar,

$$\begin{aligned} \text{Kompensasi Temperatur} &= \% O_2 \text{ saat } T: 28,7^\circ \text{ C} - \% O_2 \\ &\text{saat } T: 27,7^\circ \text{ C} \\ &= 5,33 - 4,97 \\ &= 0,36 \% O_2 \text{ tiap kenaikan } 1^\circ \text{ C} \end{aligned}$$

4.4 Hasil Pengujian

Setelah rancangan bangun sistem pengukuran yang telah dilakukan, didapatkan hasil selisih antara pembacaan kadar oksigen dari persamaan tekanan dan kadar oksigen dari pembacaan sensor adalah seperti tabel 4.2 di bawah ini :

Tabel 4.2 Tabel hasil uji coba

Tekanan	pembacaan sensor O2	oksigen Set point	Selisih
1,07	6,386	4,06	-2,33
1,2	8,564	9,84	1,28
1,18	10,74	8,98	-1,76
1,18	11,01	8,98	-2,03
1,29	14,82	13,6	-1,22
1,28	15,36	13,1	-2,26
1,4	16,73	17,9	1,17
1,38	19,18	17,1	-2,08
1,38	19,45	17,1	-2,35
1,49	21,63	21,2	-0,43
1,48	23,53	20,9	-2,63
1,48	24,35	20,9	-3,45
		Rata-rata	-1,51

Selisih pembacaan kadar oksigen dari persamaan tekanan dan kadar oksigen dari pembacaan sensor di atas sebagian besar selisih memberikan nilai negatif karena kadar oksigen dari persamaan tekanan lebih kecil dari pada kadar oksigen dari pembacaan sensor oksigen. Hanya dua set point yang memberikan nilai yang positif yaitu pada saat tekanan 1,2 bar dan 1,4.

Hasil pengujian pada tabel 4.2 di atas, kolom pembacaan kadar oksigen set point merupakan hasil dari perhitungan

menggunakan persamaan gas ideal. Pembacaan ini telah dilakukan kalibrasi dengan menggunakan alat uji emisi di Dinas Perhubungan kota Surabaya. Akan tetapi, setiap pengukuran tidak bisa menunjukkan hasil yang sebenarnya. Pasti ada selisih pembacaan dengan nilai yang sebenarnya. Hal ini dikarenakan adanya ketidakpastian pengukuran. Ketidak pastian pengukuran ini disebabkan karena resolusi alat ukur, faktor lingkungan dan faktor manusia sebagai pelaku pengukuran.

Analisa ketidakpastian pengukuran membutuhkan analisa yang banyak, oleh karena itu pada penelitain ini tidak dilakukan analisa ketidakpastian pengukuran. Sehingga analisa ketidakpastian pengukuran menjadi batasan masalah pada penelitian ini.

Dari hasil pengujian kalibrasi didapatkan selisih terbesar terjadi pada tekanan 1,48 bar dengan selisih pembacaan kadar oksigen antara alat kalibrasi dengan sensor oksigen sebesar 3,45 %. Sedangkan selisih terkecilnya terjadi pada tekanan 1,49 bar dengan selisih pembacaannya sebesar 0,43 %.

Halaman sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Langkah-Langkah Penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur dan Lapangan
Studi mengenai komunikasi antara *microkontroller* dengan komputer serta cara untuk menyajikan inputan sensor. Pada tahap ini telah dibuat rancang bangun alat kalibrasi berupa *hardware- hardware* yang diperlukan jadi tidak diperlukan lagi untuk perancangan *hardware*.
2. Identifikasi dan Perumusan Masalah
Hasil dari studi literatur dan lapangan kemudian dirumuskan menjadi masalah yang akan dibahas pada penelitian.
3. Penetapan Tujuan Penelitian
Dari perumusan masalah kemudian akan ditetapkan tujuan dari penelitian sehingga penelitian dapat diarahkan pada tujuan tersebut.
4. Pembuatan perancangan *interface* sistem ke komputer
Setelah menetapkan tujuan maka tahap selanjutnya ialah melakukan perancangan sistem *interface*. Desain *interface* digunakan untuk proses pengiriman data data dari sensor yang akan ditampilkan kedalam komputer yang sebelumnya telah dilakukan pengolahan dalam mikrokontroleri.
5. Perakitan Sistem Interface dan Pembuatan Program
Setelah desain *interface* telah selesai dibuat langkah selanjutnya ialah proses perakitan sensor-sensor yang dibutuhkan dan pembuatan *interface* dengan menggunakan program Visual Basic.

6. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan pencatatan nilai hasil dari pembacaan sensor termokopel dan sensor tekanan. Sehingga didapatkan nilai hasil pembacaan yang berupa temperatur dan tekanan.

7. Analisa Data

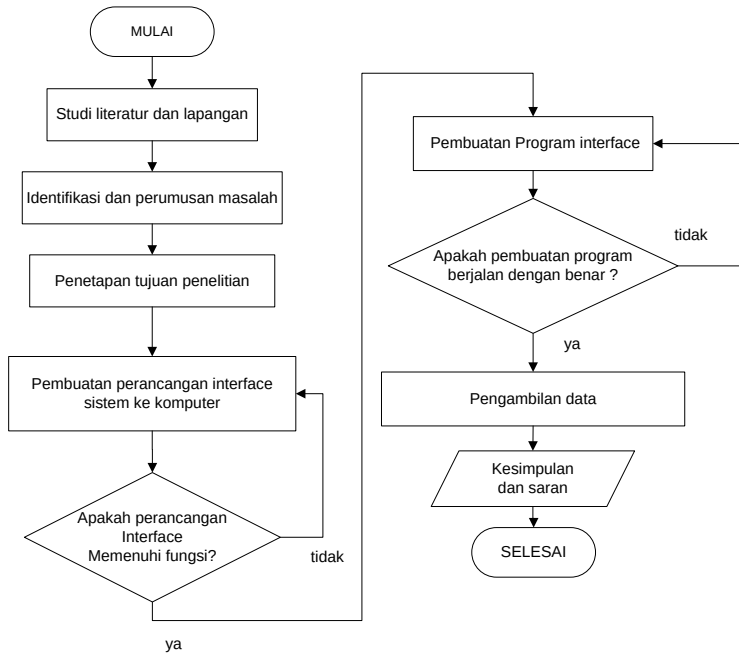
Dari data yang diperoleh kita bisa menentukan hubungan antara tekanan dan suhu dengan prosentase gas O_2 yang terdapat dalam tabung reaksi. Hubungan tersebut ditentukan dengan menggunakan analisa regresi dan korelasi.

8. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan berisi tentang data hasil kalibrasi, yaitu selisih antara pembacaan sensor gas O_2 dengan pembacaan alat kalibrasi sensor gas O_2 yang mengindikasikan kelayakan sensor gas O_2 untuk digunakan.

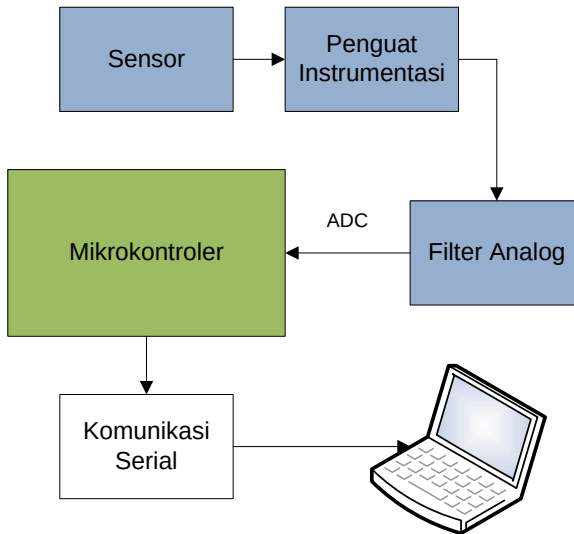
3.2 Diagram Alir Metode Penelitian

Diagram alir metode penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian

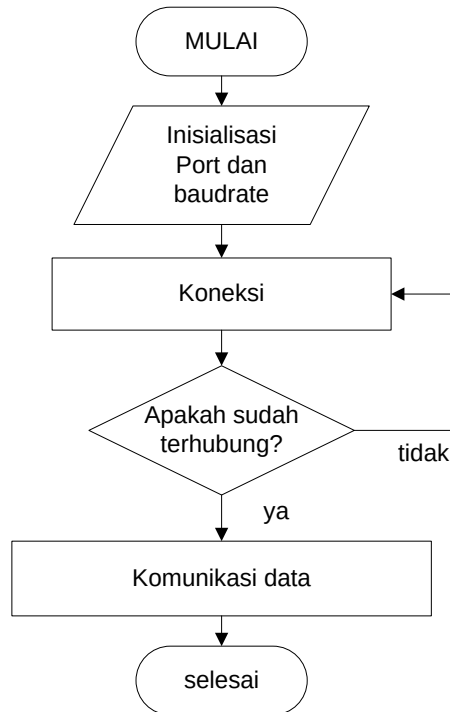
3.3 Diagram Alir Perangkat Keras



Gambar 3.2 Diagram alir perangkat keras

Secara garis besar perangkat keras untuk sistem ini dibedakan menjadi dua yaitu rangkaian analog dan rangkaian digital. Blok sistem pada gambar di atas yang berada pada daerah biru menunjukkan blok rangkaian analog. Sedangkan blok yang berada pada daerah hijau merupakan blok rangkaian digital. Untuk menghubungkan daerah analog dan digital memerlukan *Analog to Digital Converter (ADC)* yang sudah ada pada fitur Arduino UNO sehingga tidak memerlukan rangkaian ADC tambahan. Sedangkan untuk menghubungkan *microcontroller* dengan komputer dihubungkan dengan komunikasi serial.

3.4 Diagram Alir Komunikasi Serial



Gambar 3.3 Diagram alir komunikasi serial

Sebelum melakukan komunikasi antara PC dan Mikrokontroler, perlu adanya penyesuaian pada masing-masing perangkat, adapun yang harus disesuaikan yaitu kecepatan transfer (*baudrate*) serta pengaturan port yang akan dilewati untuk komunikasi antara dua perangkat.

Halaman sengaja dikosongkan

BAB IV PEMBAHASAN

4.1. Perancangan *Interface* Sistem ke Komputer

Interface merupakan sistem yang digunakan untuk menghubungkan antara manusia dengan peralatan teknologi. *Interface* dapat berupa pengendali atau visualisasi. Tujuan dari *interface* adalah untuk meningkatkan interaksi antara mesin dan operator melalui tampilan pada layar komputer.

4.1.1. Sensor

Sensor merupakan salah satu komponen penting sebagai pengindera dari sistem. Bagian ini akan mengubah hal-hal yang dideteksi menjadi besaran-besaran listrik sehingga dapat diproses oleh sistem elektronika seperti mikrokontroler melalui ADC (*Analog to Digital Converter*) yang mengubah sinyal elektronik menjadi data digital. Namun seringkali besaran listrik yang dihasilkan sensor sangat kecil sehingga ADC tidak dapat memprosesnya secara langsung. Untuk itu rangkaian pengkondisi signal dibutuhkan untuk menguatkan signal tersebut menjadi tegangan analog yang cukup besar. Sensor yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

a. Sensor Tekanan

Sensor tekanan merupakan sensor yang digunakan untuk merubah perubahan tekanan menjadi perubahan sinyal listrik. Tegangan output maksimal sensor tekanan sebesar 4.5 volt sehingga sinyal tersebut sudah cukup untuk langsung diolah oleh mikrokontroler melalui ADC. Oleh karena itu, sensor tekanan tidak membutuhkan pengkondisian sinyal. Sensor tekanan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Sensor tekanan

b. Termokopel

Termokopel adalah sensor yang digunakan untuk mengubah perubahan suhu menjadi perubahan tegangan listrik. Termokopel sendiri adalah dua buah kawat logam yang berbeda jenisnya, dimana salah satu ujungnya disatukan. Jika kedua kawat telah disatukan tersebut menerima perlakuan panas, maka akan ada beda tegangan pada kedua ujung kawat yang lainnya. Besar beda tegangan tergantung dari bahan atau tipe dari termokopel tersebut.

Termokopel tipe-K terbuat dari bahan Chromel (Ni-Cr alloy) – Alumel (Ni-Al alloy) yang mempunyai kemampuan untuk mengubah temperatur menjadi tegangan listrik secara linier dari 0°C - 1372°C . Beda tegangan yang diberikan untuk perubahan setiap 1°C adalah sebesar $40\mu\text{V}$. Termokopel yang digunakan tampak seperti pada gambar 4.2. di bawah ini :



Gambar 4.2 Termokopel tipe-K

c. Sensor Oksigen

Sensor oksigen yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor oksigen Figaro tipe KE-25. Fitur yang paling menonjol dari sensor ini ialah pembacaan sensor tidak dipengaruhi dengan adanya gas-gas yang lain seperti CO_2 , CO , H_2S , NO , H_2 . Sensor ini mempunyai *linieritas* yang baik dan menghasilkan keluaran yang stabil. Tidak diperlukan waktu pemanasan sehingga sensor ini dapat langsung beroperasi, dan tidak ada ketergantungan posisi.

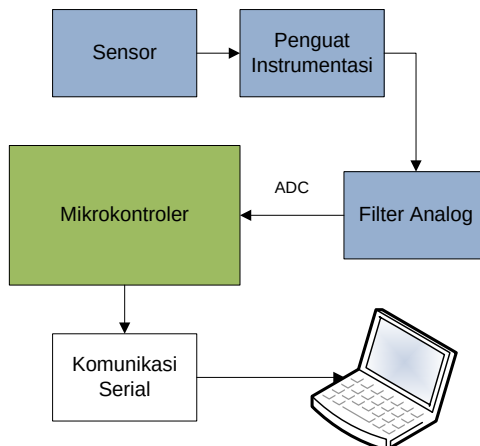
Penggunaan sensor oksigen Figaro KE-25 dapat diaplikasikan dalam berbagai hal, antara lain : dalam hal keselamatan seperti *Air Conditioner* (AC), pendeteksi gas Oksigen, pendeteksi kebakaran. Dalam hal pengukuran dapat digunakan untuk monitoring gas oksigen dalam gas buang. Dalam hal Bioteknologi digunakan untuk inkubator Oksigen, *kultivator anaerobic*. Sensor oksigen tipe KE-25 tampak seperti gambar 4.3.



Gambar 4.3. Sensor Oksigen tipe KE-25

4.1.2. Sistem *Interface*

Rancangan sistem interface pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.4 di bawah ini :



Gambar 4.4 Sistem interface

Sistem *interface* bekerja berdasarkan sinyal-sinyal listrik yang berasal dari *output* sensor-sensor yang digunakan. Karena *output* dari sensor berupa sinyal analog maka sinyal analog tersebut harus dirubah terlebih dahulu menjadi sinyal digital dengan menggunakan *analog to digital converter* (ADC) agar bisa diolah oleh mikrokontroller. Hasil pengolahan mikrokontroller kemudian dikirim ke komputer dengan menggunakan komunikasi serial. Hasil kiriman data dari mikrokontroller selanjutnya diolah dengan visual basic untuk visualisasi pembacaan alat kalibrasi.

4.1.3. Resolusi Pengukuran

Resolusi sistem pengukuran pada alat kalibrasi tergantung dari resolusi pengukuran masing-masing sensor yang digunakan. Pada penelitian ini menggunakan persamaan gas ideal $P V = n R T$, karena metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan volume tetap maka yang akan berubah adalah faktor tekanan dan temperatur. Berdasarkan analisa regresi dan korelasi pada penelitian sebelumnya, diperoleh persamaan kadar oksigen terhadap tekanan dan temperatur. Kemudian dilakukan analisa korelasi untuk mengetahui seberapa besar pengaruh tekanan dan temperatur terhadap kadar oksigen. Dari analisa yang dilakukan diperoleh bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap kadar gas O_2 adalah faktor tekanan, sehingga pembacaan sensor tekanan sangat mempengaruhi resolusi alat kalibrasi. Berdasarkan spesifikasi, sensor tekanan memiliki resolusi sebesar 0.01 bar.

Berdasarkan analisa tekanan terhadap persentase oksigen pada penelitain sebelumnya, didapatkan persamaan $\%O_2 = -12,06 P^2 + 71,85 P - 59,01$, karena persamaan tersebut akan bernilai negatif ketika dibawah 1 bar maka analisa resolusi pengukuran dilakukan di atas 1 bar.

Analisa kadar O₂ saat 1,00 bar

$$\begin{aligned}\%O_2 &= -12,06 P^2 + 71,85 P - 59,01 \\ &= -12,06 (1,00)^2 + 71,85 (1,00) - 59,01 \\ &= 0,78\end{aligned}$$

Analisa kadar O₂ saat 1,01 bar

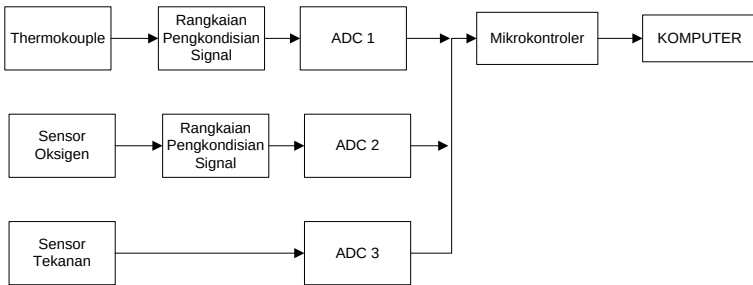
$$\begin{aligned}\%O_2 &= -12,06 P^2 + 71,85 P - 59,01 \\ &= -12,06 (1,01)^2 + 71,85 (1,01) - 59,01 \\ &= 1,26\end{aligned}$$

Jadi berdasarkan analisa diatas didapatkan resolusi pengukuran sebesar $1,26 - 0,78 = 0,48$ persen oksigen.

4.2. Perakitan Sistem *Interface* dan Pembuatan Program

4.2.1. Rangkaian Sistem *Interface*

Dalam rancangan rangkaian interface pada penelitian ini terdiri beberapa peralatan seperti terlihat pada gambar 4.5. pada sistem interface terdapat tiga buah sensor yaitu sensor thermokouple, sensor oksigen, dan sensor tekanan. Besaran listrik yang dihasilkan sensor sangat kecil sehingga memerlukan rangkaian pengkondisian signal agar dapat diproses mikrokontroler. Khusus untuk sensor tekanan yang memiliki keluaran tegangan yang cukup besar, maka rangkaian pengkondisian signal tidak diperlukan.



Gambar 4.5 Blok diagram sistem *interface*

Pemansangan sensor tekanan yang digunakan untuk mengukur perubahan tekanan dalam tabung dapat dilihat pada gambar 4.6. penghubung sensor tekanan dengan tabung menggunakan ulir agar mudah saat memasang dan melepas sensor.



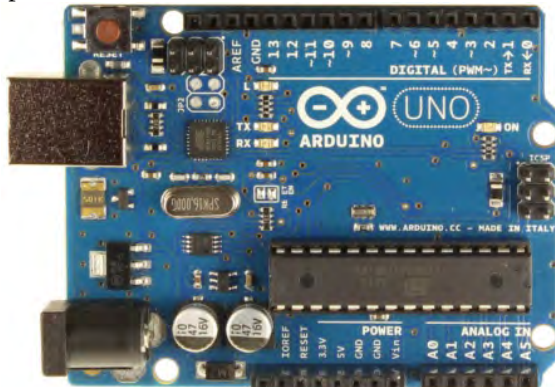
Gambar 4.6 Pemasangan sensor tekanan pada tabung kalibrasi.



Gambar 4.7 Pemasangan termokopel pada tabung kalibrasi.

a. Mikrokontroler

Mikrokontroler yang digunakan pada penelitian ini ialah mikrokontroler Arduino UNO yang telah terpasang Atmega 328 dalam *board*. Arduino Uno memiliki 14 pin digital (6 pin dapat digunakan sebagai output PWM). Tampak atas dari arduino uno dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Mikrokontroler Arduino Uno

Adapun data teknis board Arduino UNO R3 adalah sebagai berikut :

- Mikrokontroler : ATmega328
- Tegangan Operasi : 5V
- Tegangan input (recomended) : 7 – 12 V
- Pin digital I/O : 14 (6 diantaranya pin PWM)
- Pin analog input : 6
- Arus DC per pin I/O : 40 mA
- Arus DC untuk pin 3.3 V : 150 mA
- Flash Memory : 32 KB dengan 0.5 KB digunakan untuk bootloader
- SRAM : 2 KB
- EEPROM : 1 KB
- Kecepatan Pewaktuan : 16 Mhz

b. Kabel USB

Kabel USB digunakan untuk menghubungkan mikrokontroller dengan computer dengan komunikasi serial, sehingga data serial dapat diolah untuk visualisasi pada komputer. Kabel USB yang digunakan dapat dilihat pada gambar 4.9 Di bawah ini :



Gambar 4.9 Kabel USB

c. Komputer

Komputer digunakan untuk menampilkan visualisasi hasil pengukuran yang telah diolah pada mikrokontroler.



Gambar 4.10 Koneksi mikrokontroler dengan komputer

4.2.2. Program Display

Pemrograman display menggunakan visual basic 6.0. Pada pemrograman visual basic, pengembangan aplikasi dimulai dengan pembentukan *user interface*, kemudian mengatur *property* dari objek-objek yang digunakan dalam *user interface* dan kemudian dilakukan penulisan kode program untuk menangani kejadian-kejadian (*event*).

Ada beberapa hal yang harus dipahami dalam Visual Basic antara lain :

- Objek, sering disebut *entity* adalah suatu yang bisa dibedakan dengan yang lain. Dalam Visual Basic objek-objek yang dimaksud disebut control. Jenis-

jenis control antara lain : *label*, *text box*, *combo box*, *list box*, dan lain-lain.

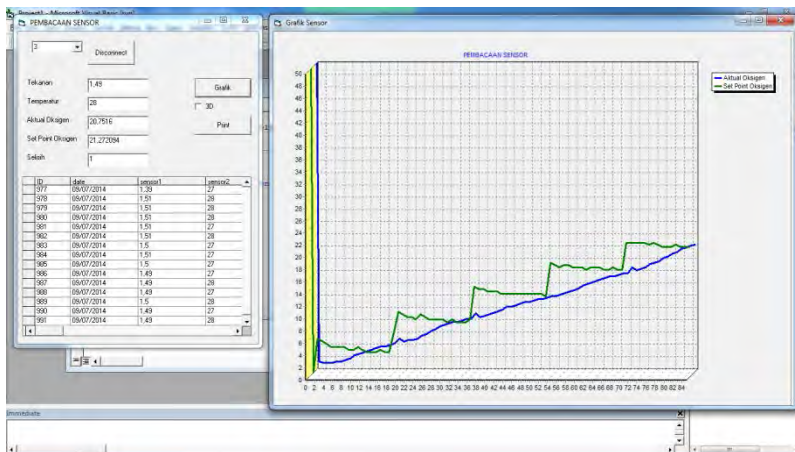
- Properti, sering disebut atribut, adalah ciri-ciri yang menggambarkan suatu objek.
- Event adalah suatu yang menimpa objek.
- Metode, adalah kemampuan yang dimiliki oleh suatu objek.

Display interface saat awal program belum berjalan dapat dilihat pada gambar 4.11.

ID	date	sensor1	sensor2

Gambar 4.11. Tampilan awal display *interface*

Gambar 4.11 merupakan tampilan program awal sistem pengukuran menggunakan visual basic 6.0. Pada tampilan tersebut terdiri dari beberapa fitur yang dapat menampilkan tekanan, temperature, kadar oksigen yang terbaca oleh sensor, kadar oksigen berdasarkan perhitungan dan selisih kadar oksigen. Selain itu ada beberapa tombol seperti connect-disconnect, grafik, pemilihan COM dan print. Tombol connect-disconnect berfungsi untuk menyambung dan memutus komunikasi antara mikrokontroler dengan komputer. Tombol COM digunakan untuk memilih konektor yang digunakan untuk menghubungkan mikrokontroler ke komputer. Tombol grafik digunakan untuk menampilkan grafik hasil pengolahan data yang diperoleh. Tombol print digunakan untuk mencetak data hasil pengukuran. Selain beberapa tombol di atas, terdapat juga tabel yang merekam data-data pengukuran.



Gambar 4.12 Tampilan display saat program berjalan

Gambar 4.12 di atas menunjukkan tampilan saat program dijalankan. Pada text box telah terisi sesuai dengan kondisi pengukuran. Di sisi kanan terlihat tampilan grafik dari hasil pengukuran. Garis hijau pada grafik menunjukkan nilai oksigen

berdasarkan perhitungan sedangkan garis biru pada grafik menunjukkan nilai oksigen dari pembacaan sensor oksigen.

4.3. Pengambilan dan analisa data

4.3.1. Pengambilan data

Pengambilan data kalibrasi sensor oksigen dilakukan dengan beberapa langkah sebagai berikut :

1. Memastikan semua komponen elektrik terhubung dengan baik.
2. Memastikan semua komponen non elektrik siap digunakan termasuk tabung oksigen dan nitrogen.



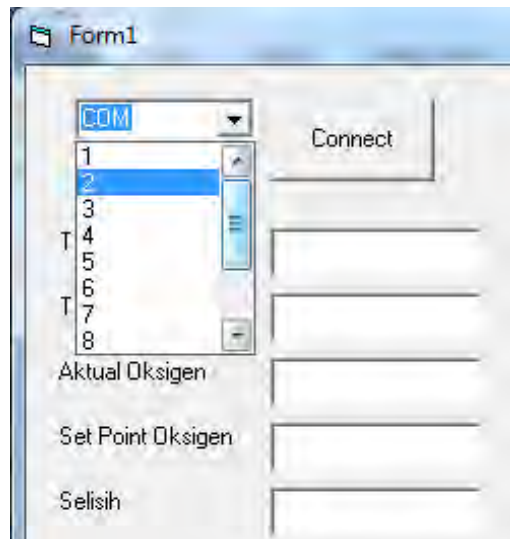
Gambar 4.13. Koneksi komponen elektrik dan non-elektrik

3. Menghubungkan mikrokontroler dengan komputer.



Gambar 4.14. Sambungan kabel mikrokontroler dan komputer

Cara menghubungkan mikrokontroler dilakukan dengan cara memilih COM port yang menghubungkan antara mikrokontroler dengan komputer. Seperti tampak pada gambar 4.14. Kemudian klik tombol connect untuk menghubungkan.

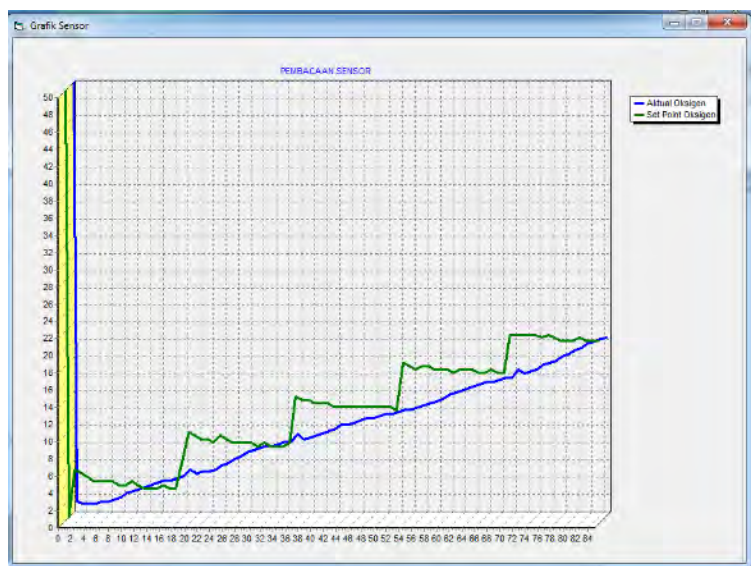


Gambar 4.15. Koneksi mikrokontroler dan komputer.

4. Setelah koneksi terhubung akan muncul grafik dan data hasil pengukuran. Data hasil pengukuran akan direkam seperti nampak pada gambar 4.16. Selain itu juga akan didapatkan grafik hasil pengukuran seperti nampak pada gambar 4.17.

ID	date	sensor 1	sensor 2
977	09/07/2014	1.39	27
978	09/07/2014	1.51	28
979	09/07/2014	1.51	28
980	09/07/2014	1.51	28
981	09/07/2014	1.51	27
982	09/07/2014	1.51	28
983	09/07/2014	1.5	27
984	09/07/2014	1.51	27
985	09/07/2014	1.5	27
986	09/07/2014	1.49	27
987	09/07/2014	1.49	28
988	09/07/2014	1.49	27
989	09/07/2014	1.5	28
990	09/07/2014	1.49	27
991	09/07/2014	1.49	28

Gambar 4.16 Data hasil pengukuran.



Gambar 4.17 Grafik hasil pengukuran.

Gambar 4.17 adalah grafik hasil pengukuran prosentase oksigen dengan tampilan menggunakan Visual Basic 6.0. Grafik hasil pengukuran menunjukkan tren grafik yang berbeda. Grafik berwarna hijau adalah grafik set poin presentase oksigen hasil perhitungan, sementara grafik berwarna biru adalah grafik pembacaan sensor oksigen.

Garis set poin presentase oksigen hasil perhitungan sesuai dengan pengkondisian tekanan dalam tabung kalibrasi. Pertama, grafik naik dari tekanan 1,0 bar menjadi 1,1 bar. Tekanan dalam tabung dikondisikan tetap pada kondisi ini. Selanjutnya, mikrokontroler diberikan delay selama 15 detik sebelum diubah menjadi set poin tekanan berikutnya. Setelah delay 15 detik terpenuhi, mikrokontroler memerintah aktuator (solenoid valve) untuk memasukkan oksigen lagi sampai pada set poin tekanan berikutnya. Langkah ini dilakukan sampai mencapai set poin tekanan 1,5 bar.

Grafik pembacaan sensor oksigen memiliki tren yang selalu meningkat. Berdasarkan datasheet sensor oksigen, sensor oksigen ini memiliki respon time 14 detik. Hal ini terlihat pada grafik bahwa pembacaan sensor oksigen selalu meningkat sebelum respon time tercapai.

4.3.2. Kompensasi Temperature terhadap Persentase Gas O₂

Berdasarkan analisa regresi dan korelasi, temperatur tidak signifikan terhadap perubahan kadar O₂. Akan tetapi perlu kompensasi untuk mengetahui perubahan kadar O₂ yang terjadi akibat perubahan temperatur. Perubahan temperatur dapat dilihat pada tabel 4.1:

Tabel 4.1. Pengaruh temperatur dan tekanan terhadap % oksigen.

Data 1			Data 2			Data 3		
T	P	%O ₂	T	P	%O ₂	T	P	%O ₂
26,8	1,0	0	27,9	1,0	0	27,6	1,0	0
26,8	1,1	5,37	28,0	1,1	5,33	27,7	1,1	5,33
26,8	1,2	10,19	28,0	1,2	10,16	27,8	1,2	10,12
26,9	1,3	14,51	28,0	1,3	14,51	28,0	1,3	14,42
27,0	1,4	18,44	27,9	1,4	18,49	28,1	1,4	18,35
27,3	1,5	21,96	27,8	1,5	22,13	28,2	1,5	21,93

Berdasarkan Tabel 4.1 diketahui perubahan temperatur yang terjadi. Karena pada penelitin ini tekanan yang digunakan hanya sampai 1,5 bar maka maksimal perubahan yang terjadi adalah 0,6° C. Pada analisa kompensasi menggunakan perubahan temperatur sebesar 1° C. Analisa kompensasi perubahan temperatur sebagai berikut :

Dengan menggunakan perumusan gas ideal,

$$P V = n R T$$

n = jumlah mol gas,

R = tetapan umum gas = $8,31 \times 10^3$ J/kmolK (SI) = 8,31 J/molK,

P = tekanan (N/m²),

V = volume (m³), dan

T = temperatur (K).

Contoh perhitungan:

$$P_1 = 1,1 \text{ bar} = 1 \text{ atm} + (1,1 \times 0,986923) = 2,0856513 \text{ N/m}^2$$

$$T_1 = 27,7^\circ\text{C} = 300,85 \text{ K}$$

$$V = 0,03198 \text{ m}^3$$

$$R = \text{tetapan umum gas} = 8,31 \text{ J/molK},$$

$$P_1 V = n \bar{R} T_1$$

$$2,0856513 \text{ N/m}^2 \cdot 0,03198 \text{ m}^3 = n \cdot 8,31 \text{ J/molK} \cdot 300,85 \text{ K}$$

$$n_{\text{total}} = 0,0000266789 \text{ mol}$$

Karena gas dalam tabung kalibrasi merupakan campuran nitrogen dan oksigen maka n adalah jumlah mol campuran.

$$n_{\text{oksigen}} = n_{\text{total}} - n_{\text{nitrogen}}$$

$$n_{\text{oksigen}} = 0,0000266789 \text{ mol} - 0,00002542452 \text{ mol}$$

$$n_{\text{oksigen}} = 0,0000012537 \text{ mol}$$

Jika jumlah mol oksigen dan nitrogen diketahui maka massa nitrogen dan oksigen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan $n = \frac{m}{Mr}$

Dimana : m = massa gas

Mr = massa relatif

Sehingga massa oksigen dan nitrogen dapat dihitung

$$\text{Diketahui: } n_{\text{nitrogen}} = 0,00002542452 \text{ mol}$$

$$Mr = 14$$

$$m = n \cdot Mr$$

$$m = 0,00002542452 \text{ mol} \times 14$$

$$m = 0,0003559432 \text{ gr}$$

$$n_{\text{oksigen}} = 0,0000012537 \text{ mol}$$

$$Mr = 16$$

$$\begin{aligned}
 m &= n \cdot M_r \\
 m &= 0,0000012537 \text{ mol} \cdot 16 \\
 m &= 0,0000200592 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar oksigen} &= \frac{m_{\text{oksigen}}}{m_{\text{oksigen}} + m_{\text{nitrogen}}} \\
 &= \frac{0,0000200592}{0,0000200592 + 0,0003559432} \\
 &= 0,053348 \\
 &= 5,33 \%
 \end{aligned}$$

Jika pada tekanan 1,1 bar terjadi kenaikan 1° C dari 27,7 ° C menjadi 28,7 ° C maka perhitungan kadar oksigen adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_2 &= 1,1 \text{ bar} = 1 \text{ atm} + (1,1 \times 0,986923) = 2,0856513 \text{ N/m}^2 \\
 T_2 &= 28,7^\circ\text{C} = 301,85 \text{ K} \\
 V &= 0,03198 \text{ m}^3 \\
 R &= \text{tetapan umum gas} = 8,31 \text{ J/molK},
 \end{aligned}$$

$$P_2 V = n \bar{R} T_2$$

$$\begin{aligned}
 2,0856513 \text{ N/m}^2 \cdot 0,03198 \text{ m}^3 &= n \cdot 8,31 \text{ J/molK} \cdot 301,85 \text{ K} \\
 n_{\text{total}} &= 0,0000265905 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{oksigen}} &= n_{\text{total}} - n_{\text{nitrogen}} \\
 n_{\text{oksigen}} &= 0,0000265905 \text{ mol} - 0,00002542452 \text{ mol} \\
 n_{\text{oksigen}} &= 0,0000011659 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

Sehingga massa oksigen dan nitrogen dapat dihitung

Diketahui: $n_{\text{nitrogen}} = 0,00002542452 \text{ mol}$

$$Mr = 14$$

$$m = n \cdot Mr$$

$$m = 0,00002542452 \text{ mol} \times 14$$

$$m = 0,0003559432 \text{ gr}$$

Diketahui: $n_{\text{oksigen}} = 0,0000011659 \text{ mol}$

$$Mr = 16$$

$$m = n \cdot Mr$$

$$m = 0,0000011659 \text{ mol} \times 16$$

$$m = 0,0000186544 \text{ gr}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar oksigen} &= \frac{m_{\text{oksigen}}}{m_{\text{oksigen}} + m_{\text{nitrogen}}} \\ &= \frac{0,0000186544}{0,0000186544 + 0,0003559432} \\ &= 0,04979 \\ &= 4,97 \% \end{aligned}$$

Maka kompensasi temperature terhadap persentase gas O_2 sebesar,

$$\begin{aligned} \text{Kompensasi Temperatur} &= \% O_2 \text{ saat } T: 28,7^\circ \text{ C} - \% O_2 \\ &\text{saat } T: 27,7^\circ \text{ C} \\ &= 5,33 - 4,97 \\ &= 0,36 \% O_2 \text{ tiap kenaikan } 1^\circ \text{ C} \end{aligned}$$

4.4 Hasil Pengujian

Setelah rancangan bangun sistem pengukuran yang telah dilakukan, didapatkan hasil selisih antara pembacaan kadar oksigen dari persamaan tekanan dan kadar oksigen dari pembacaan sensor adalah seperti tabel 4.2 di bawah ini :

Tabel 4.2 Tabel hasil uji coba

Tekanan	pembacaan sensor O₂	oksigen Set point	Selisih
1,07	6,386	4,06	-2,33
1,2	8,564	9,84	1,28
1,18	10,74	8,98	-1,76
1,18	11,01	8,98	-2,03
1,29	14,82	13,6	-1,22
1,28	15,36	13,1	-2,26
1,4	16,73	17,9	1,17
1,38	19,18	17,1	-2,08
1,38	19,45	17,1	-2,35
1,49	21,63	21,2	-0,43
1,48	23,53	20,9	-2,63
1,48	24,35	20,9	-3,45
		Rata-rata	-1,51

Selisih pembacaan kadar oksigen dari persamaan tekanan dan kadar oksigen dari pembacaan sensor di atas sebagian besar selisih memberikan nilai negatif karena kadar oksigen dari persamaan tekanan lebih kecil dari pada kadar oksigen dari pembacaan sensor oksigen. Hanya dua set point yang memberikan nilai yang positif yaitu pada saat tekanan 1,2 bar dan 1,4.

Hasil pengujian pada tabel 4.2 di atas, kolom pembacaan kadar oksigen set point merupakan hasil dari perhitungan

menggunakan persamaan gas ideal. Pembacaan ini telah dilakukan kalibrasi dengan menggunakan alat uji emisi di Dinas Perhubungan kota Surabaya. Akan tetapi, setiap pengukuran tidak bisa menunjukkan hasil yang sebenarnya. Pasti ada selisih pembacaan dengan nilai yang sebenarnya. Hal ini dikarenakan adanya ketidakpastian pengukuran. Ketidak pastian pengukuran ini disebabkan karena resolusi alat ukur, faktor lingkungan dan faktor manusia sebagai pelaku pengukuran.

Analisa ketidakpastian pengukuran membutuhkan analisa yang banyak, oleh karena itu pada penelitain ini tidak dilakukan analisa ketidakpastian pengukuran. Sehingga analisa ketidakpastian pengukuran menjadi batasan masalah pada penelitian ini.

Dari hasil pengujian kalibrasi didapatkan selisih terbesar terjadi pada tekanan 1,48 bar dengan selisih pembacaan kadar oksigen antara alat kalibrasi dengan sensor oksigen sebesar 3,45 %. Sedangkan selisih terkecilnya terjadi pada tekanan 1,49 bar dengan selisih pembacaannya sebesar 0,43 %.

Halaman sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dalam penelitian ini adalah telah dilakukan perancangan dan pembuatan sistem pengukuran pada alat kalibrasi sensor oksigen adalah sebagai berikut :

1. Sistem pengukuran pada alat kalibrasi sensor gas O₂ telah dilakukan dengan menggunakan visual basic 6.0 dan program arduino uno. Pada tampilan visual basic didapatkan tampilan program dengan beberapa fitur yang dapat menampilkan tekanan, temperature, kadar oksigen yang terbaca oleh sensor, kadar oksigen berdasarkan perhitungan dan selisih kadar oksigen. Data hasil pengukuran dapat disimpan sehingga memudahkan untuk proses pencetakan. Selain itu sistem pengukuran ini juga dilengkapi dengan grafik yang menggambarkan pembacaan oksigen dan kadar oksigen perhitungan.
2. Dari hasil pengujian kalibrasi didapatkan selisih terbesar terjadi pada tekanan 1,48 bar dengan selisih pembacaan kadar oksigen antara alat kalibrasi dengan sensor oksigen sebesar 3,45 %. Sedangkan selisih terkecilnya terjadi pada tekanan 1,49 bar dengan selisih pembacaannya sebesar 0,43 %.

5.2 Saran

Saran dari penelitian ini untuk pengembangan alat selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang baik usahakan alat kalibrasi terhindar dari temperatur sekitar yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran.
2. Dari grafik kalibrasi yang didapat pembacaan kadar oksigen berdasarkan perumusan tekanan mengalami penurunan. Hal tersebut disebabkan karena adanya kebocoran saat pengambilan data. Jadi untuk pengambilan data usahakan tidak ada kebocoran.
3. Dalam penelitian ini belum dilakukan analisa ketidakpastian pengukuran. Untuk mendapatkan sistem pengukuran yang baik maka analisa ketidakpastian pengukuran harus dilakukan.

LAMPIRAN

PETUNJUK PENGGUNAAN ALAT KALIBRASI SENSOR OKSIGEN

A. PERSIAPAN INSTALASI PERALATAN

1. Menyiapkan peralatan kalibrasi. Peralatan yang dibutuhkan adalah tabung kalibrasi, tabung oksigen, tabung nitrogen, rangkaian pengendali, komputer, dan sumber tegangan.



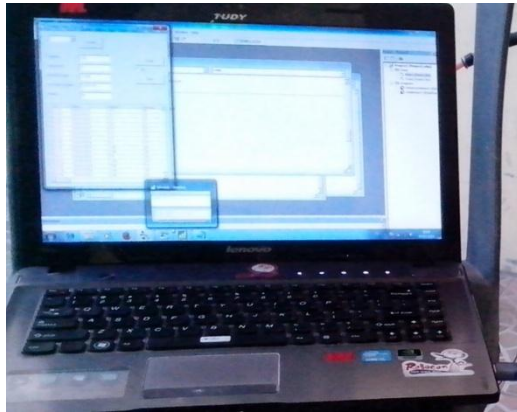
Gambar 1. Tabung kalibrasi yang telah terpasang *pressure gauge*, *pressure transmitter*, *three-way valve*, sensor oksigen, termokopel, dan katup pembuangan.



Gambar 2. Tabung oksigen dan nitrogen



Gambar 4. Rangkaian pengendali

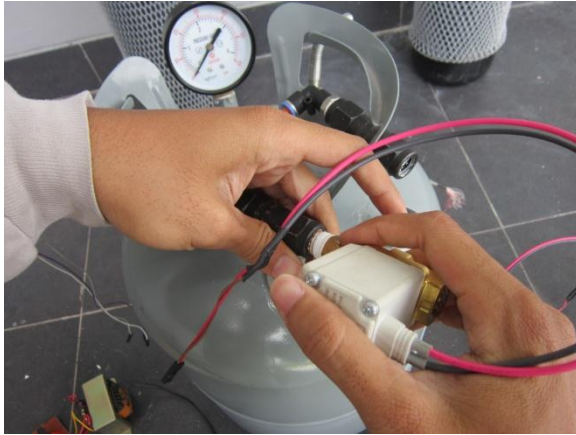


Gambar 6.5. Komputer

2. Setelah semua peralatan siap, langkah selanjutnya adalah memasang *one-way vale*, *solenoid valve*, dan pipa pada tabung kalibrasi.



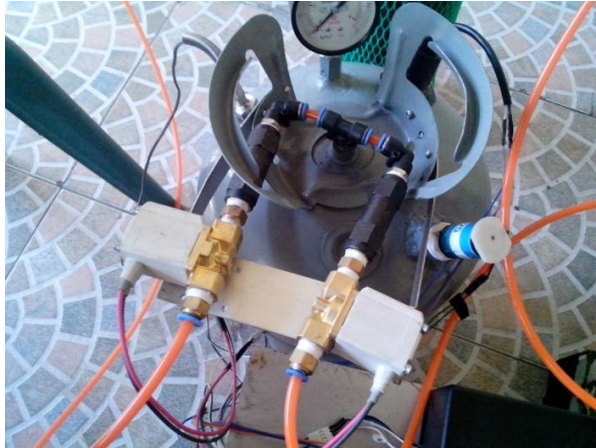
Gambar 6.6 Proses penyambungan *three-way valve* dengan *one-way valve*.



Gambar 6.7. Proses pemasangan *solenoid valve*.



Gambar 6.8 Pemasangan pipa pada tabung kalibrasi.



Gambar 9. Tabung kalibrasi yang telah terpasang komponen.

3. Menyambungkan rangkaian pengendali ke USB port komputer.



Gambar 10. Rangkaian pengendali terhubung pada komputer.



Gambar 11. Instalasi peralatan siap digunakan

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam persiapan instalasi peralatan adalah sebagai berikut:

- Pastikan semua komponen terhubung dengan baik.
- Pastikan tidak ada kebocoran pada setiap sambungan dan pada tabung kalibrasi.
- Gunakan sumber tegangan 12 volt DC untuk penguat sensor oksigen dan sumber tegangan 220 volt AC untuk driver sebagai penggerak aktuator.
- Pastikan komputer telah terinstall software Visual Basic 6.0.

B. PENGGUNAAN ALAT KALIBRASI

1. Atur bukaan valve pada regulator tabung oksigen dan nitrogen.



Gambar 12. Pengaturan bukaan valve.

2. Lakukan pembilasan sebanyak tiga kali. Masukkan nitrogen ke dalam tabung kalibrasi sampai tekanan 1 bar, kemudian nitrogen yang berada di dalam tabung dikeluarkan melalui katup pembuangan.



Gambar 1.3 Katup pembuangan

3. Buka software Visoal Basic 6.0 pada komputer.
Selanjutnya pilih COM 3, lalu klik tombol Connect.

ID	date	sensor1	sensor2

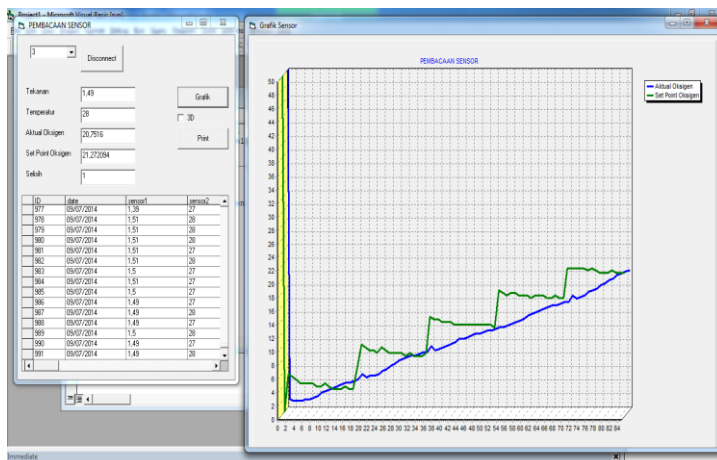
Gambar 13. Tampilan Visual Basic 6.0

4. Nyalakan rangkaian pengendali dengan menekan tombol on/off.



Gambar 14. Tombol on/off pada rangkaian pengendali.

5. Setelah itu, alat kalibrasi akan berjalan secara otomatis. Selama pengambilan data berlangsung, tampilan di komputer akan menunjukkan seperti pada gambar 15.



Gambar 15. Tampilan sistem pengukuran.

6. Setelah alat berhenti maka untuk menampilkan data hasil kalibrasi adalah dengan klik tombol Print pada tampilan sistem pengukuran.

ID	date	Tekanan	Suhu	Sensor O2	Set Oksigen	Selisih
1570	00/01/1900	1,07	28	6,386	4,06	-2,3
1571	00/01/1900	1,2	27	8,564	9,84	1,27
1572	00/01/1900	1,18	28	10,74	8,98	-1,7
1573	00/01/1900	1,18	28	11,01	8,98	-2,0
1574	00/01/1900	1,29	28	14,82	13,6	-1,2
1575	00/01/1900	1,28	28	15,36	13,1	-2,2
1576	00/01/1900	1,4	27	16,73	17,9	1,17
1577	00/01/1900	1,38	28	19,18	17,1	-2,0
1578	00/01/1900	1,38	27	19,45	17,1	-2,3
1579	00/01/1900	1,49	28	21,63	21,2	-0,4
1580	00/01/1900	1,48	27	23,53	20,9	-2,6
1581	00/01/1900	1,48	28	24,35	20,9	-3,4

Gambar 16. Data yang siap dicetak

BIODATA PENULIS



Zaini Latif dilahirkan di Karanganyar, 06 Januari 1991. Anak kedua dari Sahlan dan Sri Harsi. Penulis menyelesaikan masa studi Sekolah Dasar di SD N 1 Gebyog pada tahun 2003, dilanjutkan ke SMP N 1 Karanganyar lulus pada tahun 2006 dan SMA N 1 Karanganyar lulus pada tahun 2009.

Selepas SMA penulis melanjutkan studi di S1 Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan kemudian mengambil bidang studi manufaktur. Selama kuliah penulis aktif di Tim Robotika ITS. Di robotika ITS penulis memperoleh prestasi sebagai juara 1 Kontes Robot Indonesia pada tahun 2012 dan juara 2 Kontes Robot Indonesia pada tahun 2013 dan pada tahun 2012 mewakili Indonesia dalam ajang kontes robot se-Asia Pasifik di Hong Kong.

Untuk semua masukan informasi dan masukan dapat menghubungi penulis melalui email latifzaini91@gmail.com.

Halaman sengaja dikosongkan