



**TUGAS AKHIR - TF 145565**

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN *PRESSURE*  
PADA TABUNG PENYIMPANAN DARI HASIL PENCAMPURAN  
GAS HIDROGEN DENGAN GAS SEBAGAI SUMBER ENERGI  
GENSET**

**RIZKY KURNIASARI KUSUMA PRATIWI**

**NRP. 2413 031 058**

**Dosen Pembimbing**

**Ir. Heri Joestiono, M.T.**

**NIP. 19531116 198003 1 001**

**PROGRAM STUDI D3 METROLOGI DAN INSTRUMENTASI**

**JURUSAN TEKNIK FISIKA**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA 2016**



**FINAL PROJECT - TF 145565**

***PROTOTYPE OF THE PRESSURE CONTROL SYSTEM IN  
STORAGE TUBE FROM THE MIXING HYDROGEN GAS WITH  
GAS AS FUEL OF ENERGY GENERATOR***

**RIZKY KURNIASARI KUSUMA PRATIWI**

**NRP. 2413 031 058**

***Lecturer***

**Ir. Heri Joestiono, M.T.**

**NIP. 19531116 198003 1 001**

***STUDY PROGRAM D3 METROLOGI DAN INSTRUMENTASI  
DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2016***

**LEMBAR PENGESAHAN I**

**“RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN *PRESSURE*  
PADA TABUNG PENYIMPANAN DARI HASIL  
PENCAMPURAN GAS HIDROGEN DENGAN GAS  
SEBAGAI SUMBER ENERGI GENSET”**

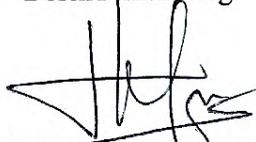
**TUGAS AKHIR**

Oleh :

**RIZKY KURNIASARI KUSUMA PRATIWI**  
**NRP. 2413 031 058**

**Surabaya, 29 Juli 2016**  
**Menyetujui,**

Dosen Pembimbing



**Ir. Heri Joestiono, M.T.**  
**NIP. 19531116 198003 1 001**

Ketua Jurusan  
Teknik Fisika FT-ITS



**Agus Muhammad Hatta, ST, MSi, Ph.D**  
**NIP. 19780902 2003 1 2 002**

Ketua Program Studi  
D3 Metrologi dan Instrumentasi



**Dr. Ir. Purwadi Agus D., M.Sc.**  
**NIP. 19620822 198803 1 001**

## LEMBAR PENGESAHAN II

### **“RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN *PRESSURE* PADA TABUNG PENYIMPANAN DARI HASIL PENCAMPURAN GAS HIDROGEN DENGAN GAS SEBAGAI SUMBER ENERGI GENSET”**

#### **TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Ahli Madya  
Pada  
Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi  
Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**RIZKY KURNIASARI KUSUMA PRATIWI**

NRP. 2413 031 058

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Heri Joestiono, M.T. .... (Dosen Pembimbing)
2. Hendra Cordova, S.T., M.T. .... (Ketua Tim Penguji)
3. Ir. Ya'umar, M.T. .... (Dosen Penguji I)
4. Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc. .... (Dosen Penguji II)
5. Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc. .... (Dosen Penguji III)
6. Ir. Tutug Dhanardono, M.T. .... (Dosen Penguji IV)
7. Murry Raditya, S.T., M.T. .... (Dosen Penguji V)

**SURABAYA  
29 JULI 2016**

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN  
PRESSURE PADA TABUNG PENYIMPANAN DARI  
HASIL PENCAMPURAN GAS HIDROGEN DENGAN GAS  
SEBAGAI SUMBER ENERGI GENSET**

**Nama** : Rizky Kurniasari Kusuma Pratiwi  
**NRP** : 2413 031 058  
**Program Studi** : D3 Metrologi dan Instrumentasi  
**Jurusan** : Teknik Fisika, FTI-ITS Surabaya  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Heri Joestiono, M.T.

**ABSTRAK**

Sistem pengendalian *pressure* pada tabung penyimpanan dari hasil pencampuran gas hidrogen dengan gas merupakan sistem yang digunakan untuk mengendalikan tekanan pada tabung penyimpanan agar proses stabil dengan menggunakan dua buah jenis sensor tekanan MPX5700AP, empat buah aktuator berupa *solenoid valve* serta *controller*-nya menggunakan *microcontroller* ATmega8535. Pada tugas akhir ini menggunakan prinsip kerja *redundant*, yaitu apabila gas yang masuk melalui tabung penyimpanan maka sensor MPX5700AP akan mengirimkan sinyal ke *microcontroller* ATmega8535 hingga mencapai *set point* sebesar 15 Psi. Jika data yang masuk ke *microcontroller* ATmega8535 kurang dari batas *set point minimum* sebesar 10 Psi, maka dari *microcontroller* ATmega8535 akan memerintahkan *solenoid valve* 1 untuk menyala (*on*) sampai mencapai menuju *set point* 15 Psi yang kemudian *solenoid valve* 1 mati (*off*) dan akan mengaktifkan *solenoid valve* 2 untuk bekerja membuang gas pada genset. Saat proses pembuangan gas, pada tabung penyimpanan 2 akan mengaktifkan *solenoid valve* 3 untuk menerima gas yang masuk sampai mencapai *set point* 15 Psi dan kemudian *solenoid valve* 3 mati (*off*) dan akan mengaktifkan *solenoid valve* 4 untuk bekerja membuang gas pada genset. Respon kontrol sistem ini membutuhkan waktu untuk mencapai *set point* sebesar 42.6 detik.

**Kata Kunci** : Pengendalian, Tekanan, MPX5700AP, *Solenoid valve*, ATmega8535, *Set point*

***PROTOTYPE OF THE PRESSURE CONTROL SYSTEM IN STORAGE TUBE FROM THE MIXING HYDROGEN GAS WITH GAS AS FUEL OF ENERGY GENERATOR***

**Name** : Rizky Kurniasari Kusuma Pratiwi  
**NRP** : 2413 031 058  
**Study Program** : D3 Metrologi dan Instrumentasi  
**Department** : *Engineering Physics*, ITS Surabaya  
**Supervisor** : Ir. Heri Joestiono, M.T.

***ABSTRACT***

*Pressure control system on the storage tube of the results of mixing hydrogen gas with gas is a system used to control the pressure in the storage tube so that a stable process by using two types of pressure sensors MPX5700AP, four actuators such as solenoid valve and using a microcontroller ATmega8535. In this final project work using the principle of redundant, that is when gas entering through the storage tube MPX5700AP sensor will send a signal to the microcontroller ATmega8535 to reach set point at 15 Psi. If the incoming data to the microcontroller ATmega8535 less than the limit set point minimum of 10 Psi, then of microcontroller ATmega8535 will command solenoid valve 1 to turn (on) until it reaches to the set point 15 Psi then solenoid valve 1 off (off) and will enable solenoid valve 2 for working exhausted of gas in the generator. When the exhaust gas, the storage tubes 2 will activate the solenoid valve 3 for receiving the incoming gas to reach set point 15 Psi then solenoid valve 3 off (off) and will activate the solenoid valve 4 to work throwing gas in the generator. control the response of system takes time to reach the set point of 42.6 seconds.*

**Keywords :** Control, Pressure, MPX5700AP, Solenoid valve, ATmega8535, Set point

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>TITLE OF PAGE</b> .....	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN I</b> .....	iii
<b>LEMBAR PENGESAHAN II</b> .....	iv
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan .....	3
1.5 Sistematika Laporan.....	4
<b>BAB II DASAR TEORI</b>	
2.1 Hidrogen.....	5
2.2 Sistem Proses Pengendalian .....	9
2.3 Sensor MPX5700AP .....	12
2.4 <i>Solenoid Valve</i> .....	14
2.5 Relay .....	14
2.6 Mikrokontroler ATmega8535 .....	15
2.7 <i>Pressure Gauge</i> .....	18
2.8 LCD.....	19
2.9 Karakteristik Alat Ukur.....	22
<b>BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT</b>	
3.1 <i>Flowchart</i> Perancangan Alat.....	29
3.2 Metodologi Penelitian .....	30
3.3 Perancangan Sistem Pengendalian <i>Pressure</i> .....	33
3.4 Perancangan <i>Hardware</i> .....	35
3.5 Perancangan Perangkat Lunak ( <i>Software</i> ) .....	39
<b>BAB IV PENGUJIAN ALAT DAN ANALISIS DATA</b>	
4.1 Pengujian Sensor MPX5700AP .....	41

4.2 Pengujian Respon Tekanan Terhadap Waktu .....	58
4.3 Pengujian Aktuator.....	60
4.4 Respon Kontrol sistem Tekanan .....	62
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan .....	65
5.2 Saran.....	66
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>BIOGRAFI PENULIS</b>	

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Fungsi dan konfigurasi pin – pin LCD 16x2 .....	20
<b>Tabel 4.1</b> Pembacaan Tegangan Sensor MPX5700AP.....	41
<b>Tabel 4.2</b> Pembacaan Naik dan Turun Sensor I.....	43
<b>Tabel 4.3</b> Data Kalibrasi Sensor I.....	46
<b>Tabel 4.4</b> Pembacaan Naik dan Turun Sensor II .....	51
<b>Tabel 4.5</b> Data Kalibrasi Sensor II .....	54

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Sistem Pengendalian <i>Close Loop</i> .....	10
<b>Gambar 2.2</b>	Diagram Blok Sistem Pengendalian .....	12
<b>Gambar 2.3</b>	Macam Sensor MPX5700 .....	13
<b>Gambar 2.4</b>	Grafik Perbandingan VOutput dengan Kpa .....	13
<b>Gambar 2.5</b>	<i>Solenoid Valve</i> .....	14
<b>Gambar 2.6</b>	Simbol Relay.....	15
<b>Gambar 2.7</b>	Konfigurasi Pin IC ATmega8535 .....	18
<b>Gambar 2.8</b>	<i>Pressure Gauge</i> .....	19
<b>Gambar 2.9</b>	Antarmuka LCD 16x2.....	20
<b>Gambar 2.10</b>	Karakteristik Output Instrumen Linier.....	23
<b>Gambar 3.1</b>	<i>Flowchart</i> Proses Pengerjaan Tugas Akhir.....	21
<b>Gambar 3.2</b>	PFD Sistem Pengendalian <i>Pressure</i> .....	30
<b>Gambar 3.3</b>	P&ID Sistem Pengendalian <i>Pressure</i> .....	31
<b>Gambar 3.4</b>	Perancangan Sistem Pengendalian <i>Pressure</i> .....	33
<b>Gambar 3.5</b>	Diagram Blok Pengendalian <i>Pressure</i> .....	34
<b>Gambar 3.6</b>	Rangkaian <i>Power Supply</i> 5 volt .....	35
<b>Gambar 3.7</b>	Rangkaian <i>Power Supply</i> 12 volt .....	35
<b>Gambar 3.8</b>	Sensor MPX5700AP .....	36
<b>Gambar 3.9</b>	Modul Relay 16 <i>Channel</i> .....	37
<b>Gambar 3.10</b>	Rangkaian LCD .....	38
<b>Gambar 3.11</b>	<i>Flowchart</i> Program .....	39
<b>Gambar 4.1</b>	Pembacaan Vout Sensor I.....	42
<b>Gambar 4.2</b>	Pembacaan Naik dan Turun Sensor I.....	43
<b>Gambar 4.3</b>	Pembacaan Data Sensor I.....	44
<b>Gambar 4.4</b>	Pembacaan Vout Sensor II.....	50
<b>Gambar 4.5</b>	Pembacaan Naik dan Turun Sensor II.....	51
<b>Gambar 4.6</b>	Pembacaan Data Sensor II .....	52
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik Respon Tekanan Terhadap Waktu I .....	58
<b>Gambar 4.8</b>	Grafik Respon Tekanan Terhadap Waktu II .....	59
<b>Gambar 4.9</b>	Respon <i>Solenoid Valve</i> 1 Terhadap Tekanan.....	60
<b>Gambar 4.10</b>	Respon <i>Solenoid Valve</i> 2 Terhadap Tekanan.....	61
<b>Gambar 4.11</b>	Respon <i>Solenoid Valve</i> 3 Terhadap Tekanan.....	61
<b>Gambar 4.12</b>	Respon <i>Solenoid Valve</i> 4 Terhadap Tekanan.....	62
<b>Gambar 4.13</b>	Respon Kontrol Tekanan Terhadap Waktu.....	63

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Penggunaan energi semakin meningkat, baik penggunaan energi langsung maupun mengkonversi energi ke dalam bentuk energi lainnya. Lonjakan harga bahan fosil mempengaruhi aktivitas pada berbagai bidang di berbagai belahan dunia, termasuk persoalan pembangkitan tenaga listrik di Indonesia. Hal ini dikarenakan sebagian besar *supply* energi listrik berasal dari bahan bakar minyak dan batubara. Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil ini tentu saja mempunyai dampak negatif. Hal ini menimbulkan kesadaran untuk mengembangkan pembangkit listrik yang bersumber dari energi terbarukan. Energi listrik memiliki peranan penting dalam usaha untuk meningkatkan mutu kehidupan dan pertumbuhan ekonomi di Indonesia. Proyeksi kebutuhan energi listrik tahun 2003 – 2020 yang dilakukan Dinas Perencanaan Sistem PT PLN (Persero) dan Tim Energi BPPT terjadi kenaikan kebutuhan energi listrik sebesar 6,50 % per tahun.<sup>[1]</sup> Namun di sisi lain, keterbatasan penyediaan energi listrik masih saja menjadi salah satu hambatan dalam pembangunan dan pengembangan masyarakat khususnya di daerah pedesaan. Padahal sumber energi terbarukan di daerah pedesaan memiliki potensi dalam jumlah besar, termasuk air yang bias dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik, yaitu dengan cara memanfaatkan proses elektrolisis untuk menghasilkan gas hidrogen. Hidrogen merupakan gas yang mudah terbakar dan meledak, sehingga hidrogen sangat baik untuk membantu pergerakan piston pada mesin dan bahan bakar yang dibutuhkan pun akan semakin berkurang. Hidrogen dapat dihasilkan proses elektrolisis air. Proses elektrolisis merupakan proses pemecahan air murni ( $H_2O$ ) menjadi hidrogen dan oksigen. Hidrogen dan oksigen hasil pemurnian sistem elektrolisis ini dikenal dengan nama *Brown's Gas*.<sup>[2]</sup> Mengingat bahwa gas hidrogen merupakan gas dengan daya ledak tertinggi dan bahan bakar tanpa polutan, maka salah satu upaya untuk mengurangi dampak dari bahan bakar yang

masih menghasilkan polutan yang berdampak pada pemanasan global seperti biogas (kotoran sapi) dan gas-gas lainnya, yaitu dengan mencampurkan gas hidrogen dan gas lainnya.

Dengan melihat kondisi tersebut, diperoleh ide untuk menggabungkan bahan bakar gas hidrogen dengan bahan bakar gas lainnya agar terwujud suatu energi baru yang dapat digunakan untuk menekan efek polutan dan efisiensi pembangkit seperti generator listrik. Dalam sebuah proses pembangkit listrik yang baik, tentu sistem penyimpanan bahan bakar terutama dalam bentuk gas harus memiliki sistem yang baik. Hasil pencampuran gas tersebut dapat disimpan pada tabung yang dapat dimanfaatkan dalam kebutuhan *supply* bahan bakar generator listrik. Dimana pada tabung penyimpanan tersebut harus dijaga tekanannya agar dapat menyimpan gas sesuai dengan kebutuhan yang ada atau sesuai dengan yang diinginkan. Pada kondisi tersebut, maka diperlukan sistem pengendalian, seperti sistem pengendalian tekanan karena *flowrate* gas yang cepat ketika sudah terbuang serta supaya gas hasil pencampuran yang digunakan untuk generator listrik dapat mencapai kondisi ideal. Agar proses berjalan terus menerus tanpa berhenti diperlukan dua buah tabung penyimpanan gas dari hasil pencampuran gas hidrogen dan gas guna mengantisipasi adanya kegagalan pada proses pengisian atau tekanan yang berlebih dengan memiliki dua buah tabung penyimpanan, yaitu jika pada tabung penyimpanan 1 dalam keadaan aktif atau on maka tabung penyimpanan 2 dalam kondisi *off* begitupun sebaliknya hingga produk gas hasil pencampuran gas hidrogen dan gas terisi sesuai dengan tekanan yang diberikan. Tabung penyimpanan ini bisa disebut dengan *redundant*.

Sistem pengendalian tekanan pada pengisian gas tabung penyimpanan membutuhkan rangkaian elektronika (*hardware*), pemrograman mikrokontroler (*software*) serta pengujian terhadap rangkaian pengendali tersebut. Dengan deskripsi input *supply* gas proses hasil pencampuran gas hidrogen dan gas masuk dengan tekanan sekitar 14,5 Psi (standar gas) menuju ke tabung penyimpanan 1. Di dalam tabung penyimpanan menggunakan sistem pengendalian *pressure*, yaitu tekanan yang masuk akan

dideteksi oleh sensor tekanan MPX5700AP apabila tekanan sudah mencapai *set point* misal 15 Psi (bisa dilihat pada *pressure gauge* / LCD) maka aktuator *seleoid valve* akan membuka dengan menggunakan kontrol *microcontroller* ATmega8535 sehingga pada tabung penyimpanan 1 akan membuang gas tersebut ke genset. Pada saat keadaan tersebut, tabung penyimpanan 2 akan melakukan aksi yang sama dengan tabung penyimpanan 1. Oleh karena itu, mahasiswa diharapkan dapat membuat Tugas Akhir dengan judul Rancang Bangun Sistem Pengendalian *Pressure* Pada Tabung Penyimpanan dari Hasil Pencampuran Gas Hidrogen Dengan Gas Sebagai Sumber Energi Genset.

## 1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan diatas, maka rumusan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah :

- a. Bagaimana cara membuat tabung penyimpanan hasil pencampuran gas hidrogen dan gas agar gas tersebut dapat dimanfaatkan untuk sumber energi genset?
- b. Bagaimana cara membuat rancang bangun sistem pengendalian *pressure* otomatis dengan cara *redundant* pada tabung penyimpanan dari hasil pencampuran gas hidrogen dan gas menggunakan *microcontroller* agar proses dapat berjalan secara terus menerus?
- c. Bagaimana hasil dari kalibrasi sensor pada rancang bangun sistem pengendalian *pressure* pada tabung penyimpanan dari hasil pencampuran gas hidrogen dan gas?
- d. Bagaimana respon sistem pengendalian dari rancang bangun sistem pengendalian *pressure* pada tabung penyimpanan dari hasil pencampuran gas hidrogen dan gas terhadap waktu?

## 1.3 Batasan Masalah

Perlu diberikan beberapa batasan permasalahan agar pembahasan tidak meluas dan menyimpang tujuan. Adapun batasan permasalahan sistem yang dirancang ini adalah:

- a. Membahas tentang cara membuat tabung penyimpanan hasil pencampuran gas hidrogen dan gas agar gas tersebut dapat dimanfaatkan untuk sumber energi genset.
- b. Membuat rancang bangun sistem pengendalian *pressure* dengan cara *redundant* pada tabung penyimpanan dari hasil pencampuran gas hidrogen dan gas dengan menggunakan *microcontroller* ATmega8535 agar proses dapat berjalan secara terus menerus.
- c. Menggunakan sensor *pressure*, yaitu MPX5700AP untuk mendeteksi tekanan yang masuk dan apabila tekanan sudah mencapai *set point*.
- d. Output yang dihasilkan dapat diaplikasikan menjadi sumber energi genset namun asumsi gas yang dipakai masih dalam bentuk *compressor*.

#### 1.4 Tujuan

Tujuan rancang bangun alat ini adalah untuk memenuhi mata kuliah tugas akhir sebagai salah satu syarat kelulusan program studi D3 Metrologi dan Instrumentasi, serta untuk memberikan solusi pada rumusan masalah, yaitu :

- a. Memahami dan mengerti cara membuat tabung penyimpanan hasil pencampuran gas hidrogen dan gas agar gas tersebut dapat dimanfaatkan untuk sumber energi genset.
- b. Memahami dan mengerti cara untuk membuat rancang bangun sistem pengendalian *pressure* otomatis dengan cara *redundant* pada tabung penyimpanan dari hasil pencampuran gas hidrogen dan gas menggunakan *microcontroller* agar proses dapat berjalan secara terus menerus.
- c. Mengetahui cara kalibrasi sensor, dari hasil kalibrasi dapat diketahui bahwa sensor tersebut masih layak digunakan atau tidak.
- d. Mengetahui respon sistem pengendalian dari rancang bangun sistem pengendalian *pressure* terhadap waktu.

## **1.5 Sistematika Laporan**

Sistematika laporan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Bab ini membahas mengenai latar belakang, permasalahan, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika penulisan pada Tugas Akhir ini.

### **BAB II : DASAR TEORI**

Bab ini membahas mengenai teori-teori penunjang yang diperlukan dalam merealisasikan tugas akhir yaitu berupa teori tentang elektrolisis air, *microcontroller* ATmega8535, *actuator solenoid valve*, dan sensor tekanan MPX5700AP .

### **BAB III : PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT**

Pada bab ini diuraikan tentang perancangan sistem otomatisasi pengendalian *pressure*, diagram blok, cara kerja alat, perangkat keras serta perangkat lunak yang dilengkapi dengan diagram alir.

### **BAB IV : PENGUJIAN ALAT DAN ANALISIS DATA**

Bab ini menguraikan hasil dan analisis data dari realisasi alat yang telah dibuat.

### **BAB V : PENUTUP**

Bab ini berisi kesimpulan dari analisis yang telah dilakukan dan saran untuk pengembangan lebih lanjut.

**(Halaman Ini Memang Dikosongkan)**

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Hidrogen**

Gas hidrogen merupakan gas paling ringan, sangat mudah terbakar dan dapat menghasilkan sejumlah energi. Gas hydrogen dapat dibuat dengan cara elektrolisis air. Elektrolisis air sebagai sumber hidrogen telah lama dipelajari, hanya secara spesifik untuk mencapai efisiensi yang relatif tinggi perlu dikembangkan dan diteliti lebih lanjut, yakni dengan bervariasi jenis elektrolit, konsentrasi elektrolit, jenis elektroda dan modifikasinya, serta pemanfaatan katalis yang memungkinkan tercapainya efisiensi yang relatif tinggi. Proses elektrolisis telah lama dilakukan, tetapi biaya yang dikeluarkan untuk menghasilkan gas hidrogen belum mencapai nilai kompetitif dengan penggunaan bahan bakar minyak.<sup>[3]</sup>

*Fuel cell* adalah alat konversi energi elektrokimia yang akan mengubah hidrogen dan oksigen menjadi air, secara bersamaan menghasilkan energi listrik dan panas dalam prosesnya. *Fuel cell* merupakan suatu bentuk teknologi sederhana seperti baterai yang dapat diisi bahan bakar untuk mendapatkan energinya kembali, dalam hal ini yang menjadi bahan bakar adalah oksigen dan hidrogen.

Layaknya sebuah baterai, segala jenis *fuel cell* memiliki elektroda positif dan negatif atau disebut juga katoda dan anoda. Reaksi kimia yang menghasilkan listrik terjadi pada elektroda. Selain elektroda, satu unit *fuel cell* terdapat elektrolit yang akan membawa muatan-muatan listrik dari satu elektroda ke elektroda lain, serta katalis yang akan mempercepat reaksi di elektroda. Umumnya yang membedakan jenis-jenis *fuel cell* adalah material elektrolit yang digunakan. Arus listrik serta panas yang dihasilkan setiap jenis *fuel cell* merupakan produk samping reaksi kimia yang terjadi di katoda dan anoda.

Karena energi yang diproduksi *fuel cell* merupakan reaksi kimia pembentukan air, alat konversi energi elektrokimia ini tidak menghasilkan efek samping yang berbahaya bagi lingkungan

seperti alat konversi energi konvensional (misalnya proses pembakaran pada mesin mobil). Sedangkan dari segi efisiensi energi, penerapan *fuel cell* pada baterai portable seperti pada *handphone* atau laptop akan sepuluh kali tahan lebih lama dibandingkan dengan baterai litium. Dan untuk mengisi kembali energi akan lebih cepat karena energi yang digunakan bukan listrik, tetapi bahan bakar berbentuk cair atau gas.

Cara kerjanya adalah Pertama, anoda sebagai kutub negatif *fuel cell*. Anoda merupakan elektroda yang akan mengalirkan elektron yang lepas dari molekul hidrogen sehingga elektron tersebut dapat digunakan di luar sirkuit. Pada materialnya terdapat saluran-saluran agar gas hidrogen dapat menyebar ke seluruh permukaan katalis.

Kedua, katoda sebagai kutub elektroda positif *fuel cell* yang juga memiliki saluran yang akan menyebarkan oksigen ke seluruh permukaan katalis. Katoda juga berperan dalam mengalirkan elektron dari luar sirkuit ke dalam sirkuit sehingga elektron-elektron tersebut dapat bergabung dengan ion hidrogen dan oksigen untuk membentuk air.

Pada ilustrasi cara kerja, diperlihatkan gas hidrogen yang memiliki tekanan tertentu memasuki *fuel cell* di kutub anoda. Gas hidrogen ini akan bereaksi dengan katalis dengan dorongan dari tekanan. Ketika molekul  $H_2$  kontak dengan elektroda pada katalis, molekul akan terpisah menjadi dua ion  $H^+$  dan dua elektron ( $e^-$ ). Elektron akan mengalir melalui anoda, elektron-elektron ini akan membuat jalur di luar sirkuit *fuel cell* dan melakukan kerja listrik, kemudian mengalir kembali ke kutub katoda pada *fuel cell*.

Di sisi lain, pada kutub katoda *fuel cell*, gas oksigen ( $O_2$ ) didorong dengan gaya tekan kemudian bereaksi dengan katalis membentuk dua atom oksigen. Setiap atom oksigen ini memiliki muatan negatif yang sangat besar. Muatan negatif ini akan menarik dua ion  $H^+$ , lalu ion-ion ini bergabung dengan satu atom oksigen dan elektron-elektron dari luar sirkuit untuk membentuk molekul air ( $H_2O$ ).

Kebutuhan bahan bakar *fuel cell* juga bergantung pada jenis elektrolit tersebut, beberapa membutuhkan gas hidrogen murni.

Sehingga dibutuhkan suatu alat yang disebut reformer untuk memurnikan bahan bakar hidrogen. Sedangkan pada elektrolit yang tidak membutuhkan gas hidrogen murni, dapat bekerja efisien pada temperatur tinggi. Dan pada beberapa elektrolit cair, membutuhkan tekanan tertentu untuk mendorong gas hidrogen.

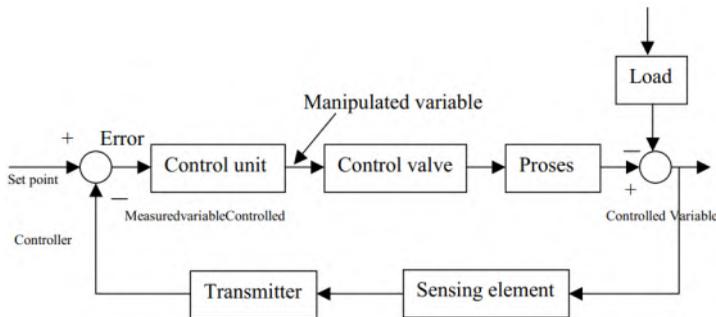
Bahan bakar yang biasanya menggunakan gas hidrogen bertekanan tinggi atau hidrogen cair bagi *fuel cell*, mulai mengalami perubahan seiring berkembangnya teknologi reformer. Sehingga tak perlu membawa tabung gas hidrogen atau hidrogen cair yang mudah meledak serta mahal.<sup>[4]</sup>

## 2.2 Sistem Pengendalian Proses

Sistem pengendalian merupakan sebuah sistem yang mempertahankan sebuah nilai keluaran dari suatu variabel proses sesuai dengan yang diinginkan (*set point*). Tujuan dari sistem pengendalian yaitu untuk menjaga kualitas dan kuantitas suatu proses. Pada dasarnya dibagi menjadi dua bagian, yaitu sistem pengendalian secara manual atau pengendalian terbuka (*Open Loop*) serta sistem pengendalian otomatis (*Close Loop*). perbedaan mendasar antara kedua sistem pengendalian ini adalah adanya umpan balik berupa informasi variabel yang diukur pada sistem pengendalian *close loop*, sedangkan sistem pengendalian terbuka tidak terdapat umpan balik mengenai variabel yang diukur.<sup>[5]</sup>

Hampir semua proses di industri membutuhkan peralatan-peralatan otomatis untuk mengendalikan parameter – parameter prosesnya. Otomatisasi tidak hanya diperlukan demi kelancaran operasi, keamanan, ekonomi maupun mutu produk, tetapi lebih, merupakan kebutuhan pokok. Parameter – parameter yang umum dikendalikan dalam suatu proses adalah tekanan, laju aliran, suhu. Gabungan serta alat-alat pengendalian otomatis itulah yang membentuk sistem pengendalian tersebut disebut instrumentasi pengendalian proses.

Berikut ini adalah diagram blok sistem pengendalian *close loop*, yaitu :



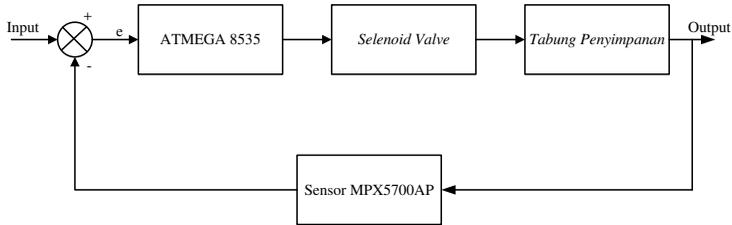
**Gambar 2.1** Sistem Pengendalian *Close Loop*<sup>[5]</sup>

Pada gambar 2.1, bagian *controller* mempunyai *summing junction* dengan tanda positif-negatif ( +/− ). Di titik inilah langkah untuk membandingkan dilakukan dengan menggunakan besaran *set point* dengan sinyal *measured variabel*. Hasilnya adalah sinyal yang disebut *error*. Tanda negatif (−) di *summing junction* membawa arti yang sangat spesifik bagi seluruh sistem. Karena tanda inilah sistem pengendalian otomatis juga lazim disebut dengan *negative feedback*. Dengan demikian, sistem pengendalian otomatis mempunyai dua nama lain, yaitu sistem *closed loop* dan sistem *negative feedback*. Mungkin ada sebagian yang pernah mendengar istilah *positif feedback*. Pada *feedback positif*, tanda negatif (−) pada *summing junction* diganti dengan tanda positif (+). Jadi ada dua tanda positif pada *summing junction*. *Set point* tidak lagi dikurangi dengan sinyal *measurement variabel*, tapi justru ditambah dengan *measurement variabel*. Jadi *error* bukan *set point* dikurangi (−) *measurement variabel* melainkan *set point* ditambah *measurement variabel*. Perubahan tanda ini membawa dampak yang sangat besar bagi kerja seluruh sistem.

Berikut ini adalah istilah-istilah dalam sistem pengendalian, yaitu :

- a. Proses : tatanan peralatan yang mempunyai suatu fungsi tertentu.

- b. *Controlled Variable* : besaran atau variabel yang dikendalikan.
- c. *Manipulated Variable* : input dari suatu proses yang dapat dimanipulasi agar *controlled variable* sesuai *set point*.
- d. *Disturbance* adalah besaran lain, selain *manipulated variabel* yang dapat menyebabkan berubahnya *control variabel*. Besaran ini juga lazim disebut *load*.
- e. *Error* adalah selisih antara *set point* dikurangi *measurement variabel*.
- f. *Transducer* adalah unit pengolah sinyal. Kata *transmitter* sering kali dirancukan dengan istilah *transducer*. Keduanya memang mempunyai fungsi yang serupa, walaupun tak sama benar. *Transducer* lebih bersifat lebih umum, sedangkan *transmitter* lebih khusus yang pemakaiannya pada sistem pengukuran.
- g. *Sensing Element* : bagian paling ujung suatu sistem pengukuran, seperti sensor suhu tau sensor level.
- h. *Transmitter* : untuk membaca sinyal sensing element dan mengubah sinyal yang dapat dipahami kontroler.
- i. *Measurement Variable* : sinyal yang keluar dari transmitter.
- j. *Set Point* : besar *process variable* yang dikehendaki.
- k. *Controller* : elemen yang melakukan tahapan mengukur – membandingkan – menghitung – mengkoreksi.
- l. *Control unit* : bagian dari *controller* yang menghitung besarnya koreksi yang diperlukan. *Input control unit* adalah *error*, dan outputnya adalah sinyal yang keluar dari *controller*. *Output control unit* adalah hasil penyelesaian matematik dengan *transfer function* dan memasukkan nilai *error* sebagai input.
- m. *Final control element* : seperti tercermin dari namanya adalah bagian akhir dari *instrument* atau pengendalian. Bagian ini berfungsi untuk mengubah *measurement variabel* dengan memanipulasi besarnya *manipulated variabel*, berdasarkan perintah *controller*.

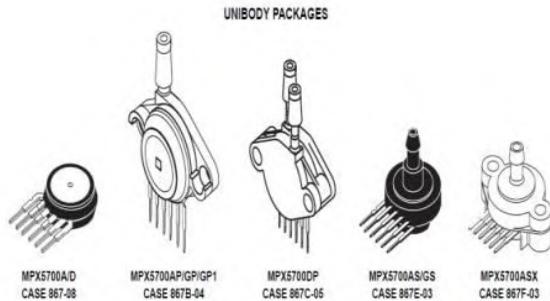


**Gambar 2.2** Diagram Blok Sistem Pengendalian<sup>[6]</sup>

Dari gambar 2.2, secara garis besar suatu rangkaian pengendalian proses dibagi menjadi 4 langkah, yaitu : mengukur, membandingkan, menghitung, dan mengkoreksi. Langkah pertama yaitu mengukur merupakan tugas dari sebuah sensor. Langkah berikutnya adalah membandingkan apakah hasil pengukuran sensor sudah sesuai dengan apa yang dikehendaki. Apabila terjadi ketidaksesuaian antara *set point* dengan hasil pengukuran maka akan dilakukan perhitungan untuk menentukan aksi apa yang dilakukan supaya sesuai dengan *set point* yang diinginkan. Pada langkah kedua dan ketiga ini adalah tugas pengendali. Langkah terakhir adalah melakukan pengkoreksian yang merupakan tugas aktuator. <sup>[6]</sup>

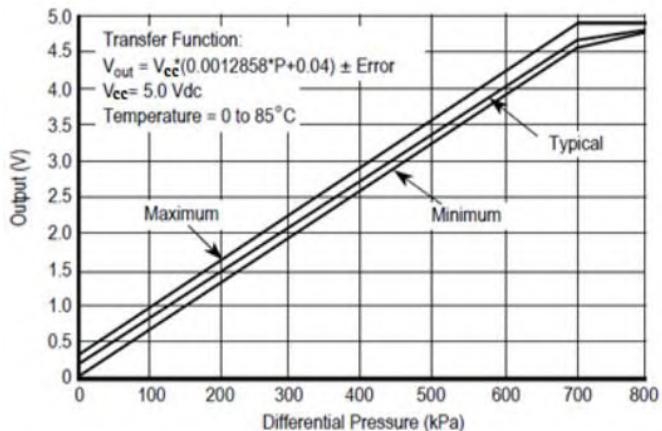
### 2.3 Sensor MPX5700AP

Sensor MPX5700 merupakan sensor tekanan dengan output *analog*, sensor ini merupakan sensor produk dari Fresscal Semikonduktor, Inc. MPX5700 dapat mengukur tekanan udara, oli maupun cairan lain dengan batas tekanan maksimum sebesar 700 KPa. Sensor MPX5700 dapat mengukur tekanan dengan 3 macam *mode* pengukuran yaitu, pengukuran *gauge*, *absolute*, maupun *differential*. Sedangkan paket dari sensor MPX5700 banyak jenisnya. Gambar 2.3 adalah gambar jenis paket dari sensor tekanan MPX5700.



**Gambar 2.3** Macam Sensor MPX5700<sup>[7]</sup>

Konfigurasi pin sensor MPX5700 terdiri dari 6 pin dan yang digunakan hanya 3 pin saja, yaitu : pin 1 sebagai Voutput, pin 2 sebagai *ground* sedangkan pin 3 sebagai masukan dari tegangan *power supply* sebesar 5 Volt, sedangkan 3 pin yang lain NC (*Not Connects*). Dari spesifikasi, sensor MPX5700AP bekerja pada tegangan 5 volt. Tingkat sensitivitas dari sensor sebesar 6,4 mV/kPa dengan tegangan output dari 0,2 Volt hingga maksimum 4,7 Volt. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada grafik perbandingan tegangan output dengan tekanan dalam satuan kPa pada Gambar 2.4.<sup>[7]</sup>

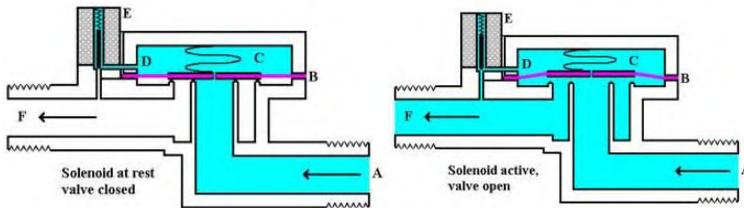


**Gambar 2.4** Grafik Perbandingan Tegangan Output dengan Kpa pada Sensor MPX5700<sup>[7]</sup>

## 2.4 Solenoid Valve

*Solenoid valve* pada berfungsi sebagai buka-tutupnya fluida. Alat ini akan dikontrol oleh mikrokontroler melalui relay kapan harus berkondisi *on* (aktif) dan *off* (mati). Sebenarnya *solenoid valve* mempunyai beberapa macam jenis dan beraneka ragam bentuknya di pasaran. Pemasangan *solenoid valve* ini sangat mudah dan menggunakan daya listrik yang sangat kecil. Kran *solenoid* adalah kombinasi dari dua dasar unit fungsional yang terdapat pada gambar 2.5, yaitu:

- Solenoid* (elektromagnet) terdiri atas koil yang berfungsi sebagai kumparan.
- Valve* merupakan katup dimana saat *solenoid* teraliri listrik, katup tersebut akan membuka dan menutup dengan sendirinya.

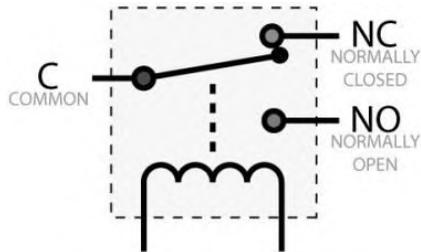


Gambar 2.5 Solenoid Valve<sup>[8]</sup>

## 2.5 Relay

Relay adalah alat yang dioperasikan dengan listrik yang secara mekanis mengontrol perhubungan rangkaian listrik. Relay adalah bagian terpenting dari banyak sistem kontrol, bermanfaat untuk kontrol jarak jauh dan untuk pengontrolan alat tegangan dan arus tinggi dengan sinyal kontrol tegangan arus rendah. Kontak Poin (*Contact Point*) relay terdiri dari 2 jenis yaitu :

- Normally Close* (NC) yaitu kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi *close* (tertutup).
- Normally Open* (NO) yaitu kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi *open* (terbuka).



**Gambar 2.6** Simbol Relay<sup>[81]</sup>

Berdasarkan gambar 2.3, sebuah besi (*Iron Core*) yang dililit oleh sebuah kumparan *Coil* yang berfungsi untuk mengendalikan besi tersebut. Apabila kumparan *Coil* diberikan arus listrik, maka akan timbul gaya elektromagnet yang kemudian menarik *armature* untuk berpindah dari posisi sebelumnya (NC) ke posisi baru (NO) sehingga menjadi saklar yang dapat menghantarkan arus listrik di posisi barunya (NO). Posisi dimana *armature* tersebut berada pada posisi sebelumnya (NC) akan menjadi *open* atau tidak terhubung. Pada saat tidak dialiri arus listrik, *armature* akan kembali lagi ke posisi awal (NC).<sup>[81]</sup>

## 2.6 Mikrokontroler ATmega8535

Mikrokontroler merupakan suatu rangkaian terintegrasi (*IC*) dengan kepadatan yang sangat tinggi dan semua bagian yang diperlukan oleh suatu kontroler sudah dikemas dalam satu keping yang didalamnya terdiri pusat pemroses (*Central Processing Unit*), RAM (*Random Access Memory*), EEPROM / EPROM / PROM, unit *input/output*, antarmuka serial dan parallel, *timer* dan *counter*, serta interup kontroler. Mikrokontroler tersedia dalam beberapa pilihan, tergantung keperluan dan kemampuan yang diinginkan. Mikrokontroler yang banyak beredar biasanya terdiri 4, 8, 16 atau 32 bit.

Mikrokontroler AVR memiliki arsitektur RISC 8 Bit, sehingga semua instruksi dikemas dalam kode 16-bit (16-bits word) dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam satu siklus instruksi clock. Dan ini sangat membedakan sekali dengan instruksi MCS-51 (Berarsitektur CISC) yang membutuhkan siklus

12 clock. RISC adalah *Reduced Instruction Set Computing* sedangkan CISC adalah *Complex Instruction Set Computing*.

AVR dikelompokkan ke dalam empat kelas, yaitu ATtiny, keluarga AT90Sxx, keluarga ATmega, dan keluarga AT86RFxx. kesemua kelas yang membedakan satu sama lain adalah ukuran *onboard* memori, *on-board peripheral* dan fungsinya. Segi arsitektur dan instruksi yang digunakan mereka bisa dikatakan hampir sama. Berikut ini adalah arsitektur ATmega8535, yaitu :

- a. Saluran IO sebanyak 32 buah, yaitu Port A, Port B, Port C dan Port D
- b. ADC 10 bit sebanyak 8 *Channel*
- c. Tiga buah *timer / counter*
- d. 32 *register*
- e. *Watchdog Timer* dengan *oscilator internal*
- f. SRAM sebanyak 512 *byte*
- g. Memori Flash sebesar 8 kb
- h. Sumber Interrupt internal dan eksternal
- i. Port SPI (*Serial Pheriperel Interface*)
- j. EEPROM on board sebanyak 512 *byte*
- k. Komparator analog
- l. Port USART (*Universal Shynchronous Ashynchronous Receiver Transmitter*)

Berikut ini adalah fitur ATmega8535, yaitu :

- a. Sistem *processor* 8 bit berbasis RISC dengan kecepatan maksimal 16 MHz.
- b. Ukuran memory flash 8 kb, SRAM sebesar 512 *byte*, EEPROM sebesar 512 *byte*.
- c. ADC internal dengan resolusi 10 bit sebanyak 8 *channel*.
- d. Port komunikasi serial USART dengan kecepatan maksimal 2.5 Mbps.
- e. *Mode Sleep* untuk penghematan penggunaan daya listrik.

Keterangan:

1. Flash adalah suatu jenis *Read Only Memory* yang biasanya diisi dengan program hasil buatan manusia yang harus dijalankan oleh mikrokontroler.

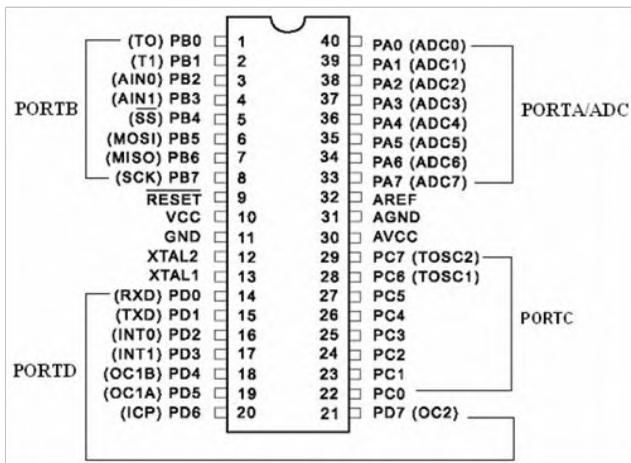
2. (*Random Acces Memory*) merupakan memori yang membantu CPU untuk penyimpanan data sementara dan pengolahan data ketika program sedang running.
3. EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) adalah memori untuk penyimpanan data secara permanen oleh program yang sedang running.
4. Port I/O adalah kaki untuk jalur keluar atau masuk sinyal sebagai hasil keluaran ataupun masukan bagi program.
5. *Timer* adalah modul dalam hardware yang bekerja untuk menghitung waktu/pulsa.
6. UART (*Universal Asynchronous Receive Transmit*) adalah jalur komunikasi data khusus secara serial *asynchronous*.
7. PWM (*Pulse Width Modulation*) adalah fasilitas untuk membuat modulasi pulsa.
8. ADC (*Analog to Digital Converter*) adalah fasilitas untuk dapat menerima sinyal analog dalam range tertentu untuk kemudian dikonversi menjadi suatu nilai digital dalam range tertentu.
9. SPI (*Serial Peripheral Interface*) adalah jalur komunikasi data khusus secara serial secara serial *synchronous*.
10. ISP (*In System Programming*) adalah kemampuan khusus mikrokontroler untuk dapat diprogram langsung dalam sistem rangkaiannya dengan membutuhkan jumlah pin yang minimal.

Berikut ini adalah konfigurasi pin ATmega8535, yaitu :

- a. VCC merupakan Pin yang berfungsi sebagai pin masukan catudaya
- b. GND merupakan Pin *Ground*.
- c. Port A (PA0...PA7) merupakan pin I/O dan pin masukan ADC.
- d. Port B (PB0...PB7) merupakan pin I/O dan pin yang mempunyai fungsi khusus yaitu Timer/Counter, komparator Analog dan SPI.

- e. Port C (PC0...PC7) merupakan port I/O dan pin yang mempunyai fungsi khusus, yaitu komparator analog dan *Timer Oscillator*.
- f. Port D (PD0...PD1) merupakan port I/O dan pin fungsi khusus yaitu komparator analog dan interrupt eksternal serta komunikasi serial.
- g. Reset merupakan pin yang digunakan untuk mereset mikrokontroler
- h. XTAL1 dan XTAL2 merupakan pin masukan clock eksternal.
- i. AVCC merupakan pin masukan untuk tegangan ADC.
- j. AREF merupakan pin masukan tegangan referensi untuk ADC.

Mikrokontroler ATmega8535 memiliki 40 pin dengan susunan seperti pada gambar 2.7 di bawah ini, yaitu:



**Gambar 2.7** Konfigurasi Pin IC ATmega8535<sup>[9]</sup>

## 2.7 Pressure Gauge

*Pressure gauge* berfungsi untuk membaca tekanan dengan pengamatan langsung. Kalau dalam bahasa *detail* dan formal, *Pressure gauge* adalah alat yang digunakan untuk mengukur tekanan fluida (gas atau *liquid*) dalam tabung tertutup. Satuan

dari alat ukur tekanan ini berupa Psi (*pound per square inch*), Psf (*pound per square foot*), mmHg (*millimeter of mercury*), inHg (*inch of mercury*), bar, atm (*atmosphere*). Cara kerja *pressure gauge* biasanya menggunakan *elemen sensing*, yaitu berupa *bourdon tube*. Tekanan masuk melalui *bourdon tube* kemudian memutar jarum secara mekanik pada *pressure gauge* seperti pada gambar 2.8.

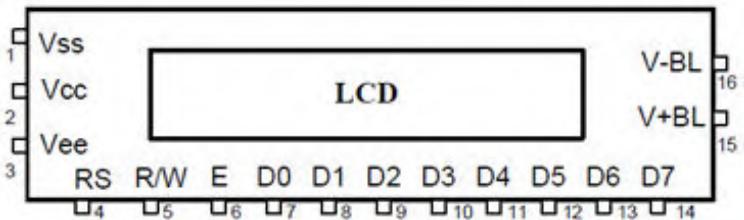


**Gambar 2.8 Pressure Gauge**<sup>[7]</sup>

## 2.8 Liquid Crystal Display (LCD)

*Liquid Crystal Display* (LCD) adalah suatu jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. Sumber cahaya di dalam perangkat LCD adalah lampu neon berwarna putih yang berada di bagian belakang susunan kristal cair. Ada dua jenis utama layar LCD yang dapat menampilkan numerik (digunakan dalam jam tangan, kalkulator dll) dan menampilkan teks alfanumerik (sering digunakan pada mesin foto kopi dan telepon genggam). Dalam menampilkan numerik ini kristal yang dibentuk menjadi bar, dan dalam menampilkan alfanumerik kristal hanya diatur kedalam pola titik. Setiap kristal memiliki sambungan listrik individu sehingga dapat dikontrol secara independen. Ketika kristal *off* (yakni tidak ada arus yang melalui kristal) cahaya kristal terlihat sama dengan bahan latar belakangnya, sehingga kristal tidak dapat terlihat. Namun ketika arus listrik melewati kristal, itu akan merubah bentuk dan

menyerap lebih banyak cahaya. Hal ini membuat kristal terlihat lebih gelap dari penglihatan mata manusia sehingga bentuk titik atau bar dapat dilihat dari perbedaan latar belakang. Sangat penting untuk menyadari perbedaan antara layar LCD dan layar LED. Sebuah LED display (sering digunakan dalam radio jam) terdiri dari sejumlah LED yang benar-benar mengeluarkan cahaya (dan dapat dilihat dalam gelap). Sebuah layar LCD hanya mencerminkan cahaya, sehingga tidak dapat dilihat dalam gelap. LMB162A adalah modul LCD *matrix* dengan konfigurasi 16 karakter dan 2 baris dengan setiap karakternya dibentuk oleh 8 baris *pixel* dan 5 kolom *pixel* (1 baris terakhir adalah kursor). Memori LCD terdiri dari 9.920 bit CGROM, 64 byte CGRAM dan 80x8 bit DDRAM yang diatur pengalamatannya oleh *Address Counter* dan akses datanya (pembacaan maupun penulisan datanya) dilakukan melalui *register* data. LCD 16x2 menandakan bahwa LCD dapat menampilkan sebanyak 16x2 karakter. Berikut pin pada LCD 16x2 yang terdapat pada pada gambar 2.9, yaitu :



**Gambar 2.9** Antarmuka LCD 16x2<sup>[9]</sup>

Berikut ini tabel 2.1 yang menunjukkan beberapa fungsi dari konfigurasi pin yang terdapat pada LCD 16x2, yaitu :

**Tabel 2.1** Fungsi dan konfigurasi pin – pin LCD 16x2

Pin	Nama	Fungsi
1	VSS	<i>Ground</i>
2	VCC	+5V
3	VEE	Tegangan kontras
4	RS	<i>Register select</i> 0= register instruksi, 1 = register data

**Tabel 2.1** Lanjutan

5	R/W	<i>Read/write</i> , untuk memilih mode tulisan atau baca 0=mode tulis, 1= mode data
6	E	<i>Enable</i> 0= <i>enable</i> (mulai menahan data ke LCD) 1= <i>disable</i>
7	D0	Data bit 0, LSB
8	D1	Data bit 1
9	D2	Data bit 2
10	D3	Data bit 3
11	D4	Data bit 4
12	D5	Data bit 5
13	D6	Data bit 6
14	D7	Data bit 7, MSB
15	V+BL	<i>Back plane light</i>
16	V-BL	<i>Ground</i>

Penjelasannya dari setiap pin, yaitu :

1. Kaki 1 (GND) : Kaki ini berhubungan dengan tegangan +5 Volt yang merupakan tegangan untuk sumber daya.
2. Kaki 2 (VCC) : Kaki ini berhubungan dengan tegangan 0 volt (*Ground*).
3. Kaki 3 (VEE/VLCD) : Tegangan pengatur kontras LCD, kaki ini terhubung pada cermet. Kontras mencapai nilai maksimum pada saat kondisi kaki ini pada tegangan 0 volt.
4. Kaki 4 (RS) : *Register Select*, kaki pemilih register yang akan diakses. Untuk akses ke Register Data, logika dari kaki ini adalah 1 dan untuk akses ke Register Perintah, logika dari kaki ini adalah 0.
5. Kaki 5 (R/W) : Logika 1 pada kaki ini menunjukkan bahwa modul LCD sedang pada mode pembacaan dan logika 0 menunjukkan bahwa modul LCD sedang pada mode penulisan. Untuk aplikasi yang tidak memerlukan

pembacaan data pada modul LCD, kaki ini dapat dihubungkan langsung ke *Ground*.

6. Kaki 6 (E) : *Enable Clock* LCD, kaki mengaktifkan *clock* LCD. Logika 1 pada kaki ini diberikan pada saat penulisan atau pembacaan data.
7. Kaki 7 – 14 (D0 – D7) : Data bus, kedelapan kaki LCD ini adalah bagian di mana aliran data sebanyak 4 bit ataupun 8 bit mengalir saat proses penulisan maupun pembacaan data.
8. Kaki 15 (Anoda) : Berfungsi untuk tegangan positif dari *backlight* LCD sekitar 4,5 volt (hanya terdapat untuk LCD yang memiliki *backlight*).
9. Kaki 16 (Katoda) : Tegangan negatif *backlight* LCD sebesar 0 volt (hanya terdapat pada LCD yang memiliki *backlight*).<sup>[9]</sup>

## 2.9 Karakteristik Alat Ukur

Setiap Instrumen ukur mempunyai karakteristik yang melekat padanya. Terdapat dua karakteristik instrument ukur yang digunakan, yaitu karakteristik statik dan karakteristik dinamik.

Karakteristik statis instrumen merupakan hubungan antara output sebuah elemen (instrumen) dengan inputnya ketika inputnya konstan maupun berubah perlahan. Karakteristik statis tidak bergantung pada waktu. Yang termasuk dalam karakteristik statis, yaitu :

- a. *Range* adalah nilai minimum hingga maksimum suatu elemen. *Range* terdiri dari range input dan range output. Misalnya *termocouple* mempunyai *range* input 0° C - 250° C dan output range 5-20 mV.
- b. *Span* merupakan selisih nilai maksimum dengan nilai minimum. *Span* terdiri dari span input dan span output. Contoh, *termocouple* yang mempunyai range input 0° C- 250° C dan range output 5-20 mV span inputnya 250° C, span outputnya 15 mV.

- c. *Linieritas* adalah pengukuran dapat dikatakan ideal saat hubungan antara input pengukuran (nilai sesungguhnya) dengan output pengukuran (nilai yang ditunjukkan oleh alat) berbanding lurus. Linieritas merupakan hubungan nilai input dan output alat ukur ketika terletak pada garis lurus. Garis lurus ideal merupakan garis yang menghubungkan titik minimum input/output dengan titik maksimum input/output. Berikut adalah persamaannya:

$$O_{ideal} = KI + a \dots\dots\dots (2.1)$$

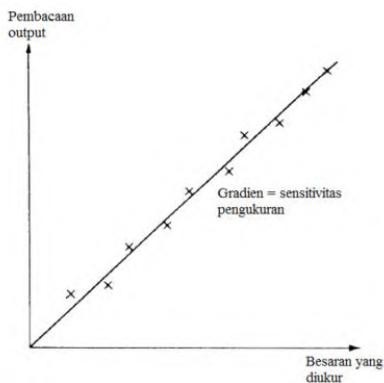
Dengan K adalah kemiringan garis, dapat diketahui melalui persamaan:

$$K = \frac{O_{max} - O_{min}}{I_{max} - I_{min}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dan a adalah pembuat nol (*zero bias*), dapat dihitung dengan persamaan:

$$O_{min} - KI_{min} \dots\dots\dots (2.3)$$

Berikut ini adalah grafik karakteristik statis linier suatu instrumen:



**Gambar 2.10** Karakteristik Output Instrumen Linier<sup>[10]</sup>

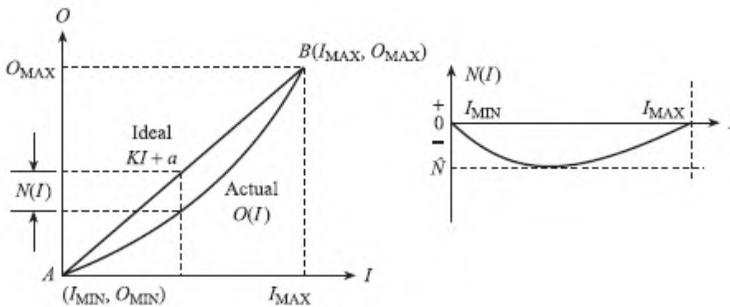
- d. *Non – Linieritas*, dalam beberapa keadaan, bahwa dari persamaan linieritas muncul garis yang tidak lurus yang biasa disebut *non-linier* atau tidak linier. Didalam fungsi garis yang tidak linier ini menunjukkan perbedaan antara hasil pembacaan *actual* / nyata dengan garis lurus idealnya. Dengan persamaan sebagai berikut :

$$N(I) = O(I) - (KI + a) \dots\dots\dots (2.4)$$

$$O(I) = KI + a + N(I) \dots\dots\dots (2.5)$$

Sedangkan untuk persamaan dalam bentuk prosentase dari defleksi skala penuh, sebagai berikut:

Prosentase maksimum Nonlinieritas dari defleksi skala penuh =  $\frac{\hat{N}}{O_{maks} - O_{min}} \times 100\%$  ..... (2.6)



**Gambar 2.11** Grafik Non-linieritas<sup>[10]</sup>

- e. Sensitivitas diartikan seberapa peka sebuah sensor terhadap besaran yang diukur. Sensitivitas juga bisa diartikan sebagai perubahan output alat dibandingkan perubahan input dalam satu satuan.

$$\text{Sensitivitas} = \frac{\Delta O}{\Delta I} \dots\dots\dots (2.7)$$

- f. Resolusi merupakan perubahan terbesar dari input yang dapat terjadi tanpa adaya perubahan pada output. Suatu alat ukur dapat dikatakan mempunyai resolusi tinggi saat mampu mengukur dengan ketelitian yang lebih kecil. Misalkan, alat ukur yang mampu mengukur perubahan

dalam mV mempunyai resolusi yang lebih tinggi dibanding alat ukur yang mengukur perubahan dalam skala volt.

- g. Akurasi merupakan ketepatan alat ukur untuk memberikan nilai pengukuran yang mendekati nilai sebenarnya. Karena pada eksperimen nilai sebenarnya tidak pernah diketahui oleh sebab itu diganti dengan suatu nilai standar yang diakui secara konvensional. Berikut ini adalah perhitungan nilai dari akurasi, yaitu:

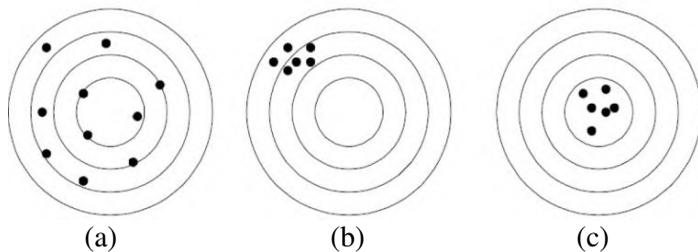
$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

$Y_n$  = Pembacaan standar (I)

$X_n$  = Pembacaan alat (O)

- h. Presisi adalah kemampuan instrument/elemen untuk menampilkan nilai yang sama pada pengukuran berulang singkat.<sup>[10]</sup>



**Gambar 2.12** Penjelasan Akurasi dan Presisi<sup>[10]</sup>

- i. Ketidakpastian adalah nilai ukur sebaran kelayakan yang dapat dihubungkan dengan nilai terukurnya. Dimana di dalam nilai sebaran tersebut terdapat nilai rentang yang menunjukkan nilai sebenarnya. Klasifikasi dari adanya ketidakpastian, antara lain :
1. Tipe A : nilai ketidakpastian yang dilihat dari analisis pengukuran statistik (*ISO GUM B 2.15*;

VIM 3.5 dalam KAN DP.01.23). Di dalam tipe ini dilakukan pengukuran hingga n kali, dimana dari pengukuran tersebut akan mendapatkan nilai rata-rata, standar deviasi, dan data keterulangan. Dimana rumus umum ketidakpastian tipe A sebagai berikut :

$$U_{a1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{ (Ketidakpastian hasil pengukuran) } \quad (2.9)$$

Dimana :

$\sigma$  = Standart deviasi koreksi

n = Jumlah data

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}}{n-1} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} \text{ (Ketidakpastian regresi) } \dots (2.11)$$

Dimana :

SSR (*Sum Square Residual*) =  $\sum$ SR (*Square Residual*)

$$SR = R^2 \text{ (Residu) } \dots\dots\dots (2.12)$$

$$Y_i \text{ (Nilai koreksi) } = t_i - x_i \dots\dots\dots (2.13)$$

$$Y_{reg} = a + (b \times t_i) \dots\dots\dots (2.14)$$

$$a = \bar{y}_i + (b \times \bar{t}_i) \dots\dots\dots (2.15)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum t_i y_i - \sum y \cdot \sum t_i}{n \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}; \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana :

$t_i$  = Pembacaan standar

$x_i$  = Pembacaan alat

$y_i$  = Nilai koreksi

2. Tipe B : nilai ketidakpastian yang tidak dilihat dari analisis pengukuran statistik (*ISO GUM B 2.15; VIM 3.5 dalam KAN DP.01.23*). Berikut merupakan rumus umum dari ketidakpastian tipe B :

$$U_{B1} = \frac{\frac{1}{2}x \text{ Resolusi}}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$U_{B2} = \frac{a}{k} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana :

$U_{B1}$  = Nilai ketidakpastian resolusi

$U_{B2}$  = Nilai ketidakpastian dari alat standar/kalibrator

### 3. Ketidakpastian Baku Gabungan (Kombinasi)

Ketidakpastian baku gabungan disimbolkan dengan  $U_c$ , dimana nilai ketidakpastian yang digunakan untuk mewakili nilai estimasi standar deviasi dari hasil pengukuran. Nilai ketidakpastian baku gabungan didapat dari menggabungkan nilai-nilai ketidakpastian baku dari setiap taksiran masukan (hukum propagasi ketidakpastian) (*ISO GUM B 2.15*; *VIM 3.5* dalam KAN DP.01.23).

Berikut ini adalah rumus umum ketidakpastian baku gabungan :

$$U_c = \sqrt{U_{A1}^2 + U_{A2}^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana :

$U_c$  = Nilai ketidakpastian kombinasi

$U_{A1}$  = Nilai ketidakpastian hasil pengukuran

$U_{A2}$  = Nilai ketidakpastian regresi

$U_{B1}$  = Nilai ketidakpastian resolusi

$U_{B2}$  = Nilai ketidakpastian kalibrator

### 4. Derajat Kebebasan Efektif

Derajat kebebasan efektif ini berfungsi sebagai pemilihan faktor pengali untuk distribusi *Student's T* serta sebagai penunjuk perkiraan kehandalan ketidakpastian (*ISO GUM B 2.15*; *VIM 3.5* dalam KAN DP.01.23). Derajat kebebasan disimbolkan dengan  $v$ , dengan rumus sebagai berikut :

$$V = n-1 \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana :

$n$  = Jumlah data

Sedangkan untuk derajat kebebasan efektif merupakan estimasi dari derajat kebebasan ketidakpastian baku gabungan yang dirumuskan sebagai berikut (rumus *Welch-Setterthwaite*):

$$V_{eff} = \frac{(U_c)^4}{\sum (U_i)^4 / v_i} \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana :

$V_{eff}$  = Derajat kebebasan efektif dari ketidakpastian kombinasi

$v_i$  = Derajat kebebasan dari komponen ketidakpastian ke-i

$U_i$  = Hasil ketidakpastian tipe A dan B

Setelah ditentukan nilai derajat kebebasan efektif, maka dapat dilanjutkan dengan menghitung nilai faktor cakupan sesuai dengan tingkat kepercayaan yang diinginkan, dimana faktor cakupan ( $k$ ) didapat dari tabel *T-students*.

5. Ketidakpastian Diperluas,  $U_{exp}$

Ketidakpastian diperluas merupakan akhir nilai ketidakpastian dengan tingkat kepercayaan. Tingkat kepercayaan tingkat keyakinan mengenai daerah nilai sebenarnya pada suatu pengukuran.<sup>[11]</sup>

$$U_{exp} = k \times U_c \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana :

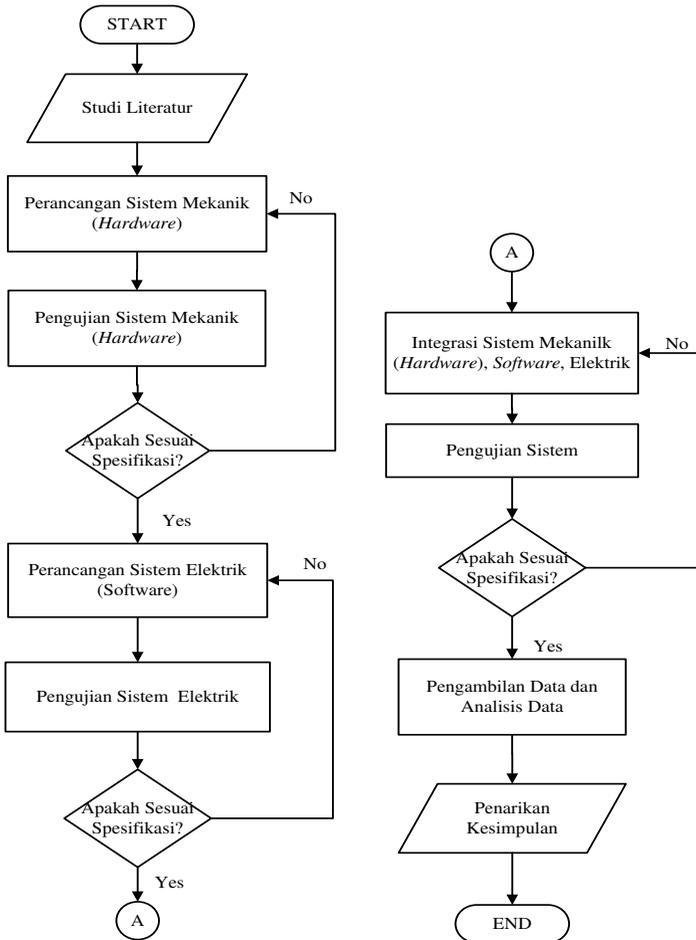
$k$  = Faktor cakupan

$U_c$  = Nilai ketidakpastian kombinasi

## BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

### 3.1 *Flowchart* Perancangan Alat

Langkah-langkah perancangan alat ini digambarkan dalam *flowchart* penelitian yang dapat dilihat pada gambar 3.1 di bawah ini.



**Gambar 3.1** *Flowchart* Proses Pengerjaan Tugas Akhir

### 3.2 Metodologi Penelitian

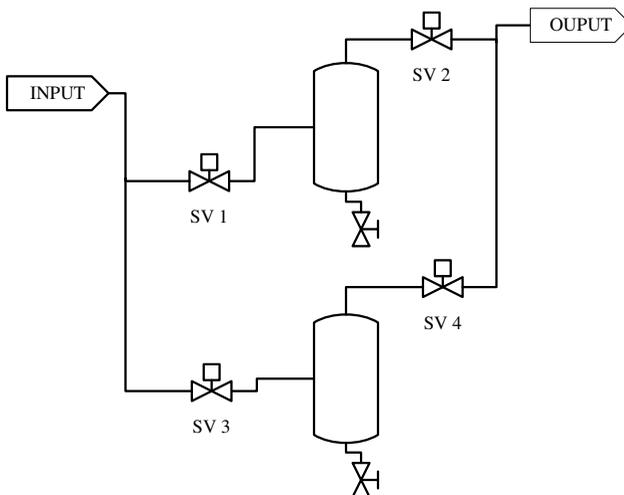
Berikut adalah metodologi penelitian dari pembuatan tugas akhir tentang sistem pengendalian *pressure* pada tabung penyimpanan dari hasil pencampuran gas hidrogen dengan gas sebagai sumber energi genset adalah sebagai berikut :

#### a. Studi Literatur

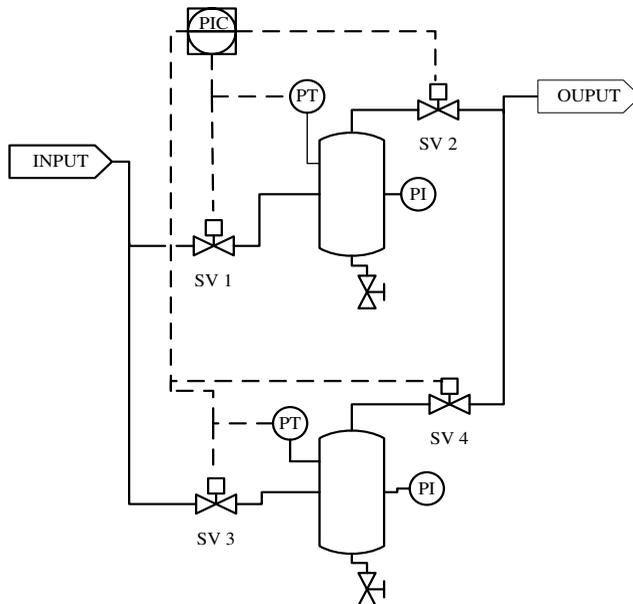
Studi literatur merupakan pengkajian dan pemahaman mengenai sistem pengendalian *pressure*. Mempelajari prinsip kerja dari *plant* elektrolisis air. Memahami komponen-komponen serta mencari sensor yang cocok untuk diletakkan pada tabung penyimpanan sebagai pengendalian *pressure* serta mendapatkan beberapa referensi atau literatur pendukungnya.

#### b. Perancangan Sistem Mekanik

Pada tahap ini di lakukan perancangan sistem mekanik dari *hardware*, yaitu pembuatan tabung penyimpanan yang dirancang dengan menggunakan *software* Microsoft Visio. Pada sistem mekanik disini digunakan empat buah *solenoid valve* sebagai aktuator untuk membuka dan menutup gas yang masuk dan keluar dan dua buah tabung penyimpanan untuk menyimpan tekanan gas yang masuk, dapat dijelaskan melalui gambar 3.2 dan gambar 3.3.



**Gambar 3.2** PFD Sistem Pengendalian *Pressure*



**Gambar 3.3** P&ID Sistem Pengendalian *Pressure*

**c. Pengujian *Hardware***

Pada tahap ini dilakukan pengujian pada *solenoid valve* dengan menggunakan tegangan 12VDC. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah *solenoid valve* dapat membuka dan menutup.

**d. Perancangan Sistem Elektrik**

Perancangan sistem elektrik, yaitu menguji tegangan yang keluar apabila sensor MPX5700AP diberikan tekanan dengan range 0-90 Psi. Pengujian sensor ini menggunakan LABVIEW dan DAQ. Setelah mendapatkan hasil tegangan yang keluar, maka hasil tersebut dirubah menjadi nilai biner yang akan dikoding pada mikrokontroler ATmega8535 kemudian akan tampil pada layar LCD16x2.

**e. Pembuatan *Software***

Pada proses pembuatan *software* ini menggunakan *software* CodeVisionAVR C *Compiler Evaluation*. Pembuatan *software* atau proses pengkodingan ini menggunakan metode pengendalian

*on-off* sehingga ditentukan nilai *range set point* yang dikehendaki. Koding dari pembacaan sensor MPX5700AP menggunakan nilai persamaan interpolasi dari nilai tekanan minimum-maksimum dan nilai dari perubahan *Vout* yang telah dirubah menjadi nilai biner.

**f. Verifikasi Software**

Verifikasi *software* ini sendiri dilakukan untuk mengetahui apakah terjadi kesalahan atau tidak pada pembuatan *software* atau pengkodean, serta *software* sudah dapat berjalan sesuai yang diinginkan.

**g. Integrasi Sistem Mekanik Hardware, Elektrik dan Software**

Pada tahap ini dilakukan penggabungan antara sistem mekanik *hardware*, elektrik, dan *software*.

**h. Pengujian Sistem**

Pada tahap ini dilakukan pengujian dengan tujuan untuk mengetahui apakah sistem dapat berjalan secara sempurna setelah dilakukan integrasi dari sistem mekanik *hardware*, elektrik, dan *software*. Integrasi disini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem sudah berjalan sesuai dengan yang diinginkan atau belum.

**i. Pengambilan Data**

Pengambilan data dengan pengujian sensor MPX5700AP, kalibrasi, menentukan karakteristik statis pada alat *instrument* serta penentuan *setpoint* tekanan yang baik digunakan pada tabung penyimpanan.

**j. Analisis Data**

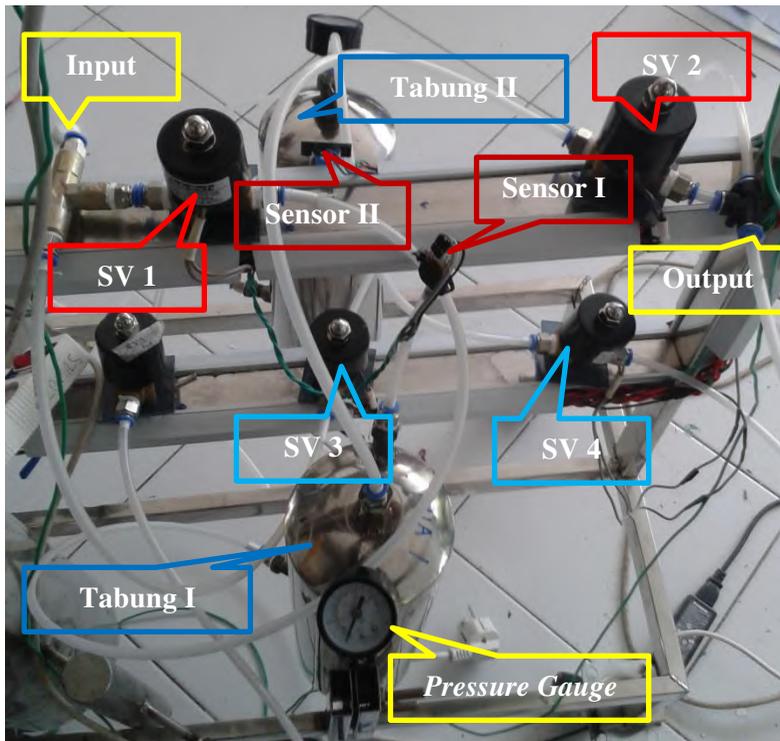
Analisis data dilakukan untuk mengetahui adanya perbedaan tekanan (*Pressure*) sebelum dikontrol (*manual process*) dan sesudah dikontrol (*control process*).

**k. Penarikan kesimpulan**

Dari analisa data akan diketahui perbedaan nilai tekanan (*Pressure*) sebelum dan sesudah dikontrol, sehingga apabila menggunakan sistem kontrol maka nilai tekanan gas yang keluar dapat menghasilkan sumber energi bagi genset dan efisiensi waktu.

### 3.3 Perancangan Sistem Pengendalian *Pressure*

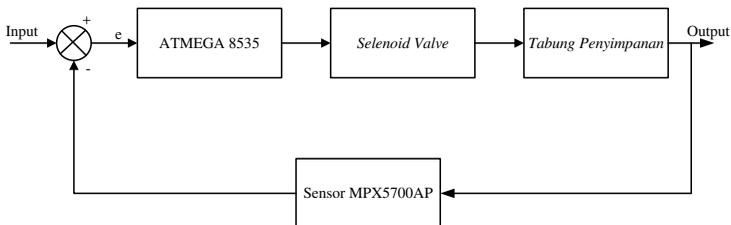
Pada perancangan sistem kontrol *plant* ekektrolisis dengan mengatur variabel kontrol, yaitu *pressure*. Pada sistem ini menggunakan dua buah sensor tekanan, yaitu MPX5700AP untuk mendeteksi variabel tekanan yang masuk serta empat buah aktuator berupa *solenoid valve* sebagai buka tutup valve yang dapat dilihat pada gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Perancangan Sistem Pengendalian *Pressure*

Dari sensor MPX5700AP akan mengirimkan sinyal menuju *microcontroller* ATmega8535 yang berfungsi sebagai *controller*. Dari *microcontroller* ATmega8535, data dari sensor akan diolah. *Set point* diatur sesuai dengan yang dikehendaki, yaitu : 15 Psi. Jika data yang masuk ke *microcontroller* ATmega8535 kurang

dari batas *set point minimum* sebesar 10 Psi, maka dari *microcontroller* ATmega8535 akan memerintahkan *solenoid valve* 1 untuk menyala (*on*) sampai mencapai menuju *set point* 15 Psi dan kemudian *solenoid valve* 1 mati (*off*) dan akan mengaktifkan *solenoid valve* 2 untuk bekerja membuang gas pada genset. Saat proses pembuangan gas, pada tabung penyimpanan 2 akan mengaktifkan *solenoid valve* 3 untuk menerima gas yang masuk sampai mencapai *set point* 15 Psi dan kemudian *solenoid valve* 3 mati (*off*) dan akan mengaktifkan *solenoid valve* 4 untuk bekerja membuang gas pada genset (proses *redundant*). Untuk setiap tabung penyimpanan dijaga tekanannya sebesar 10 Psi. Apabila gas kurang dari 10 Psi pada tabung penyimpanan 1 maka *solenoid valve* 1 akan aktif lagi untuk mencapai *set point*, begitupun pada tabung penyimpanan 2, namun yang aktif adalah *solenoid valve* 3. Untuk rangkaian yang menyambungkan atau memutuskan dari *microcontroller* ATmega8535 menuju *solenoid valve* membutuhkan rangkaian *modul relay* untuk mengaktifkan *solenoid valve*. Selain itu, perubahan nilai tekanan akan muncul atau ditampilkan melalui LCD 16x2 dan sebagai indikator pembandingan menggunakan *pressure gauge*. Sensor tekanan yang digunakan, yaitu MPX5700AP diletakan pada PORTA yang berupa ADC, lalu LCD diletakkan di PORTC, serta modul relay yang nantinya akan tersambung ke relay dan akan membuka maupun menutup *solenoid valve* diletakan pada PORTD di *microcontroller* ATmega8535 selain menggunakan tampilan LCD juga terdapat *pressure gauge* sebagai indikator pembandingan dari LCD. Berikut ini adalah diagram blok pengendalian *pressure* yang dapat dilihat pada gambar 3.5.



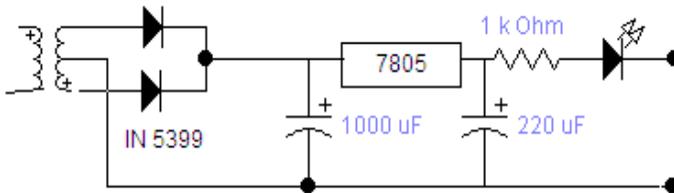
**Gambar 3.5** Diagram Blok Pengendalian *Pressure*

### 3.4 Perancangan *Hardware*

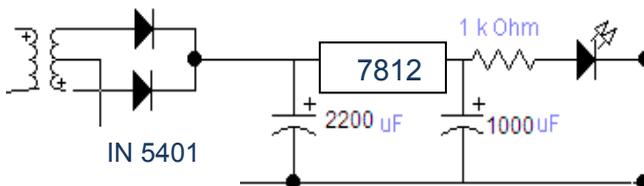
Dalam pembuatan *plant* pengendalian *pressure* pada tabung penyimpanan perlu adanya perancangan *hardware* meliputi *power supply*, sensor, perancangan tabung, *microcontroller*, rangkaian modul *relay*, dan LCD.

#### 3.4.1 Perancangan *Power Supply*

Dalam pembuatan rangkaian *power supply* terdapat pada gambar 3.6 dan gambar 3.7 memiliki beberapa komponen dalam perangkaian ini yaitu regulator yang mempunyai tegangan IC 7805 dan IC 7812. Regulator IC 7805 dan regulator IC 7812 dapat mengeluarkan tegangan 5 Volt dan 12 Volt DC. Untuk menghasilkan tegangan 5 Volt terdiri dari beberapa komponen yaitu, dioda IN 5399 yang merupakan dioda yang dapat melewatkan arus maksimal 2A, kapasitor 1000 uF dan 220uF, serta IC 7805. Sedangkan dioda IN 5401 berfungsi untuk menghasilkan tegangan sebesar 12 Volt dengan arus maksimal 3 A. Selain itu, membutuhkan kapasitor 2200uF dan 1000uF, serta IC 7824. Dioda yang dipakai dalam rangkaian mempunyai fungsi yang spesifik yaitu untuk menjadikan sinyal AC sinusoidal yang melewatinya menjadi sinyal DC setengah gelombang (*half wave*).



**Gambar 3.6** Rangkaian *Power Supply* 5 volt

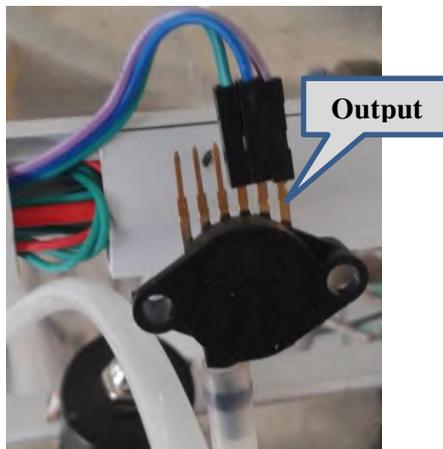


**Gambar 3.7** Rangkaian *Power Supply* 12 volt

Kapasitor mempunyai fungsi untuk memperhalus sinyal DC dari dioda. Kemudian sinyal DC keluaran dari kapasitor akan di masukkan ke IC 7805, 7812. Hasil keluaran dari IC 7805 dan 7812 adalah tegangan 5 Volt dan 12 Volt.

### 3.4.2 Perancangan Sensor MPX5700AP

Sensor MPX5700AP akan bekerja ketika sensor melakukan penginderaan pada saat adanya perubahan tekanan. Fungsi dari sensor MPX5700AP difokuskan sebagai pendeteksi nilai tekanan sehingga *user* mengetahui kenaikan dan penurunan nilai tekanan pada setiap detik atau menit. Selain itu, sensor MPX5700AP berfungsi untuk mengontrol *on off* pada *solenoid valve*. Output dari sensor MPX5700AP akan masuk ke PORT A sebagai input ADC sehingga *microcontroller* ATmega8535 dapat menerima data dari sensor MPX5700AP. Berikut ini adalah gambar dari sensor MPX5700AP yang dapat dilihat pada gambar 3.7.



**Gambar 3.8** Sensor MPX5700AP

### 3.4.3 Perancangan *Microcontroller* ATmega8535

Pada perancangan dari *microcontroller* ATmega8535 ini dilakukan dengan pengujian. Pengujian ini awalnya dilakukan secara manual. *Supply* yang digunakan sebagai *inputan* yakni

sebesar 5 VDC. Untuk *input* dan *output* yang digunakan dalam pengujian ini yaitu menggunakan digital *input* dan digital *output* karena sensor MPX5700AP adalah jenis sensor data. Sebelum diuji, *microcontroller* ATmega8535 diberikan *listing program* terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan interpolasi dari pembacaan nilai dari tegangan output yang diubah ke nilai digital agar input data dari sensor MPX5700AP dapat terbaca oleh *microcontroller* ATmega8535.

Setelah selesai diuji dan sesuai dengan *output* yang dihasilkan, kemudian dimasukkan program untuk sensor tekanan MPX5700AP untuk memonitor besar nilai tekanan yang keluar ditampilkan pada layar LCD serta untuk membandingkannya melalui *pressure gauge* agar nilainya terbaca sesuai dengan spesifikasinya.

### 3.4.4 Perancangan Modul Relay

Modul relay ini dapat digunakan sebagai *switch* untuk menjalankan berbagai peralatan elektronik. Misalnya Lampu listrik, *solenoid valve*, motor listrik, dan berbagai peralatan elektronik lainnya. Kendali ON / OFF *switch* (relay), sepenuhnya ditentukan oleh nilai output dari sensor, yang setelah diproses pada mikrokontroler akan menghasilkan perintah kepada relay untuk melakukan fungsi ON / OFF.

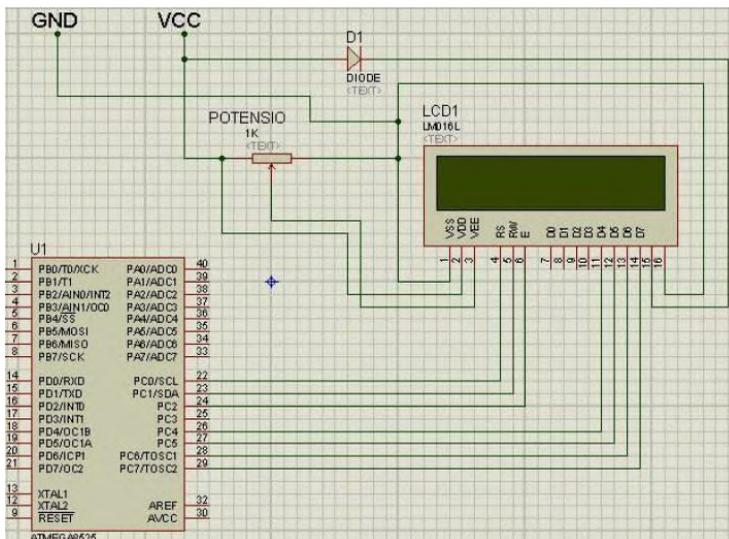


Gambar 3.9 Modul Relay 16 Channel

Relay adalah komponen listrik yang bekerja berdasarkan prinsip induksi medan elektromagnetis. Jika sebuah penghantar dialiri oleh arus listrik, maka di sekitar penghantar tersebut timbul medan magnet. Medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik tersebut selanjutnya diinduksikan ke logam ferromagnetis. Logam ferromagnetis adalah logam yang mudah terinduksi medan elektromagnetis. Ketika ada induksi magnet dari lilitan yang membelit logam, logam tersebut menjadi "magnet buatan" yang sifatnya sementara.

### 3.4.5 Perancangan Display LCD

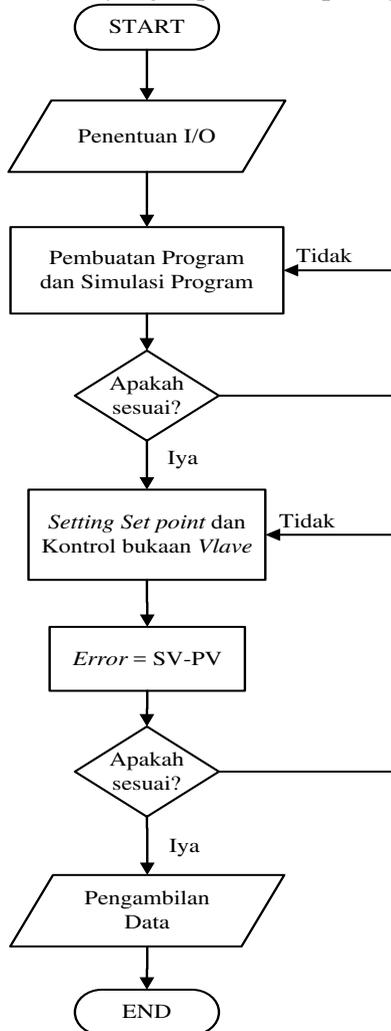
LCD (*Liquid Crystal Display*) 16x2 adalah suatu jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. LCD sudah digunakan di berbagai bidang, misalnya dalam alat-alat elektronik, seperti televisi, kalkulator ataupun layar komputer. *Display* dari LCD ini digunakan pada *microcontroller* ATmega8535 yang diletakkan pada PORTC. Adapun sistem perancangannya terdapat pada gambar 3.10 yang dibuat melalui *software* proteus, yaitu :



**Gambar 3.10** Rangkaian LCD

### 3.5 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Pada perancangan perangkat lunak ini menggunakan bahasa pemrograman bahasa c di *microcontroller* ATmega8535. Berikut merupakan *flowchart* dari pembuatan program untuk sistem pengendalian tekanan yang dapat dilihat pada gambar 3.11.



**Gambar 3.11** *Flowchart* Program

Pada gambar 3.11 diatas menjelaskan tentang perancangan *software* pada *microcontroller* ATmega8535 yang dipakai dan disesuaikan dengan kondisi *hardware* yang digunakan. *Software* yang dipakai terdiri dari beberapa bagian pokok, yaitu :

- a. *Software* yang dipakai untuk pembacaan *microcontroller* ATmega8535.
- b. *Software* yang digunakan untuk pembacaan nilai output dari sensor tekanan oleh *microcontroller* ATmega8535 yang digunakan sebagai pengolah data.
- c. *Software* penampil ke LCD.

Perancangan *software* digunakan untuk mendukung kerja dari perangkat kasar (*hardware*). Pada proses pembuatan listing program menggunakan *software* CodeVisionAVR C *Compiler Evaluation*. Dimulai dari pemrograman sensor kemudian akan di masukkan nilai *set point*. Sensor MPX5700AP akan membaca dan akan mengkonversi menjadi nilai tekanan yang akan tampil pada LCD. Lalu data pengukuran akan menghasilkan *error*, dari nilai *error* tersebut data diolah untuk menentukan pada *set point* berapa *valve* akan terbuka dan menutup yang dilakukan oleh *solenoid valve*.

**BAB IV**  
**PENGUJIAN ALAT DAN ANALISIS DATA**

**4.1 Pengujian Sensor MPX5700AP**

Pada pengujian sensor ini dilakukan dengan berbagai metode dengan tujuan untuk mengetahui sejauh mana sensor yang akan digunakan untuk mengukur temperatur mampu bekerja serta mengetahui performansi alat yang digunakan ketika akan dilakukan pengendalian *pressure*. Berikut ini adalah data yang dihasilkan ketika melakukan pengujian untuk mencari pembacaan nilai dari Vout dengan menggunakan DAQ dan LABVIEW yang terdapat pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Pembacaan Tegangan Sensor MPX5700AP

<b>Range (Psi)</b>	<b>Sensor I (Vout)</b>		<b>Rata-rata (Vout)</b>	<b>Sensor II (Vout)</b>		<b>Rata-rata (Vout)</b>
0	0.845	0.845	0.845	0.857	0.857	0.857
10	1.293	1.303	1.298	1.252	1.334	1.293
20	1.731	1.762	1.746	1.741	1.772	1.756
30	2.182	2.24	2.211	2.21	2.261	2.235
40	2.699	2.689	2.694	2.709	2.699	2.704
50	3.147	3.127	3.137	3.147	3.157	3.152
60	3.626	3.636	3.631	3.63	3.646	3.638
70	4.084	4.095	4.09	4.074	4.064	4.069
80	4.553	4.543	4.548	4.563	4.543	4.553
90	4.991	4.981	4.986	4.981	4.961	4.971

Dari tabel 4.1 didapatkan nilai sensitivitas dari sensor dimana tekanan sebagai input dan pembacaan tegangan keluaran sensor sebagai output, yaitu :

$$\text{Sensitivitas} = \frac{\Delta O}{\Delta I} = \frac{O_{max} - O_{min}}{I_{max} - I_{min}} \dots\dots\dots (4.1)$$

$$\begin{aligned} \text{Sensitivitas1} &= \frac{4.986105 - 0.844549}{90 - 0} = 0.046017289 \text{ V/Psi} \\ &= 6.672506889 \text{ mV/kPa} \end{aligned}$$

$$\text{Sensitivitas}_2 = \frac{4.970825 - 0.857212}{90 - 0} = 0.457068 \text{ V/Psi}$$

$$= 6.6274876 \text{ mV/kPa}$$

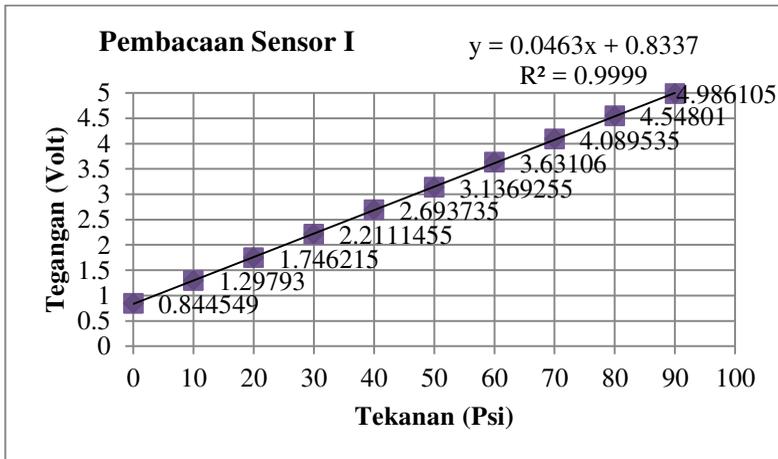
Dimana Sensitivitas 1 adalah pembacaan dari sensor I dan Sensitivitas 2 adalah pembacaan dari sensor II. Dari kedua sensor tersebut memiliki nilai koreksi sebesar 0.2 mV/kPa jika dilihat pada *datasheet* nilai sensitivitas sensor MPX5700 AP sebesar 6.4 mV/kPa. Sehingga setiap sensor MPX5700AP dapat dibuat grafik sebagai berikut, yaitu :

#### 4.1.1 Pengujian Sensor I

Adapun hasil dari pengujian sensor I, yaitu :

a. Grafik Pembacaan Tegangan Keluaran dari Sensor I

Grafik hasil dari pembacaan sensor I dilihat dari nilai tegangan keluaran terhadap tekanan dapat dilihat pada gambar 4.1. Grafik tersebut menunjukkan bahwa ketika sensor diberikan tekanan dengan range sebesar 0-90 Psi maka Vout akan naik seiring dengan maksimum tekanan yang diberikan. Ketika Vout dikonversi menjadi nilai tekanan dapat dilihat pada LAMPIRAN A persamaan A.2.



**Gambar 4.1** Pembacaan Vout Sensor I

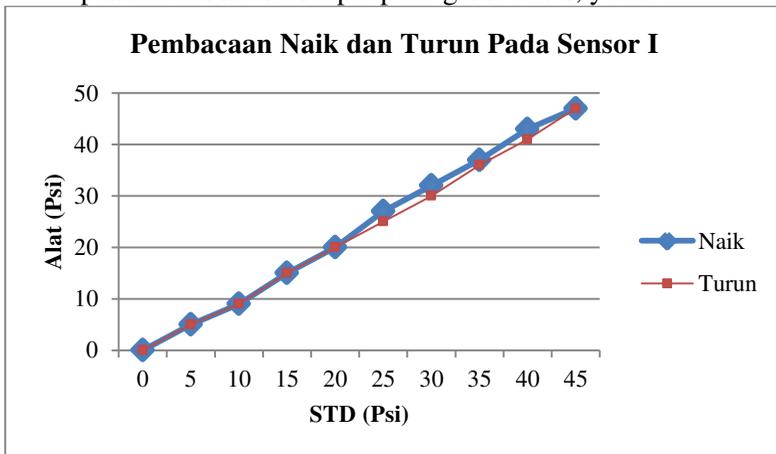
b. Data Spesifikasi Sensor I

Data spesifikasi dari sensor I dapat dilakukan dengan pengujian pembacaan tekanan pada rentang 0 Psi – 45 Psi. Pembacaan dilakukan dengan kenaikan 5 Psi. Pada setiap tekanan diambil sebanyak 10 kali data dengan pembacaan naik dan turun. Alat Standar yang digunakan berupa *pressure gauge*. Berikut ini adalah hasil dari pembacaan naik dan turun dari sensor I pada tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Pembacaan Naik dan Turun Sensor I

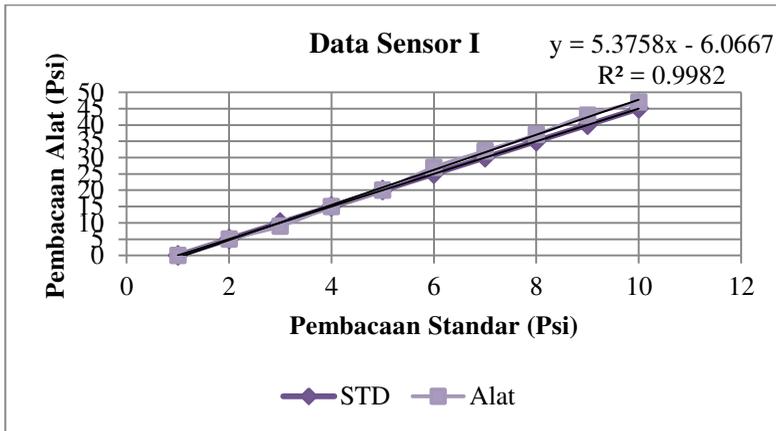
STD (Psi)	Pembacaan Alat (Naik) Psi					Pembacaan Alat (Turun) Psi					Rata2 naik	Rata2 turun
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
10	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
25	27	27	27	27	27	25	25	25	25	25	27	25
30	32	32	32	32	32	30	30	30	30	30	32	30
35	37	37	37	37	37	36	36	36	36	36	37	36
40	43	43	43	43	43	41	41	41	41	41	43	41
45	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47

Dari tabel 4.4 dapat dibuat grafik pembacaan turun dan pembacaan naik terdapat pada gambar 4.2, yaitu :



**Gambar 4.2** Pembacaan Naik dan Turun Sensor I

Apabila dari tabel 4.2 dibuat grafik untuk menentukan persamaan regresi, maka dapat dilihat pada gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Pembacaan Data Sensor I

Dari gambar 4.3 menunjukkan bahwa pembacaan dari alat yang dibandingkan dengan alat ukur yang standar, dimana persamaan yang muncul akan dipakai dalam pemrograman mikrokontroler ATmega8535. Persamaan dari data sensor I diketahui persamaan regresi, yaitu  $y = 5.3758x - 6.0667$  dimana  $y$  sebagai nilai dari pembacaan alat standar dan  $x$  merupakan nilai pembacaan alat. Persamaan matematis tersebut menghasilkan data pembacaan alat yang sudah mendekati dengan nilai pembacaan alat ukur standar. Namun setelah persamaan tersebut diubah ke dalam bentuk pemrograman *microcontroller* ATmega8535 ternyata menghasilkan nilai yang sama (sebelum diubah ke dalam bentuk persamaan). Untuk karakteristik statis dalam pengukuran ini dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut :

1. Range : Tekanan 0-90 Psi
2. Span : Tekanan 90 Psi
3. Resolusi : 0

4. Sensitivitas (K) : 6.672506889 mV/kPa  
(dapat dilihat pada persamaan 4.1)  
Atau jika sudah dikonversi menjadi nilai tekanan dalam bentuk Psi, maka :

$$K \text{ (sensitivitas)} = \frac{\Delta O}{\Delta I} = \frac{47 - 0}{45 - 0} = 1.044444$$

5. Non Linearitas

Dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$N(I) = O(I) - (KI + a)$$

Dimana :

O(I) = output pembacaan alat ke-i

K = sensitivitas

I = input pembacaan STD

a = zero bias

untuk menentukan nilai a menggunakan rumus sebagai berikut :

$$a \text{ (zero bias)} = O_{min} - KI_{min}$$

Maka menghasilkan nilai a (zero bias) sebesar 0, sehingga data nilai non linearitas dapat dilihat pada tabel 4.3. Untuk menghitung nilai non linearitas maksimum per-unit dapat dilihat pada :

$$\begin{aligned} \text{Non - Linearitas} &= \frac{\hat{N}}{O_{max} - O_{min}} \times 100\% \\ &= \frac{0.2224}{47 - 0} \times 100\% = 0.4732\% \end{aligned}$$

6. Akurasi

Berikut ini adalah perhitungan nilai dari akurasi, yaitu :

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right|$$

Dimana :

$Y_n$  = Pembacaan standar (I)

$X_n$  = Pembacaan alat (O)

Maka menghasilkan nilai akurasi sebesar 98.97%.

c. Kalibrasi Sensor I

Berikut ini adalah hasil pengukuran kalibrasi untuk mencari nilai ketidakpastian alat ukur yang dapat dilihat pada tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Data Kalibrasi Sensor I

No	STD (Psi)	Alat (Psi)	Koreksi (Yi)	Yreg	R	SSR	N
1	0	0	0	0.673	-0.673	0.45256	0
2	5	5	0	0.379	-0.379	0.14348	-0.2222
3	10	9	1	0.085	0.915	0.8375	-1.4444
4	15	15	0	-0.209	0.201	0.04372	-0.6666
5	20	20	0	-0.503	0.503	0.25304	-0.8888
6	25	26	-1	-0.797	-0.203	0.04122	-0.111
7	30	31	-1	-1.091	0.091	0.00826	-0.3332
8	35	36.5	-1.5	-1.385	-0.115	0.01326	-0.0554
9	40	42	-2	-1.679	-0.321	0.10318	0.2224
10	45	47	-2	-1.973	-0.027	0.00074	0.0002
Σ	225	231.5	-6.5				
Rata2	22.5	23.15	-0.65			1.897	

Berikut ini adalah perhitungan dari ketidakpastian alat ukur berdasarkan tabel 4.3, yaitu :

1. Nilai Ketidakpastian Tipe A :

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}}{n-1} \dots\dots\dots (4.2)$$

Dimana :

$y_i$  = nilai koreksi ke-i

$\bar{y}$  = rata-rata nilai koreksi

$\sigma$  = Standard Deviasi

Dari persamaan 4.2 dapat diperoleh nilai standard deviasi sebesar 1.001388. Maka nilai ketidakpastian tipe A biasanya ditandai dengan adanya data pengukuran, misalnya n kali pengukuran, maka dari data tersebut akan ditemukan nilai rata-ratanya maupun nilai standar deviasinya, yaitu :

$$U_{a1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (4.3)$$

Dimana :

$\sigma$  = Standard Deviasi

n = Banyaknya Data

Dari persamaan 4.3, dapat diperoleh nilai ketidakpastian alat ukur  $U_{a1}$  sebesar 0.32. Sedangkan nilai ketidakpastian regresi  $U_{a2}$  adalah

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} \dots \dots \dots (4.4)$$

Dimana :

SSR (*Sum Square Residual*) =  $\Sigma$ SR(*Square Residual*)

SR =  $R^2$  (*Residu*)

$Y_i$  = nilai koreksi ke-i

$$SSR = \sum R^2 \dots \dots \dots (4.5)$$

$$R = Y_i - Y_{reg} \dots \dots \dots (4.6)$$

$$Y_{reg} = a + bX_i \dots \dots \dots (4.7)$$

$$a = \bar{y} + (b\bar{x}) \dots \dots \dots (4.8)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \dots \dots \dots (4.9)$$

Sehingga nilai b dapat dihitung melalui persamaan 4.9 jika diketahui xi adalah nilai pembacaan standard dan yi adalah nilai koreksi, maka :

$$b = \frac{(10 \times (-267.5)) - (-1462.5)}{(10 \times 7125) - (225)^2} = -0.058787879$$

Maka, nilai a dapat diperoleh melalui persamaan 4.8.

$$a = -0.65 + (-0.058587879 \times 22.5)$$

$$a = 0.672727273$$

Jadi, persamaan regresi dapat diperoleh melalui persamaan 4.7, yaitu :

$$Y_{reg} = 0.672727273 + (-0.058787879X_i)$$

Yang menghasilkan nilai SSR melalui persamaan 4.5, yaitu sebesar 1.897. Maka nilai dari  $U_{a2}$  melalui persamaan 4.4.

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{1.897}{10-2}} = 0.49$$

2. Nilai Ketidakpastian Tipe B

Pada ketidakpastian tipe B ini terdapat 2 parameter ketidakpastian, yaitu ketidakpastian resolusi ( $U_{B1}$ ) dan ketidakpastian alat standar *pressure gauge* ( $U_{B2}$ ). Berikut ini adalah perhitungan ketidakpastian tipe B :

$$U_{b1} = \frac{\frac{1}{2}x \text{ Resolusi}}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (4.10)$$

Dimana resolusi dari alat ukur sebesar 0 maka dari persamaan 4.10 diperoleh nilai  $U_{B1}$  sebesar 0.

$$U_{b2} = \frac{a}{k} \dots\dots\dots (4.11)$$

dikarenakan pada alat standar terdapat sertifikat kalibrasinya maka nilai a (ketidakpastian sertifikat kalibrasi) dianggap mendekati 0, dan nilai faktor cakupan (k) dianggap 2,0. Sehingga hasil dari  $U_{B2} = 0$

3. Nilai Ketidakpastian Kombinasi  $U_c$

Selanjutnya dari semua sumber ketidakpastian tersebut harus dikombinasikan / digabungkan untuk memberikan gambaran menyeluruh ketidakpastian dari hasil kalibrasi tersebut melalui persamaan 4.12.

$$U_c = \sqrt{U_{A1}^2 + U_{A2}^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2} \dots\dots\dots (4.12)$$

Dari persamaan 4.12, dapat diperoleh ketidakpastian kombinasi sebesar 0.5821. Dengan kondisi V atau derajat kebebasan dari kedua tipe ketidakpastian, sebagai berikut :

$V = n-1$ , sehingga :

$V_1 = 9; V_2 = 9; V_3 = \infty; V_4 = 60$  (berdasarkan table T)

Dengan nilai  $V_{eff}$  (Nilai derajat kebebasan efektif) sebagai berikut :

$$V_{eff} = \frac{(U_c)^4}{\sum (U_i)^4 / V_i} \dots\dots\dots (4.13)$$

$$V_{eff} = \frac{(0.5821)^4}{(0.32)^4/9 + (0.49)^4/9 + (0)^4/\infty + (0,00)^4/60}$$

Maka nilai  $V_{eff}$  dari persamaan 4.13 diperoleh sebesar 15.59 = 16, dimana pada tabel *T-student* menghasilkan nilai k (faktor cakupan) sebesar 2.12.

#### 4. Ketidakpastian Diperluas

Dalam laporan ketidakpastian hasil pengukuran/ kalibrasi yang dilaporkan adalah ketidakpastian yang sudah dalam perluasan (*expanded*), sehingga hasil tersebut sangat logis dalam kenyataan, selain itu dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95%, seperti lazimnya dipakai dalam pelaporan saat ini, lain halnya jika ada pengecualian dengan mengambil tingkat kepercayaan tertentu. Rumus ketidakpastian diperluas (*expanded uncertainty*) adalah pada persamaan 4.14.

$$U_{exp} = k \times U_c \dots\dots\dots (4.14)$$

Dimana :

k = faktor cakupan

$U_c$  = Ketidakpastian Kombinasi

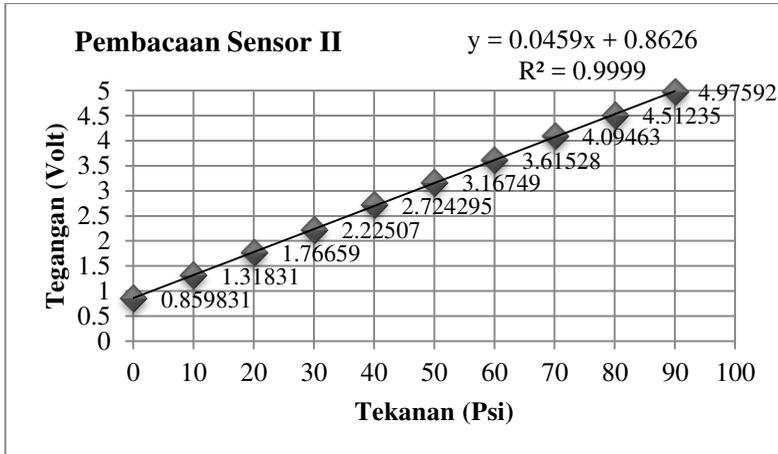
$$U_{exp} = 2.12 \times 0.5821 = 1.2341$$

Berdasarkan perhitungan ketidakpastian diperluas diatas, menghasilkan nilai ketidakpastian alat sebesar 1.2341 dengan tingkat kepercayaan 95% dari tabel *T-Student*. Dari nilai ketidakpastian diperluas tersebut masih layak untuk digunakan karena tidak melebihi nilai 5% dari nilai rata-rata pembacaan alat dan tidak melebihi nilai  $3\sigma$ .

#### 4.1.2 Pengujian Sensor II

##### a. Grafik Pembacaan Tegangan Keluaran dari Sensor II

Adapun grafik hasil dari pembacaan sensor II dilihat dari nilai tegangan keluaran terhadap tekanan dapat dilihat pada gambar 4.4. Grafik tersebut menunjukkan bahwa ketika sensor diberikan tekanan dengan range sebesar 0-90 Psi maka Vout akan naik seiring dengan maksimum tekanan yang diberikan (hampir sama dengan sensor I). Ketika Vout dikonversi menjadi nilai tekanan dapat dilihat pada LAMPIRAN A persamaan A.3.



**Gambar 4.4** Pembacaan Vout Sensor II

##### b. Data Spesifikasi Sensor II

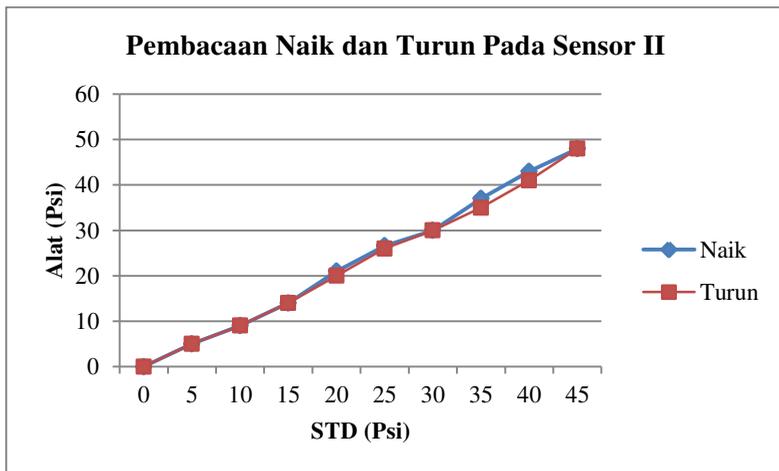
Data spesifikasi dari sensor II dapat dilakukan dengan pengujian pembacaan tekanan pada rentang 0 Psi – 45 Psi.

Pembacaan dilakukan dengan kenaikan 5 Psi. Pada setiap tekanan diambil sebanyak 10 kali data dengan pembacaan naik dan turun. Alat Standar yang digunakan berupa *pressure gauge*. Berikut ini adalah hasil dari pembacaan naik dan turun dari sensor I pada tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Pembacaan Naik dan Turun Sensor II

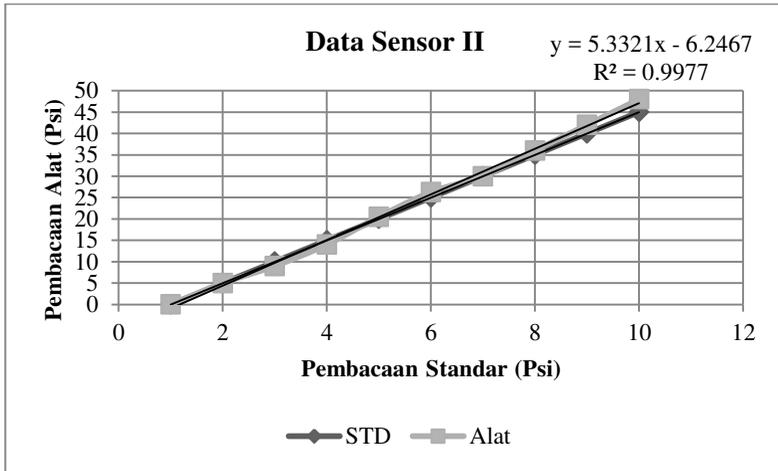
STD (Psi)	Pembacaan Alat (Naik) Psi					Pembacaan Alat (Turun) Psi					Rata2 naik	Rata2 turun
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
10	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
15	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
20	21	21	21	21	21	20	20	20	20	20	21	20
25	26	26	27	27	27	26	26	26	26	26	26.6	26
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
35	37	37	37	37	37	35	35	35	35	35	37	35
40	43	43	43	43	43	41	41	41	41	41	43	41
45	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48

Dari tabel 4.4 dapat dibuat grafik pembacaan turun dan pembacaan naik yang terdapat pada gambar 4.5, yaitu :



**Gambar 4.5** Pembacaan Naik dan Turun Sensor II

Apabila dari tabel 4.4 dibuat grafik untuk menentukan persamaan regresi, maka dapat dilihat pada gambar 4.6.



**Gambar 4.6** Pembacaan Data Sensor II

Dari gambar 4.6 menunjukkan bahwa pembacaan dari alat yang dibandingkan dengan alat ukur yang standar, dimana persamaan yang muncul akan dipakai dalam pemrograman mikrokontroler ATmega8535. Persamaan dari data sensor I diketahui persamaan regresi, yaitu  $y = 5.3321x - 6.2467$  dimana  $y$  sebagai nilai dari pembacaan alat standar dan  $x$  merupakan nilai pembacaan alat. Persamaan matematis tersebut menghasilkan data pembacaan alat yang sudah mendekati dengan nilai pembacaan alat ukur standar. Namun setelah persamaan tersebut diubah ke dalam bentuk pemrograman *microcontroller* ATmega8535 ternyata menghasilkan nilai yang sama (sebelum diubah ke dalam bentuk persamaan). Untuk karakteristik statis dalam pengukuran ini dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut :

1. Range : Tekanan 0-90 Psi
2. Span : Tekanan 90 Psi

3. Resolusi : 0  
 4. Sensitivitas (K) : 6.6274876 mV/kPa  
 (dapat dilihat pada persamaan 4.2)  
 Atau jika sudah dikonversi menjadi nilai tekanan dalam bentuk Psi, maka :

$$K \text{ (sensitivitas)} = \frac{\Delta O}{\Delta I} = \frac{48 - 0}{45 - 0} = 1.06667$$

5. Non Linearitas  
 Dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$N(I) = O(I) - (KI + a)$$

Dimana :

O(I) = output pembacaan alat ke-i

K = sensitivitas

I = input pembacaan STD

a = zero bias

untuk menentukan nilai a menggunakan rumus sebagai berikut :

$$a \text{ (zero bias)} = O_{min} - KI_{min}$$

Maka menghasilkan nilai a (zero bias) sebesar 0, sehingga data nilai non linearitas dapat dilihat pada tabel 4.5. Untuk menghitung nilai non linearitas maksimum per-unit dapat dilihat pada :

$$\begin{aligned} \text{Non - Linearitas} &= \frac{\hat{N}}{O_{max} - O_{min}} \times 100\% \\ &= \frac{0}{48 - 0} \times 100\% = 0\% \end{aligned}$$

6. Akurasi  
 Berikut ini adalah perhitungan nilai dari akurasi, yaitu :

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right|$$

Dimana :

$Y_n$  = Pembacaan standar (I)

$X_n$  = Pembacaan alat (O)

Maka menghasilkan nilai akurasi sebesar 98.97%.

c. Kalibrasi Sensor II

Berikut ini adalah hasil pengukuran kalibrasi untuk mencari nilai ketidakpastian alat ukur yang dapat dilihat pada tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Data Kalibrasi Sensor II

No	STD (Psi)	Alat (Psi)	Koreksi (Yi)	Yreg	R	SSR	N
1	0	0	0	0.915	-0.91	0.8364	0
2	5	5	0	0.582	-0.58	0.3392	-0.333
3	10	9	1	0.25	0.75	0.562	-1.667
4	15	14	1	-0.08	1.082	1.1703	-2
5	20	20.5	-0.5	-0.41	-0.09	0.0074	-0.833
6	25	26.3	-1.3	-0.75	-0.55	0.3068	-0.367
7	30	30	0	-1.08	1.078	1.1625	-2
8	35	36	-1	-1.41	0.41	0.1683	-1.333
9	40	42	-2	-1.74	-0.26	0.0663	-0.667
10	45	48	-3	-2.07	-0.93	0.8565	-1E-04
$\Sigma$	225		-5.8				
<b>Rata-rata</b>	22.5	23.08	-0.58			8161.9	

Berikut ini adalah perhitungan dari ketidakpastian alat ukur berdasarkan tabel 4.5, yaitu :

1. Nilai Ketidakpastian Tipe A :

$$\sigma = \frac{\sqrt{\Sigma(y_i - \bar{y})^2}}{n-1} \dots\dots\dots (4.15)$$

Dimana :

$y_i$  = nilai koreksi ke-i

$\bar{y}$  = rata-rata nilai koreksi

$\sigma$  = Standard Deviasi

Dari persamaan 4.15 dapat diperoleh nilai standard deviasi sebesar 1.27262. Maka nilai ketidakpastian tipe A biasanya ditandai dengan adanya data pengukuran, misalnya n kali pengukuran, maka selanjutnya dari data tersebut akan ditemukan nilai rata-ratanya maupun nilai standar deviasinya, yaitu :

$$U_{a1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \dots \dots \dots (4.16)$$

Dimana :

$\sigma$  = Standard Deviasi

n = Banyaknya Data

Dari persamaan 4.16, dapat diperoleh nilai ketidakpastian alat ukur  $U_{a1}$  sebesar 0.4024. Sedangkan nilai ketidakpastian regresi  $U_{a2}$  adalah

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} \dots \dots \dots (4.17)$$

Dimana :

SSR (*Sum Square Residual*) =  $\Sigma SR$  (*Square Residual*)

SR =  $R^2$  (*Residu*)

$Y_i$  = nilai koreksi ke-i

$$SSR = \sum R^2 \dots \dots \dots (4.18)$$

$$R = Y_i - Y_{reg} \dots \dots \dots (4.19)$$

$$Y_{reg} = a + bX_i \dots \dots \dots (4.20)$$

$$a = \bar{y} + (b\bar{x}) \dots \dots \dots (4.21)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \dots \dots \dots (4.22)$$

Sehingga nilai b dapat dihitung melalui persamaan 4.22 jika diketahui  $x_i$  adalah nilai pembacaan standard dan  $y_i$  adalah nilai koreksi, maka :

$$b = \frac{(10 \times (-267.5)) - (-1305)}{(10 \times 7125) - (225)^2} = -0.0664$$

Sehingga nilai a dapat diperoleh melalui persamaan 4.21.

$$a = -0.58 + (-0.0664 \times 22.5)$$

$$a = 0.91455$$

Jadi, persamaan regresi dapat diperoleh melalui persamaan 4.20, yaitu :

$$Y_{\text{reg}} = 0.91455 + (-0.0664X_i)$$

Yang menghasilkan nilai SSR melalui persamaan 4.18, yaitu sebesar 5.47588. Maka nilai dari  $U_{a2}$  melalui persamaan 4.17.

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{5.47588}{10-2}} = 0.8273$$

## 2. Nilai Ketidakpastian Tipe B

Pada ketidakpastian tipe B ini terdapat 2 parameter ketidakpastian, yaitu ketidakpastian resolusi ( $U_{B1}$ ) dan ketidakpastian alat standar *pressure gauge* ( $U_{B2}$ ). Berikut ini adalah perhitungan ketidakpastian tipe B :

$$U_{b1} = \frac{\frac{1}{2} \times \text{Resolusi}}{\sqrt{3}} \dots \dots \dots (4.23)$$

Dimana resolusi dari alat ukur sebesar 0 maka dari persamaan 4.23 diperoleh nilai  $U_{B1}$  sebesar 0.

$$U_{b2} = \frac{a}{k} \dots \dots \dots (4.24)$$

dikarenakan pada alat standar terdapat sertifikat kalibrasinya maka nilai a (ketidakpastian sertifikat kalibrasi) dianggap mendekati 0, dan nilai faktor cakupan (k) dianggap 2,0. Sehingga hasil dari  $U_{B2} = 0$

### 3. Nilai Ketidakpastian Kombinasi $U_c$

Selanjutnya dari semua sumber ketidakpastian tersebut harus dikombinasikan / digabungkan untuk memberikan gambaran menyeluruh ketidakpastian dari hasil kalibrasi tersebut melalui persamaan 4.25.

$$U_c = \sqrt{U_{A1}^2 + U_{A2}^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2} \dots\dots\dots (4.25)$$

Dari persamaan 4.25, dapat diperoleh ketidakpastian kombinasi sebesar 0,92081. Dengan kondisi V atau derajat kebebasan dari kedua tipe ketidakpastian, sebagai berikut :

$V = n-1$ , sehingga :

$V_1 = 9$ ;  $V_2 = 9$ ;  $V_3 = \infty$ ;  $V_4 = 60$  (berdasarkan table T)

Dengan nilai  $V_{eff}$  (Nilai derajat kebebasan efektif) sebagai berikut :

$$V_{eff} = \frac{(U_c)^4}{\sum(U_i)^4/V_i} \dots\dots\dots (4.26)$$

$$V_{eff} = \frac{(0.92081)^4}{(0.4024)^4/9 + (0.8273)^4/9 + (0)^4/\infty + (0,00)^4/60}$$

Maka nilai  $V_{eff}$  dari persamaan 4.26 diperoleh sebesar 13,0871 sehingga jika dibulatkan menjadi 13, dimana pada table *T-student* menghasilkan nilai k (faktor cakupan) sebesar 2.16.

### 4. Ketidakpastian Diperluas

Dalam laporan ketidakpastian hasil pengukuran/ kalibrasi yang dilaporkan adalah ketidakpastian yang sudah dalam perluasan (*expanded*), sehingga hasil tersebut sangat logis dalam kenyataan, selain itu dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95%, seperti lazimnya dipakai dalam pelaporan saat ini, lain halnya jika ada pengecualian dengan mengambil tingkat kepercayaan tertentu. Rumus ketidakpastian diperluas (*expanded uncertainty*) adalah pada persamaan 4.27.

$$U_{exp} = k \times U_c \dots\dots\dots (4.27)$$

Dimana :

k = faktor cakupan

$U_c$  = Ketidakpastian Kombinasi

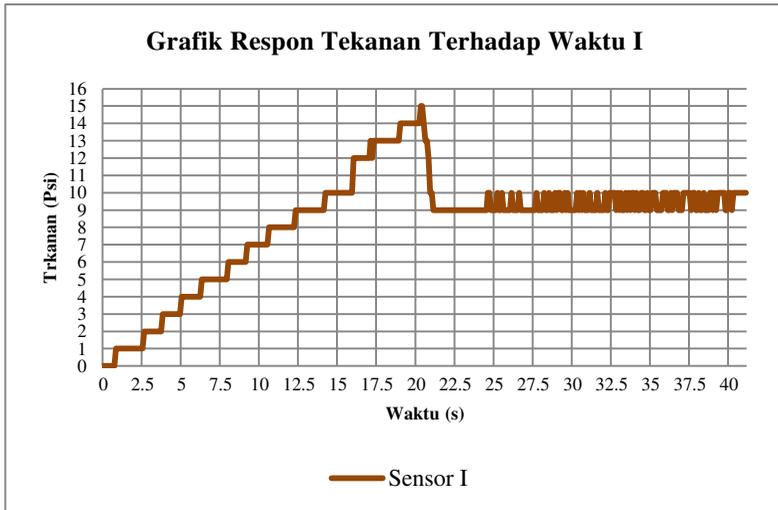
$$U_{exp} = 2.16 \times 0.92871 = 1.98896$$

Berdasarkan perhitungan ketidakpastian diperluas diatas, menghasilkan nilai ketidakpastian alat sebesar 1.98896 dengan tingkat kepercayaan 95% dari tabel *T-Student*. Dari nilai ketidakpastian diperluas tersebut masih layak untuk digunakan karena tidak melebihi nilai 5% dari nilai rata-rata pembacaan alat dan tidak melebihi nilai  $3\sigma$ .

#### 4.2 Pengujian Respon Tekanan Terhadap Waktu

Berikut ini adalah grafik respon tekanan terhadap waktu, yaitu :

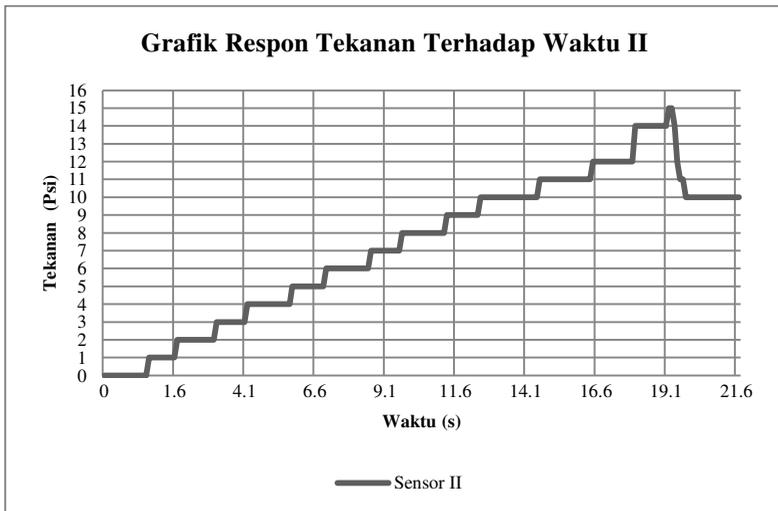
- a. Pada tabung penyimpanan I dengan menggunakan dua buah *solenoid valve* dan sensor I (pengambilan data pada LAMPIRAN Tabel B-1), yaitu :



Gambar 4.7 Grafik Respon Tekanan Terhadap Waktu I

Dari gambar 4.7, gas yang masuk pada tabung penyimpanan I melalui aktuator *solenoid valve* 1 pada keadaan tekanan 0 psi, untuk mencapai set point 15 Psi membutuhkan waktu sebesar 20.4 detik dan untuk sampai gas terbuang membutuhkan waktu sebesar 41.1 detik. Pada saat proses pembuangan terjadi error sebesar 1 Psi dari 10 Psi ke 9 Psi, karena dijaga kondisi tidak boleh melebihi batas 10 Psi kondisi tersebut dapat berjalan normal sesuai dengan keinginan.

- b. Pada tabung penyimpanan II dengan menggunakan dua buah *solenoid valve* dan sensor II (pengambilan data pada LAMPIRAN Tabel B-1), yaitu :



**Gambar 4.8** Grafik Respon Tekanan Terhadap Waktu II

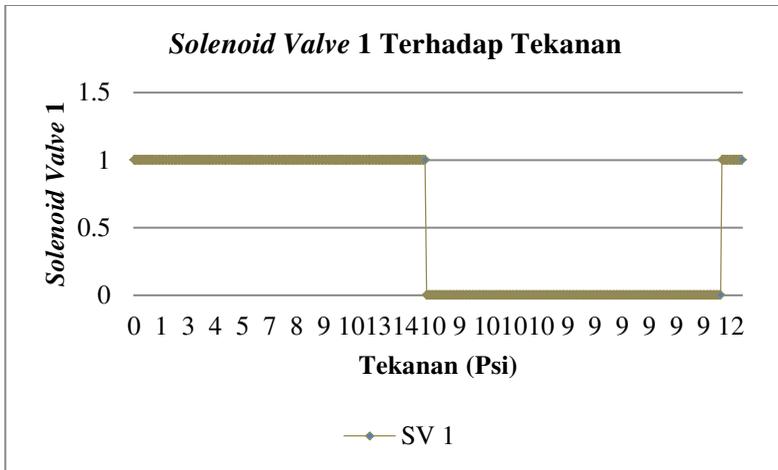
Dari gambar 4.8, gas yang masuk pada tabung penyimpanan II melalui aktuator *solenoid valve* 3 pada keadaan tekanan 0 psi, untuk mencapai set point 15 Psi membutuhkan waktu sebesar 19.3 detik dan untuk sampai gas terbuang membutuhkan waktu sebesar 21.7 detik. Pada saat proses pembuangan tidak terjadi error.

### 4.3 Pengujian Aktuator

Dari sistem pengendalian ini terdapat empat buah aktuator, dari setiap aktuator memiliki kondisi yang berbeda-beda (pengambilan data aktuator pada LAMPIRAN Tabel B-1), yaitu :

a. *Solenoid Valve 1*

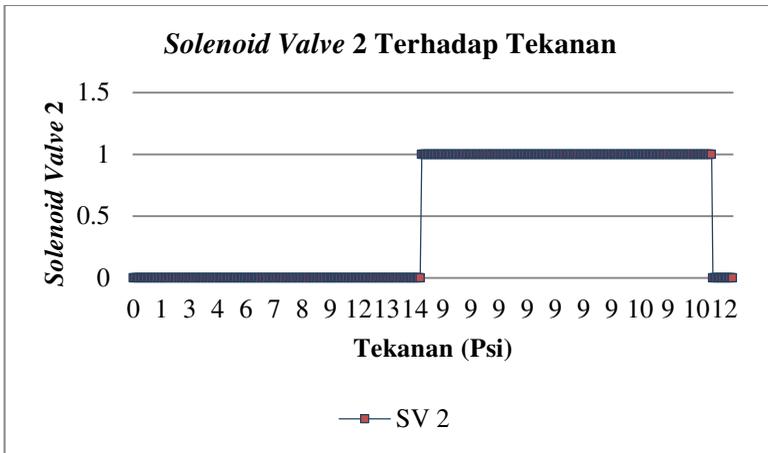
Dari kondisi ini *solenoid valve 1* akan aktif apabila tekanan kurang dari 10 Psi dan apabila lebih dari 10 Psi maka *solenoid valve 1* akan menutup. Berikut ini adalah grafik respon dari *solenoid valve 1* terhadap tekanan yang dapat dilihat pada gambar 4.9.



**Gambar 4.9** Respon *Solenoid Valve 1* Terhadap Tekanan

b. *Solenoid Valve 2*

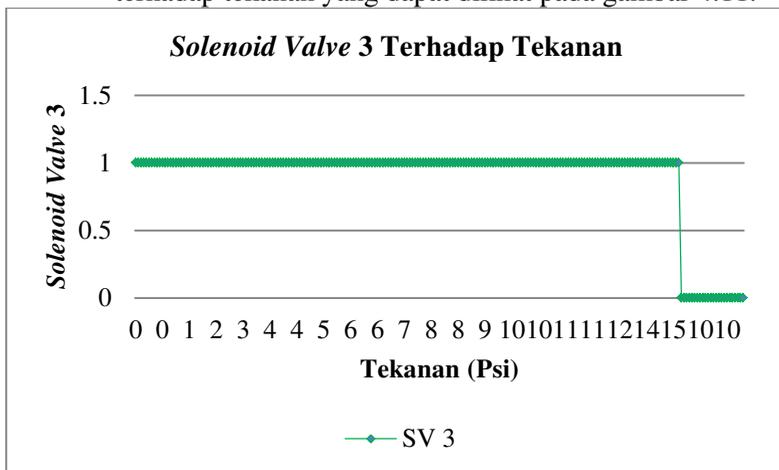
Dari kondisi ini *solenoid valve 2* akan aktif apabila tekanan sudah mencapai *set point* 15 Psi dengan kondisi gas terbuang sampai tekanan mencapai 10 Psi dan apabila sudah mencapai 10 Psi maka *solenoid valve 2* akan menutup. Berikut ini adalah grafik respon dari *solenoid valve 2* terhadap tekanan yang dapat dilihat pada gambar 4.10.



**Gambar 4.10** Respon *Solenoid Valve 2* Terhadap Tekanan

c. *Solenoid Valve 3*

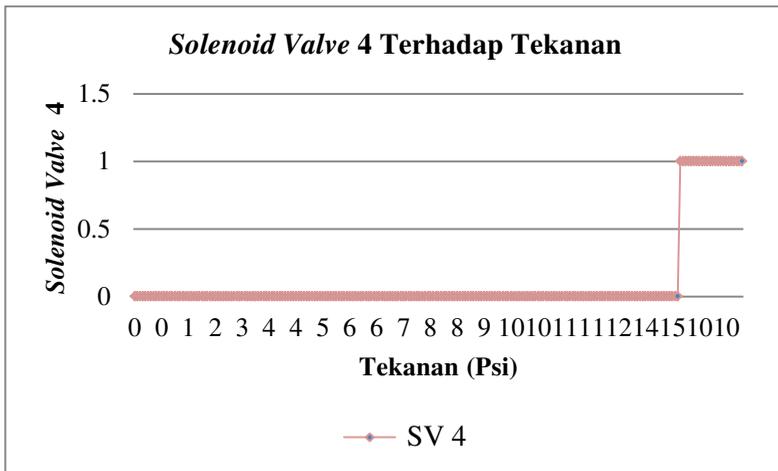
Dari kondisi ini *solenoid valve 3* akan aktif apabila tekanan kurang dari 10 Psi dan apabila mencapai *set point* 15 Psi maka *solenoid valve 3* akan menutup. Berikut ini adalah grafik respon dari *solenoid valve 3* terhadap tekanan yang dapat dilihat pada gambar 4.11.



**Gambar 4.11** Respon *Solenoid Valve 3* Terhadap Tekanan

d. *Solenoid Valve 4*

Dari kondisi ini *solenoid valve 4* akan aktif apabila tekanan sudah mencapai *set point* 15 Psi dengan kondisi gas terbuang sampai tekanan mencapai 10 Psi dan apabila sudah mencapai 10 Psi maka *solenoid valve 4* akan menutup. Berikut ini adalah grafik respon dari *solenoid valve 4* terhadap tekanan yang dapat dilihat pada gambar 4.12.

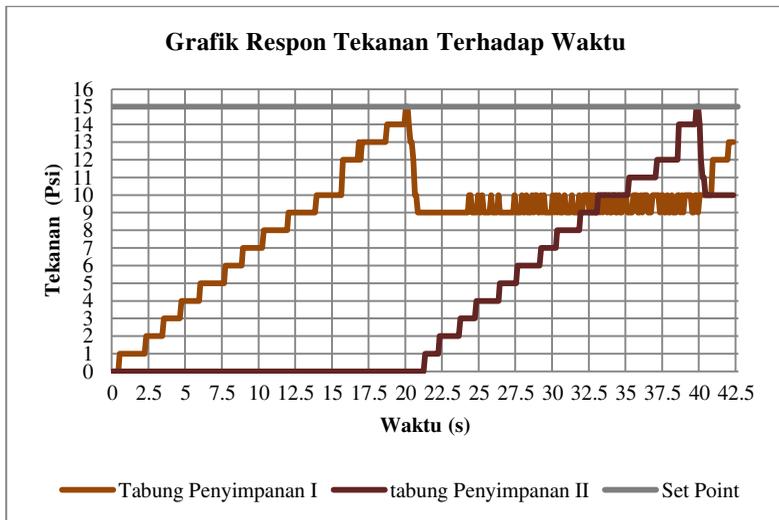


**Gambar 4.12** Respon *Solenoid Valve 4* Terhadap Tekanan

#### 4.4 Respon Kontrol Sistem Tekanan

Grafik respon kontrol sistem tekanan pada gambar 4.13 yang terdapat tiap tabung penyimpanan yang bekerja secara *redundant* membutuhkan waktu sebesar 42.6 detik setelah terjadi pergantian (*looping*) sekali serta pada saat kondisi tabung penyimpanan I mencapai 13 Psi. untuk mencapai set point sampai tabung penyimpanan II membutuhkan waktu sebesar 40.2 detik. Setiap perpindahan dari 1 Psi menuju 2 Psi membutuhkan waktu sebesar 2.9 detik. Pada saat gas masuk ke tabung penyimpanan I melalui aktuator *solenoid valve 1* pada keadaan tekanan 0 psi, untuk mencapai set point 15 Psi membutuhkan waktu sebesar 20.4 detik

dan untuk sampai gas terbangun membutuhkan waktu sebesar 41.1 detik. Pada saat proses pembuangan terjadi error sebesar 1 Psi dari 10 Psi ke 9 Psi, karena dijaga kondisi tidak boleh melebihi batas 10 Psi kondisi tersebut dapat berjalan normal sesuai dengan keinginan. Pada saat gas yang masuk ke tabung penyimpanan II melalui aktuator *solenoid valve* 3 pada keadaan tekanan 0 psi, untuk mencapai set point 15 Psi membutuhkan waktu sebesar 19.3 detik dan untuk sampai gas terbangun membutuhkan waktu sebesar 21.7 detik. Pada saat proses pembuangan tidak terjadi error (untuk pengambilan data terdapat pada lampiran Tabel B-1).



**Gambar 4.13** Grafik Respon Kontrol Tekanan Terhadap Waktu

**(Halaman Ini Memang Dikosongkan)**

**LAMPIRAN A  
(KONVERSI PEMBACAAN SENSOR)**

**Tabel A.1 Pembacaan Vout Sensor I**

<i>Range (Psi)</i>	<b>Sensor I (Vout)</b>		<b>Rata- rata (Vout)</b>	<b>Digital</b>
0	0.845	0.845	0.845	43
10	1.293	1.303	1.298	67
20	1.731	1.762	1.746	89
30	2.182	2.24	2.211	113
40	2.699	2.689	2.694	138
50	3.147	3.127	3.137	161
60	3.626	3.636	3.631	186
70	4.084	4.095	4.09	209
80	4.553	4.543	4.548	233
90	4.991	4.981	4.986	255

Dari tabel A.1 dapat dihitung nilai digital dengan cara menggunakan rumus pada persamaan A.1.

$$X = \frac{Y \cdot X_{max}}{Y_{max}} \dots\dots\dots (A.1)$$

Dimana :

- X = Nilai digital
- Y = Nilai Vout Sensor
- X<sub>max</sub> = Nilai biner ADC 8 bit
- Y<sub>max</sub> = Tegangan dari sensor

Perhitungan Interpolasi

Tekanan (Psi)	Nilai Terbaca (biner)
0	43
X	Y
101,5	256



$$\frac{101,5 - X}{101,5 - 0} = \frac{256 - Y}{256 - 43}$$

$$(101,5 - X) (213) = (256 - Y)(101,5)$$

$$21619,5 - 213X = 25984 - 101,5Y$$

**X= 0.476526(Y-43)..... (A.2)**

Dari persamaan A.2 dapat dipakai sebagai konversi sensor I.

**Tabel A.2 Pembacaan Vout Sensor II**

<b>Range (Psi)</b>	<b>Sensor I (Vout)</b>		<b>Rata-rata (Vout)</b>	<b>Digital</b>
0	0.857	0.857	0.857	43.9
10	1.252	1.334	1.293	66.2
20	1.741	1.772	1.756	89.9
30	2.21	2.261	2.235	114
40	2.709	2.699	2.704	138
50	3.147	3.157	3.152	161
60	3.63	3.646	3.638	186
70	4.074	4.064	4.069	208
80	4.563	4.543	4.553	233
90	4.981	4.961	4.971	255

Perhitungan Interpolasi

<b>Tekanan (Psi)</b>	<b>Nilai Terbaca (biner)</b>
0	44
X	Y
101,5	256

$$\frac{101,5 - X}{101,5 - 0} = \frac{256 - Y}{256 - 44}$$

$$(101,5 - X) (212) = (256 - Y)(101,5)$$

$$21518 - 212X = 25984 - 101,5Y$$

**X= 0.478877(Y-44)..... (A.3)**

Dari persamaan A.3 dapat dipakai sebagai konversi sensor I.



**LAMPIRAN B**  
**(PENGAMBILAN DATA RESPON SISTEM DAN AKTUATOR)**

**Tabel B.1** Pengambilan data Respon Sistem dan Aktuator

No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2	No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2	No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2
1	0	0	1	0	17	1	1.6	1	0	33	2	3.2	1	0
2	0	0.1	1	0	18	1	1.7	1	0	34	2	3.3	1	0
3	0	0.2	1	0	19	1	1.8	1	0	35	2	3.4	1	0
4	0	0.3	1	0	20	1	1.9	1	0	36	2	3.5	1	0
5	0	0.4	1	0	21	1	2	1	0	37	2	3.6	1	0
6	0	0.5	1	0	22	1	2.1	1	0	38	2	3.7	1	0
7	0	0.6	1	0	23	1	2.2	1	0	39	3	3.8	1	0
8	0	0.7	1	0	24	1	2.3	1	0	40	3	3.9	1	0
9	1	0.8	1	0	25	1	2.4	1	0	41	3	4	1	0
10	1	0.9	1	0	26	1	2.5	1	0	42	3	4.1	1	0
11	1	1	1	0	27	2	2.6	1	0	43	3	4.2	1	0
12	1	1.1	1	0	28	2	2.7	1	0	44	3	4.3	1	0
13	1	1.2	1	0	29	2	2.8	1	0	45	3	4.4	1	0
14	1	1.3	1	0	30	2	2.9	1	0	46	3	4.5	1	0
15	1	1.4	1	0	31	2	3	1	0	47	3	4.6	1	0
16	1	1.5	1	0	32	2	3.1	1	0	48	3	4.7	1	0



**Tabel B.1 Lanjutan**

No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2	No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2	No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2
49	3	4.8	1	0	68	5	6.7	1	0	87	6	8.6	1	0
50	3	4.9	1	0	69	5	6.8	1	0	88	6	8.7	1	0
51	4	5	1	0	70	5	6.9	1	0	89	6	8.8	1	0
52	4	5.1	1	0	71	5	7	1	0	90	6	8.9	1	0
53	4	5.2	1	0	72	5	7.1	1	0	91	6	9	1	0
54	4	5.3	1	0	73	5	7.2	1	0	92	6	9.1	1	0
55	4	5.4	1	0	74	5	7.3	1	0	93	7	9.2	1	0
56	4	5.5	1	0	75	5	7.4	1	0	94	7	9.3	1	0
57	4	5.6	1	0	76	5	7.5	1	0	95	7	9.4	1	0
58	4	5.7	1	0	77	5	7.6	1	0	96	7	9.5	1	0
59	4	5.8	1	0	78	5	7.7	1	0	97	7	9.6	1	0
60	4	5.9	1	0	79	5	7.8	1	0	98	7	9.7	1	0
61	4	6	1	0	80	5	7.9	1	0	99	7	9.8	1	0
62	4	6.1	1	0	81	6	8	1	0	87	6	8.6	1	0
63	4	6.2	1	0	82	6	8.1	1	0	88	6	8.7	1	0
64	5	6.3	1	0	83	6	8.2	1	0	89	6	8.8	1	0
65	5	6.4	1	0	84	6	8.3	1	0	90	6	8.9	1	0
66	5	6.5	1	0	85	6	8.4	1	0	91	6	9	1	0
67	5	6.6	1	0	86	6	8.5	1	0	92	6	9.1	1	0



**Tabel B.1 Lanjutan**

No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2	No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2	No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2
93	7	9.2	1	0	112	8	11.1	1	0	131	9	13	1	0
94	7	9.3	1	0	113	8	11.2	1	0	132	9	13.1	1	0
95	7	9.4	1	0	114	8	11.3	1	0	133	9	13.2	1	0
96	7	9.5	1	0	115	8	11.4	1	0	134	9	13.3	1	0
97	7	9.6	1	0	116	8	11.5	1	0	135	9	13.4	1	0
98	7	9.7	1	0	117	8	11.6	1	0	136	9	13.5	1	0
99	7	9.8	1	0	118	8	11.7	1	0	137	9	13.6	1	0
100	7	9.9	1	0	119	8	11.8	1	0	138	9	13.7	1	0
101	7	10	1	0	120	8	11.9	1	0	139	9	13.8	1	0
102	7	10.1	1	0	121	8	12	1	0	140	9	13.9	1	0
103	7	10.2	1	0	122	8	12.1	1	0	141	9	14	1	0
104	7	10.3	1	0	123	8	12.2	1	0	142	9	14.1	1	0
105	7	10.4	1	0	124	9	12.3	1	0	143	10	14.2	1	0
106	7	10.5	1	0	125	9	12.4	1	0	144	10	14.3	1	0
107	8	10.6	1	0	126	9	12.5	1	0	145	10	14.4	1	0
108	8	10.7	1	0	127	9	12.6	1	0	146	10	14.5	1	0
109	8	10.8	1	0	128	9	12.7	1	0	147	10	14.6	1	0
110	8	10.9	1	0	129	9	12.8	1	0	148	10	14.7	1	0
111	8	11	1	0	130	9	12.9	1	0	149	10	14.8	1	0



**Tabel B.1 Lanjutan**

No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2	No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2	No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2
150	10	14.9	1	0	169	12	16.8	1	0	188	13	18.7	1	0
151	10	15	1	0	170	12	16.9	1	0	189	13	18.8	1	0
152	10	15.1	1	0	171	12	17	1	0	190	13	18.9	1	0
153	10	15.2	1	0	172	13	17.1	1	0	191	14	19	1	0
154	10	15.3	1	0	173	12	17.2	1	0	192	14	19.1	1	0
155	10	15.4	1	0	174	13	17.3	1	0	193	14	19.2	1	0
156	10	15.5	1	0	175	13	17.4	1	0	194	14	19.3	1	0
157	10	15.6	1	0	176	13	17.5	1	0	195	14	19.4	1	0
158	10	15.7	1	0	177	13	17.6	1	0	196	14	19.5	1	0
159	10	15.8	1	0	178	13	17.7	1	0	197	14	19.6	1	0
160	10	15.9	1	0	179	13	17.8	1	0	198	14	19.7	1	0
161	12	16	1	0	180	13	17.9	1	0	199	14	19.8	1	0
162	12	16.1	1	0	181	13	18	1	0	200	14	19.9	1	0
163	12	16.2	1	0	182	13	18.1	1	0	201	14	20	1	0
164	12	16.3	1	0	183	13	18.2	1	0	202	14	20.1	1	0
165	12	16.4	1	0	184	13	18.3	1	0	203	14	20.2	1	0
166	12	16.5	1	0	185	13	18.4	1	0	204	15	20.3	1	0
167	12	16.6	1	0	186	13	18.5	1	0	205	15	20.4	1	0
168	12	16.7	1	0	187	13	18.6	1	0	206	14	20.5	0	1



**Tabel B.1 Lanjutan**

No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2	No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2	No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2
207	13	20.6	0	1	226	9	22.5	0	1	245	9	24.4	0	1
208	13	20.7	0	1	227	9	22.6	0	1	246	9	24.5	0	1
209	12	20.8	0	1	228	9	22.7	0	1	247	10	24.6	0	1
210	10	20.9	0	1	229	9	22.8	0	1	248	10	24.7	0	1
211	10	21	0	1	230	9	22.9	0	1	249	9	24.8	0	1
212	9	21.1	0	1	231	9	23	0	1	250	9	24.9	0	1
213	9	21.2	0	1	232	9	23.1	0	1	251	9	25	0	1
214	9	21.3	0	1	233	9	23.2	0	1	252	9	25.1	0	1
215	9	21.4	0	1	234	9	23.3	0	1	253	10	25.2	0	1
216	9	21.5	0	1	235	9	23.4	0	1	254	9	25.3	0	1
217	9	21.6	0	1	236	9	23.5	0	1	255	9	25.4	0	1
218	9	21.7	0	1	237	9	23.6	0	1	256	10	25.5	0	1
219	9	21.8	0	1	238	9	23.7	0	1	257	9	25.6	0	1
220	9	21.9	0	1	239	9	23.8	0	1	258	9	25.7	0	1
221	9	22	0	1	240	9	23.9	0	1	259	9	25.8	0	1
222	9	22.1	0	1	241	9	24	0	1	260	9	25.9	0	1
223	9	22.2	0	1	242	9	24.1	0	1	261	9	26	0	1
224	9	22.3	0	1	243	9	24.2	0	1	262	10	26.1	0	1
225	9	22.4	0	1	244	9	24.3	0	1	263	9	26.2	0	1



**Tabel B.1 Lanjutan**

No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2	No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2	No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2
207	13	20.6	0	1	226	9	22.5	0	1	264	9	26.3	0	1
208	13	20.7	0	1	227	9	22.6	0	1	265	9	26.4	0	1
209	12	20.8	0	1	228	9	22.7	0	1	266	9	26.5	0	1
210	10	20.9	0	1	229	9	22.8	0	1	267	10	26.6	0	1
211	10	21	0	1	230	9	22.9	0	1	268	9	26.7	0	1
212	9	21.1	0	1	231	9	23	0	1	269	9	26.8	0	1
213	9	21.2	0	1	232	9	23.1	0	1	270	9	26.9	0	1
214	9	21.3	0	1	233	9	23.2	0	1	271	9	27	0	1
215	9	21.4	0	1	234	9	23.3	0	1	272	9	27.1	0	1
216	9	21.5	0	1	235	9	23.4	0	1	273	9	27.2	0	1
217	9	21.6	0	1	236	9	23.5	0	1	274	9	27.3	0	1
218	9	21.7	0	1	237	9	23.6	0	1	275	9	27.4	0	1
219	9	21.8	0	1	238	9	23.7	0	1	276	9	27.5	0	1
220	9	21.9	0	1	239	9	23.8	0	1	277	9	27.6	0	1
221	9	22	0	1	240	9	23.9	0	1	278	10	27.7	0	1
222	9	22.1	0	1	241	9	24	0	1	279	9	27.8	0	1
223	9	22.2	0	1	242	9	24.1	0	1	280	9	27.9	0	1
224	9	22.3	0	1	243	9	24.2	0	1	281	9	28	0	1
225	9	22.4	0	1	244	9	24.3	0	1	282	9	28.1	0	1



**Tabel B.1 Lanjutan**

No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2	No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2	No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2
283	10	28.2	0	1	302	9	30.1	0	1	321	9	32	0	1
284	9	28.3	0	1	303	9	30.2	0	1	322	10	32.1	0	1
285	9	28.4	0	1	304	10	30.3	0	1	323	9	32.2	0	1
286	10	28.5	0	1	305	9	30.4	0	1	324	9	32.3	0	1
287	9	28.6	0	1	306	10	30.5	0	1	325	10	32.4	0	1
288	9	28.7	0	1	307	9	30.6	0	1	326	10	32.5	0	1
289	9	28.8	0	1	308	10	30.7	0	1	327	10	32.6	0	1
290	10	28.9	0	1	309	9	30.8	0	1	328	10	32.7	0	1
291	9	29	0	1	310	9	30.9	0	1	329	9	32.8	0	1
292	10	29.1	0	1	311	9	31	0	1	330	10	32.9	0	1
293	10	29.2	0	1	312	10	31.1	0	1	331	9	33	0	1
294	9	29.3	0	1	313	9	31.2	0	1	332	10	33.1	0	1
295	9	29.4	0	1	314	9	31.3	0	1	333	9	33.2	0	1
296	10	29.5	0	1	315	9	31.4	0	1	334	9	33.3	0	1
297	9	29.6	0	1	316	9	31.5	0	1	335	10	33.4	0	1
298	10	29.7	0	1	317	10	31.6	0	1	336	9	33.5	0	1
299	9	29.8	0	1	318	9	31.7	0	1	337	10	33.6	0	1
300	9	29.9	0	1	319	9	31.8	0	1	338	9	33.7	0	1
301	9	30	0	1	320	9	31.9	0	1	339	10	33.8	0	1



**Tabel B.1 Lanjutan**

No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2	No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2	No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2
340	10	33.9	0	1	359	10	35.8	0	1	378	10	37.7	0	1
341	9	34	0	1	360	10	35.9	0	1	379	10	37.8	0	1
342	10	34.1	0	1	361	10	36	0	1	380	9	37.9	0	1
343	9	34.2	0	1	362	9	36.1	0	1	381	9	38	0	1
344	9	34.3	0	1	363	9	36.2	0	1	382	10	38.1	0	1
345	10	34.4	0	1	364	10	36.3	0	1	383	9	38.2	0	1
346	10	34.5	0	1	365	9	36.4	0	1	384	9	38.3	0	1
347	9	34.6	0	1	366	10	36.5	0	1	385	10	38.4	0	1
348	9	34.7	0	1	367	10	36.6	0	1	386	9	38.5	0	1
349	10	34.8	0	1	368	10	36.7	0	1	387	9	38.6	0	1
350	9	34.9	0	1	369	9	36.8	0	1	388	9	38.7	0	1
351	9	35	0	1	370	9	36.9	0	1	389	10	38.8	0	1
352	10	35.1	0	1	371	9	37	0	1	390	10	38.9	0	1
353	10	35.2	0	1	372	10	37.1	0	1	391	9	39	0	1
354	10	35.3	0	1	373	10	37.2	0	1	392	10	39.1	0	1
355	9	35.4	0	1	374	10	37.3	0	1	393	9	39.2	0	1
356	9	35.5	0	1	375	10	37.4	0	1	394	10	39.3	0	1
357	9	35.6	0	1	376	10	37.5	0	1	395	10	39.4	0	1
358	9	35.7	0	1	377	9	37.6	0	1	396	10	39.5	0	1



**Tabel B.1 Lanjutan**

No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2	No.	P1 (Psi)	Waktu (s)	SV 1	SV 2
397	10	39.6	0	1	416	12	41.5	1	0
398	10	39.7	0	1	417	12	41.6	1	0
399	9	39.8	0	1	418	12	41.7	1	0
400	9	39.9	0	1	419	12	41.8	1	0
401	10	40	0	1	420	12	41.9	1	0
402	10	40.1	0	1	421	12	42	1	0
403	9	40.2	0	1	422	12	42.1	1	0
404	10	40.3	0	1	423	12	42.2	1	0
405	10	40.4	0	1	424	13	42.3	1	0
406	10	40.5	0	1	425	13	42.4	1	0
407	10	40.6	0	1	426	13	42.5	1	0
408	10	40.7	0	1	427	13	42.6	1	0
409	10	40.8	0	1					
410	10	40.9	0	1					
411	10	41	0	1					
412	10	41.1	0	1					
413	12	41.2	1	0					
414	12	41.3	1	0					
415	12	41.4	1	0					



**Tabel B.2** Pengambilan data Respon Sistem dan Aktuator

No.	P2 (Psi)	Waktu (s)	SV 3	SV 4	No.	P2 (Psi)	Waktu (s)	SV 3	SV 4	No.	P2 (Psi)	Waktu (s)	SV 3	SV 4
1	0	0	1	0	20	1	1	1	0	39	2	2.9	1	0
2	0	0.1	1	0	21	1	1.1	1	0	40	2	3	1	0
3	0	0.2	1	0	22	1	1.2	1	0	41	3	3.1	1	0
4	0	0.3	1	0	23	1	1.3	1	0	42	3	3.2	1	0
5	0	0.4	1	0	24	1	1.4	1	0	43	3	3.3	1	0
6	0	0.5	1	0	25	1	1.5	1	0	44	3	3.4	1	0
7	0	0.6	1	0	26	1	1.6	1	0	45	3	3.5	1	0
8	0	0.7	1	0	27	2	1.7	1	0	46	3	3.6	1	0
9	0	0.8	1	0	28	2	1.8	1	0	47	3	3.7	1	0
10	0	0	1	0	29	2	1.9	1	0	48	3	3.8	1	0
11	0	0.1	1	0	30	2	2	1	0	49	3	3.9	1	0
12	0	0.2	1	0	31	2	2.1	1	0	50	3	4	1	0
13	0	0.3	1	0	32	2	2.2	1	0	51	3	4.1	1	0
14	0	0.4	1	0	33	2	2.3	1	0	52	4	4.2	1	0
15	0	0.5	1	0	34	2	2.4	1	0	53	4	4.3	1	0
16	0	0.6	1	0	35	2	2.5	1	0	54	4	4.4	1	0
17	1	0.7	1	0	36	2	2.6	1	0	55	4	4.5	1	0
18	1	0.8	1	0	37	2	2.7	1	0	56	4	4.6	1	0
19	1	0.9	1	0	38	2	2.8	1	0	57	4	4.7	1	0



**Tabel B.2 Lanjutan**

No.	P2 (Psi)	Waktu (s)	SV 3	SV 4	No.	P2 (Psi)	Waktu (s)	SV 3	SV 4	No.	P2 (Psi)	Waktu (s)	SV 3	SV 4
58	4	4.8	1	0	77	5	6.7	1	0	96	7	8.6	1	0
59	4	4.9	1	0	78	5	6.8	1	0	97	7	8.7	1	0
60	4	5	1	0	79	5	6.9	1	0	98	7	8.8	1	0
61	4	5.1	1	0	80	6	7	1	0	99	7	8.9	1	0
62	4	5.2	1	0	81	6	7.1	1	0	100	7	9	1	0
63	4	5.3	1	0	82	6	7.2	1	0	101	7	9.1	1	0
64	4	5.4	1	0	83	6	7.3	1	0	102	7	9.2	1	0
65	4	5.5	1	0	84	6	7.4	1	0	103	7	9.3	1	0
66	4	5.6	1	0	85	6	7.5	1	0	104	7	9.4	1	0
67	4	5.7	1	0	86	6	7.6	1	0	105	7	9.5	1	0
68	5	5.8	1	0	87	6	7.7	1	0	106	7	9.6	1	0
69	5	5.9	1	0	88	6	7.8	1	0	107	8	9.7	1	0
70	5	6	1	0	89	6	7.9	1	0	108	8	9.8	1	0
71	5	6.1	1	0	90	6	8	1	0	109	8	9.9	1	0
72	5	6.2	1	0	91	6	8.1	1	0	110	8	10	1	0
73	5	6.3	1	0	92	6	8.2	1	0	111	8	10.1	1	0
74	5	6.4	1	0	93	6	8.3	1	0	112	8	10.2	1	0
75	5	6.5	1	0	94	6	8.4	1	0	113	8	10.3	1	0
76	5	6.6	1	0	95	6	8.5	1	0	114	8	10.4	1	0



**Tabel B.2 Lanjutan**

No.	P2 (Psi)	Waktu (s)	SV 3	SV 4	No.	P2 (Psi)	Waktu (s)	SV 3	SV 4	No.	P2 (Psi)	Waktu (s)	SV 3	SV 4
115	8	10.5	1	0	134	10	12.4	1	0	153	10	14.3	1	0
116	8	10.6	1	0	135	10	12.5	1	0	154	10	14.4	1	0
117	8	10.7	1	0	136	10	12.6	1	0	155	10	14.5	1	0
118	8	10.8	1	0	137	10	12.7	1	0	156	11	14.6	1	0
119	8	10.9	1	0	138	10	12.8	1	0	157	11	14.7	1	0
120	8	11	1	0	139	10	12.9	1	0	158	11	14.8	1	0
121	8	11.1	1	0	140	10	13	1	0	159	11	14.9	1	0
122	8	11.2	1	0	141	10	13.1	1	0	160	11	15	1	0
123	9	11.3	1	0	142	10	13.2	1	0	161	11	15.1	1	0
124	9	11.4	1	0	143	10	13.3	1	0	162	11	15.2	1	0
125	9	11.5	1	0	144	10	13.4	1	0	163	11	15.3	1	0
126	9	11.6	1	0	145	10	13.5	1	0	164	11	15.4	1	0
127	9	11.7	1	0	146	10	13.6	1	0	165	11	15.5	1	0
128	9	11.8	1	0	147	10	13.7	1	0	166	11	15.6	1	0
129	9	11.9	1	0	148	10	13.8	1	0	167	11	15.7	1	0
130	9	12	1	0	149	10	13.9	1	0	168	11	15.8	1	0
131	9	12.1	1	0	150	10	14	1	0	169	11	15.9	1	0
132	9	12.2	1	0	151	10	14.1	1	0	170	11	16	1	0
133	9	12.3	1	0	152	10	14.2	1	0	171	11	16.1	1	0



**Tabel B.2 Lanjutan**

No.	P2 (Psi)	Waktu (s)	SV 3	SV 4	No.	P2 (Psi)	Waktu (s)	SV 3	SV 4	No.	P2 (Psi)	Waktu (s)	SV 3	SV 4
172	11	16.2	1	0	191	14	18.1	1	0	210	10	20	0	1
173	11	16.3	1	0	192	14	18.2	1	0	211	10	20.1	0	1
174	11	16.4	1	0	193	14	18.3	1	0	212	10	20.2	0	1
175	12	16.5	1	0	194	14	18.4	1	0	213	10	20.3	0	1
176	12	16.6	1	0	195	14	18.5	1	0	214	10	20.4	0	1
177	12	16.7	1	0	196	14	18.6	1	0	215	10	20.5	0	1
178	12	16.8	1	0	197	14	18.7	1	0	216	10	20.6	0	1
179	12	16.9	1	0	198	14	18.8	1	0	217	10	20.7	0	1
180	12	17	1	0	199	14	18.9	1	0	218	10	20.8	0	1
181	12	17.1	1	0	200	14	19	1	0	219	10	20.9	0	1
182	12	17.2	1	0	201	14	19.1	1	0	220	10	21	0	1
183	12	17.3	1	0	202	15	19.2	1	0	221	10	21.1	0	1
184	12	17.4	1	0	203	15	19.3	1	0	222	10	21.2	0	1
185	12	17.5	1	0	204	14	19.4	0	1	223	10	21.3	0	1
186	12	17.6	1	0	205	12	19.5	0	1	224	10	21.4	0	1
187	12	17.7	1	0	206	11	19.6	0	1	225	10	21.5	0	1
188	12	17.8	1	0	207	11	19.7	0	1	226	10	21.6	0	1
189	12	17.9	1	0	208	10	19.8	0	1	227	10	21.7	0	1



**LAMPIRAN C**  
**(DATA KALIBRASI SENSOR)**

**Tabel C.1** Data Kalibrasi Sensor I

<b>No</b>	<b>STD (Psi)</b>	<b>Alat (Psi)</b>	<b>Koreksi (Yi)</b>	<b>Yreg</b>	<b>R</b>	<b>SSR</b>	<b>%error</b>	<b>N</b>
1	0	0	0	0.673	-0.67273	0.452562	0	0
2	5	5	0	0.379	-0.37879	0.14348	0	-0.2222
3	10	9	1	0.085	0.915152	0.837502	-11.11	-1.4444
4	15	15	0	-0.209	0.209091	0.043719	0	-0.6666
5	20	20	0	-0.503	0.50303	0.253039	0	-0.8888
6	25	26	-1	-0.797	-0.20303	0.041221	3.8462	-0.111
7	30	31	-1	-1.091	0.090909	0.008264	3.2258	-0.3332
8	35	36.5	-1.5	-1.385	-0.11515	0.01326	4.1096	-0.0554
9	40	42	-2	-1.679	-0.32121	0.103177	4.7619	0.2224
10	45	47	-2	-1.973	-0.02727	0.000744	4.2553	0.0002
$\Sigma$	225	231.5	-6.5					
<b>Rata-rata</b>	22.5	23.15	-0.65			1.897	0.909	

**Tabel C.2** Data Kalibrasi Sensor II

No	STD (Psi)	Alat (Psi)	Koreksi (Yi)	Yreg	R	SSR	%error	N
1	0	0	0	0.91455	-0.91455	0.836393	0	0
2	5	5	0	0.58242	-0.58242	0.339218	0	-0.333
3	10	9	1	0.2503	0.749697	0.562046	-11.11	-1.667
4	15	14	1	-0.0818	1.081818	1.170331	-7.143	-2
5	20	20.5	-0.5	-0.4139	-0.08606	0.007406	2.439	-0.833
6	25	26.3	-1.3	-0.7461	-0.55394	0.306849	4.943	-0.367
7	30	30	0	-1.0782	1.078182	1.162476	0	-2
8	35	36	-1	-1.4103	0.410303	0.168349	2.7778	-1.333
9	40	42	-2	-1.7424	-0.25758	0.066345	4.7619	-0.667
10	45	48	-3	-2.0745	-0.92545	0.856466	6.25	-1E-04
$\Sigma$	225		-5.8					
<b>Rata2</b>	22.5	23.08	-0.58			8161.9	0.292	

## LAMPIRAN D (DATASHEET SENSOR MPX5700AP)

**Freescale Semiconductor**  
Data Sheet: Technical Data

**Pressure**  
MPX5700  
Rev 10, 10/2012

### Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated

The MPX5700 series piezoresistive transducer is a state-of-the-art monolithic silicon pressure sensor designed for a wide range of applications, but particularly those employing a micro controller or micro processor with A/D inputs. This patented, single element transducer combines a diamond micro machining technique, thin-film metallization, and bipolar processing to provide an accurate, high level analog output signal that is proportional to the applied pressure.

**Features**

- 2.5% Maximum Error over 0° to 85° C
- Ideally Suited for Microprocessor or Microcontroller-Based Systems
- Available in Absolute, Differential and Gauge Configurations
- Patented Silicon Shear Stress Strain Gauge
- Durable Epoxy Unibody Element

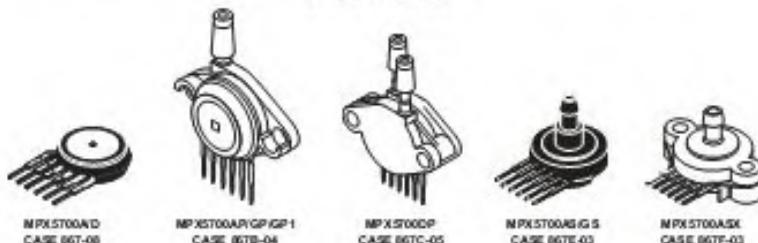
### MPX5700 Series

0 to 700 kPa (0 to 101.5 psi)  
15 to 700 kPa (2.18 to 101.5 psi)  
0.2 to 4.7 V Output

Device Name	Case No.	# of Ports			Pressure Type			Device Name
		None	Single	Dual	Gauge	Differential	Absolute	
<b>Unibody Package (MPX5700 Series)</b>								
MPX5700A	867	-	-	-	-	-	-	MPX5700A
MPX5700AP	867B	-	-	-	-	-	-	MPX5700AP
MPX5700AG	867E	-	-	-	-	-	-	MPX5700A
MPX5700AGX	867F	-	-	-	-	-	-	MPX5700A
MPX5700D	867	-	-	-	-	-	-	MPX5700D
MPX5700DP	867C	-	-	-	-	-	-	MPX5700DP
MPX5700GP	867B	-	-	-	-	-	-	MPX5700GP
MPX5700GP1 <sup>1</sup>	867B	-	-	-	-	-	-	MPX5700GP
MPX5700GD	867E	-	-	-	-	-	-	MPX5700D

1. MPX5700GP1 has 90 degree leadform.

**UNIBODY PACKAGES**





## LAMPIRAN E (DATASHEET MINIMUM SYSTEM ATMEGA8535)

# DT-AVR

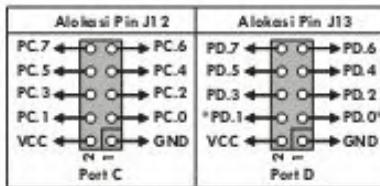
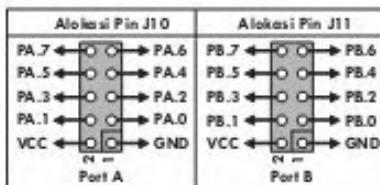
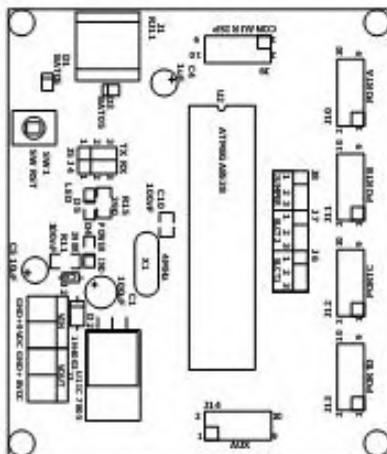
### LOW COST MICRO SYSTEM

**DT-AVR** Low Cost Micro System merupakan sebuah modul single chip dengan basis mikrokontroler AVR<sup>®</sup> dan memiliki kemampuan untuk melakukan komunikasi data serial secara UART RS-232 serta pemrograman secara nirkabel ISP (In-System Programming). Modul ini cocok untuk aplikasi – aplikasi sederhana hingga menengah. Contoh aplikasinya adalah pengendali taripkan LED, pengendali driver motor, vibrator digital, komunikasi data antara modul dengan PC, dll.

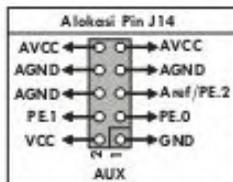
#### Spesifikasi Hardware

1. Mikrokontroler ATmega8535 yang mempunyai 8 KB Flash Memory dan 8 channel ADC dengan resolusi 10 bit.
2. Mendukung varian AVR<sup>®</sup> 40 pin, antara lain ATmega8535, ATmega8515, AT90S8515, AT90S8535, dll. Untuk tipe AVR tanpa Internal ADC membutuhkan Conventions socket.
3. Memiliki Jalur Input/Output hingga 35 pin.
4. Terdapat External Brown Out Detector sebagai rangkaian reset.
5. Konfigurasi Jumper untuk melakukan pemilihan beberapa modul pengendalian tegangan referensi untuk tipe AVR<sup>®</sup> dengan Internal ADC.
6. LED Programming Indicator.
7. Frekuensi Oscilator sebesar 4MHz.
8. Tersedia Jalur komunikasi serial UART RS-232 dengan konaktor RJ11.
9. Tersedia Port untuk Pemrograman secara ISP.
10. Tegangan Input Power Supply 9 – 12 VDC dan output tegangan 5 VDC.

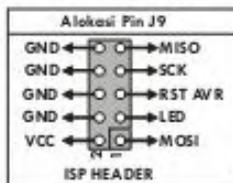
#### Tata Letak dan Konfigurasi Jumper



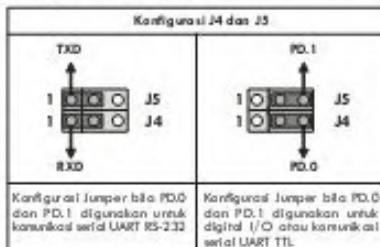
\* Apabila menggunakan komunikasi serial UART RS-232 pada modul, maka PD.1 dan PD.0 tidak dapat digunakan sebagai digital I/O.



Untuk pemrograman secara ISP (In-System Programming) konfigurasi nya dapat dilihat pada gambar berikut :



Bila ingin menggunakan komunikasi serial, 14 dan 15 harus dikonfigurasi seperti berikut.





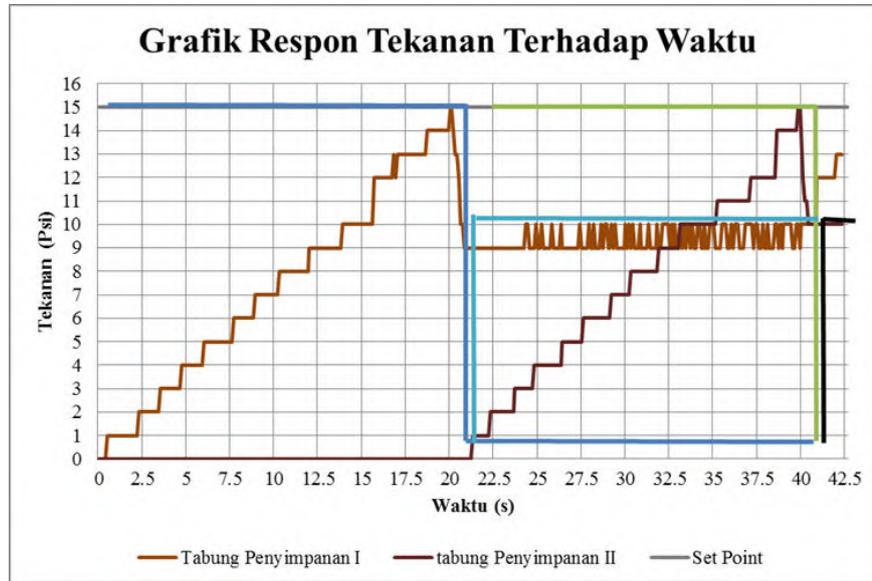
## LAMPIRAN F (TABEL T-STUDENTS)

**Tabel E.1 T-Students**

cum. prob one-tail two-tails	$t_{.50}$	$t_{.75}$	$t_{.80}$	$t_{.85}$	$t_{.90}$	$t_{.95}$	$t_{.975}$	$t_{.99}$	$t_{.995}$	$t_{.999}$	$t_{.9995}$	
	1.00	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001	0.0005
df												
1	0.000	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.71	31.82	63.66	318.31	636.62	
2	0.000	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.327	31.599	
3	0.000	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.215	12.924	
4	0.000	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173	8.610	
5	0.000	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.893	6.869	
6	0.000	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208	5.959	
7	0.000	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.785	5.408	
8	0.000	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.501	5.041	
9	0.000	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.297	4.781	
10	0.000	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.144	4.587	
11	0.000	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.025	4.437	
12	0.000	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.930	4.318	
13	0.000	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852	4.221	
14	0.000	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787	4.140	
15	0.000	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733	4.073	
16	0.000	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686	4.015	
17	0.000	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.646	3.965	
18	0.000	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.610	3.922	
19	0.000	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.579	3.883	
20	0.000	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.552	3.850	
21	0.000	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.527	3.819	
22	0.000	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.505	3.792	
23	0.000	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.485	3.768	
24	0.000	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.467	3.745	
25	0.000	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.450	3.725	
26	0.000	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.435	3.707	
27	0.000	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.421	3.690	
28	0.000	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.408	3.674	
29	0.000	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.396	3.659	
30	0.000	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.385	3.646	
40	0.000	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.307	3.551	
60	0.000	0.679	0.848	1.045	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.232	3.460	
80	0.000	0.678	0.846	1.043	1.292	1.664	1.990	2.374	2.639	3.195	3.416	
100	0.000	0.677	0.845	1.042	1.290	1.660	1.984	2.364	2.626	3.174	3.390	
1000	0.000	0.675	0.842	1.037	1.282	1.646	1.962	2.330	2.581	3.098	3.300	
<b>Z</b>	0.000	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090	3.291	
	0%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	98%	99%	99.8%	99.9%	
	<b>Confidence Level</b>											



## LAMPIRAN G (RESPON SISTEM PENGENDALIAN *PRESSURE* BESERTA AKTUATOR)



Dimana : Solenoid Valve 1 = — Solenoid Valve 3 = —  
 Solenoid Valve 2 = — Solenoid Valve 4 = —



## **LAMPIRAN H** **(LISTING PROGRAM)**

```
#include <mega8535.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <delay.h>

// Alphanumeric LCD Module functions
#include <alcd.h>

#define ADC_VREF_TYPE 0x20

// Read the 8 most significant bits
// of the AD conversion result
unsigned char read_adc(unsigned char adc_input)
{
    ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
    // Delay needed for the stabilization of the ADC input voltage
    delay_us(10);
    // Start the AD conversion
    ADCSRA|=0x40;
    // Wait for the AD conversion to complete
    while ((ADCSRA & 0x10)==0);
    ADCSRA|=0x10;
    return ADCH;
}

// Declare your global variables here
int x, y, x1, y1, t1, t2, tangki1, tangki2, a=0, b=0;
char buff[33];
void main(void)
{
    // Declare your local variables here

    // Input/Output Ports initialization
```

```
// Port A initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In
Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T
State1=T State0=T
PORTA=0x00;
DDRA=0x00;
```

```
// Port B initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In
Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T
State1=T State0=T
PORTB=0x00;
DDRB=0x00;
```

```
// Port C initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In
Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T
State1=T State0=T
PORTC=0x00;
DDRC=0x00;
```

```
// Port D initialization
// Func7=Out Func6=Out Func5=Out Func4=Out Func3=Out
Func2=Out Func1=Out Func0=Out
// State7=0 State6=0 State5=0 State4=0 State3=0 State2=0
State1=0 State0=0
PORTD=0xFF;
DDRD=0xFF;
```

```
// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
// Mode: Normal top=0xFF
```

```
// OC0 output: Disconnected
TCCR0=0x00;
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;

// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer1 Stopped
// Mode: Normal top=0xFFFF
// OC1A output: Discon.
// OC1B output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x00;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer2 Stopped
// Mode: Normal top=0xFF
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
```

```
OCR2=0x00;

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: Off
// INT1: Off
// INT2: Off
MCUCR=0x00;
MCUCSR=0x00;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x00;

// USART initialization
// USART disabled
UCSRB=0x00;

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;

// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 1000.000 kHz
// ADC Voltage Reference: AREF pin
// ADC High Speed Mode: Off
// ADC Auto Trigger Source: ADC Stopped
// Only the 8 most significant bits of
// the AD conversion result are used
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0x82;
SFIOR&=0xEF;

// SPI initialization
// SPI disabled
SPCR=0x00;
```

```

// TWI initialization
// TWI disabled
TWCR=0x00;

// Alphanumeric LCD initialization
// Connections specified in the
// Project|Configure|C Compiler|Libraries|Alphanumeric LCD
menu:
// RS - PORTC Bit 0
// RD - PORTC Bit 1
// EN - PORTC Bit 2
// D4 - PORTC Bit 4
// D5 - PORTC Bit 5
// D6 - PORTC Bit 6
// D7 - PORTC Bit 7
// Characters/line: 16
lcd_init(16);

while (1)
{
// Place your code here
lcd_clear();
x=read_adc(0);
tangki1=(x-43)*0.476526;
x1=(1.0588*tangki1)-0.6727; //mengetahui yreg
sprintf(buff,"P1=%i Psi",x1);
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_puts(buff);
t1=x1*6.89476;
sprintf(buff," =%i kPa",t1);
lcd_gotoxy(8,0);
lcd_puts(buff);
y=read_adc(1);
tangki2=(y-44)*0.478877;
y1=(1.0664*tangki2)-0.9145;
sprintf(buff,"P2=%i Psi",y1);

```

```

    lcd_gotoxy(0,1);
    lcd_puts(buff);
    t2=y1*6.89476; //mengetahui yreg
    sprintf(buff,"=%i kPa",t2);
    lcd_gotoxy(0,8);
    lcd_puts(buff);
    delay_ms(50);

if (x1<=10&&y1<=10)
    {
    PORTD.2=0;
    PORTD.3=1;
    PORTD.4=1;
    PORTD.5=1;
    }
if (x1>=15&&y1<=10)
    {
    PORTD.2=1;
    PORTD.3=0;
    PORTD.4=0;
    PORTD.5=1;
    a=1;
    }
if ((x1<=10&&(y1<=15 || y1>=15)&&a==1))
    {
    PORTD.2=1;
    PORTD.3=1;
    PORTD.4=0;
    PORTD.5=1;
    b=1;
    }
if ((x1<=10 &&y1>=15)&&b==1)
    {
    PORTD.2=0;
    PORTD.3=1;
    PORTD.4=1;

```

```
    PORTD.5=0;
    a=0;
}
if ((x1>=10 && y1<=10)&&b==1&&a==0)
{
    PORTD.2=0;
    PORTD.3=1;
    PORTD.4=1;
    PORTD.5=1;
}

if (x1>=15&&y1<=10)
{
    PORTD.2=1;
    PORTD.3=0;
    PORTD.4=0;
    PORTD.5=1;
    b=0;
}

}
}
```

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dalam pembuatan rancangan tugas akhir ini, yaitu :

- a. Dalam tugas akhir ini telah dibuat sistem pengendalian tekanan (*pressure*) dengan menggunakan dua buah jenis sensor tekanan MPX5700AP, empat aktuator berupa *solenoid valve* serta *controller*-nya menggunakan *microcontroller* ATmega8535.
- b. Pada sistem perancangan ini menggunakan prinsip kerja *redundant*, yaitu apabila ada gas yang masuk melalui tabung penyimpanan maka sensor MPX5700AP akan mengirimkan sinyal ke *microcontroller* ATmega8535 yang berfungsi sebagai *controller*. Dari *microcontroller* ATmega8535, data dari sensor akan diolah. *Set point* diatur sesuai dengan yang dikehendaki, yaitu : 15 Psi. Jika data yang masuk ke *microcontroller* ATmega8535 kurang dari batas *set point minimum* sebesar 10 Psi, maka dari *microcontroller* ATmega8535 akan memerintahkan *solenoid valve* 1 untuk menyala (*on*) sampai mencapai menuju *set point* 15 Psi dan kemudian *solenoid valve* 1 mati (*off*) dan akan mengaktifkan *solenoid valve* 2 untuk bekerja membuang gas pada genset. Saat proses pembuangan gas, pada tabung penyimpanan 2 akan mengaktifkan *solenoid valve* 3 untuk menerima gas yang masuk sampai mencapai *set point* 15 Psi dan kemudian *solenoid valve* 3 mati (*off*) dan akan mengaktifkan *solenoid valve* 4 untuk bekerja membuang gas pada genset (proses *redundant*). Untuk setiap tabung penyimpanan dijaga tekanannya sebesar 10 Psi. Apabila gas kurang dari 10 Psi pada tabung penyimpanan 1 maka *solenoid valve* 1 akan aktif lagi untuk mencapai *set point*, begitupun pada tabung penyimpanan 2, namun yang aktif adalah *solenoid valve*

3. Rangkaian yang menyambungkan atau memutuskan dari *microcontroller* ATmega8535 menuju *solenoid valve* membutuhkan rangkaian *modul relay* untuk mengaktifkan *solenoid valve*. Selain itu, perubahan nilai tekanan akan muncul atau ditampilkan melalui LCD 16x2 dan sebagai indikator pembanding menggunakan *pressure gauge*.
- c. Berdasarkan data kalibrasi, perhitungan ketidakpastian diperluas dari sensor I sebesar 1.2341 dan sensor II sebesar 1.98896 dengan tingkat kepercayaan 95% dari tabel *T-Student*. Dari nilai ketidakpastian diperluas tersebut masih layak untuk digunakan karena tidak melebihi nilai 5% dari nilai rata-rata pembacaan alat dan tidak melebihi nilai  $3\sigma$ .
  - d. Respon kontrol sistem tekanan yang terdapat tiap tabung penyimpanan bekerja secara *redundant* membutuhkan waktu sebesar 42.6 detik setelah terjadi pergantian (*looping*) satu kali dan saat kondisi tabung penyimpanan I mencapai 13 Psi. Untuk mencapai *set point* 15 Psi sampai tabung penyimpanan II membutuhkan waktu sebesar 40.2 detik. Setiap perpindahan tekanan dari 1 Psi menuju 2 Psi ataupun setelahnya membutuhkan waktu sebesar 2.9 detik.

## 5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan dalam pembuatan tugas akhir ini, yaitu :

- a. Sebaiknya pembuatan *grounding* lebih dirapikan lagi agar tidak terjadi kesalahan dalam pembacaan sensor.
- b. Sebaiknya diberikan SIS pada pembuatan alat tersebut agar pada *plant* tersebut aman.
- c. Untuk gas hidrogen sebaiknya dicampur dengan biogas agar dapat direalisasikan pada generator listrik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] ESDM. 2010. *Indonesia Energy Outlook 2010*. Jakarta : Pusat Data dan Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral KESDM
- [2] Abdurrahman, Arief, & Harus Laksamana Guntur (2010), *Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Tegangan Listrik, Konsentrasi Katalis, dan Temperatur terhadap Optimalisasi Sistem Elektrolisis Brown's Gas*, Teknik Mesin - ITS. Surabaya
- [3] Supiah. Isana. 2010. *Perilaku Sel Elektrolisis Air Dengan Elektroda Stainless Steel*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta
- [4] Martaningtyas, Dewi. *Energi Hijau Berlimbah Uap Air*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) : Jakarta
- [5] Douglas M. Considine, S.D. Ross. 1964. *Handbook of Applied Instrumentation*, Mc.Graw Hill, New York, USA
- [6] Gunterus. F. 1994. *Sistem Pengendalian Proses*. Jakarta : Elex Media Komputindo
- [7] Supriadi, Dedi. 2013. *Rancang Bangun Manometer Digital Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8*. Pontianak : Universitas Tanjungpura
- [8] Yudha, Frendy. 2010. *Otomatisasi Kran dan Penampung Air Pada Tempat Wudhu Berbasis Mikrokontroler*. Solo : Universitas Sebelas Maret
- [9] Andriyan. 2011. *Dasar Teori Mikrokontroler*. Bandung : Universitas Komputer Indonesia
- [10] Bentley, John P. 1995. *Principles of Measurement System*. Singapore : Longman Singapore Publishers
- [11] Laboratorium Pengukuran Fisis. 2013. *Modul Teknik Pengukuran dan Kalibrasi*. ITS Surabaya

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kediri, 13 Januari 1995. Diberi nama terbaik dari kedua orang tua, yaitu **Rizky Kurniasari Kusuma Pratiwi** biasa dipanggil dengan sebutan Nia atau Rizky. Bapak bernama Solekan, Ibu bernama Sriati dan mempunyai seorang kakak bernama Asep Setyo Nugroho serta seorang adik bernama Husein Ilham Abdillah. Alamat rumah di Kediri, yaitu Dusun Bibis, Desa Baye, Kecamatan Kayen Kidul, Kabupaten Kediri. Penulis menyelesaikan Sekolah Dasar pada tahun 2007 di SDN Baye, pada tahun 2010 penulis menamatkan SMPN 1 Pagu dan pada tahun 2013 penulis menamatkan sekolah menengah atas di SMAN 8 Kediri. Pada bulan Juli-Agustus 2015 penulis telah menyelesaikan kerja praktik di PT Pertamina RU VI Balongan tentang Keterampilan Kalibrasi *Automatic Tank Gauging* (ATG). Pada tahun 2016 ini, penulis mampu menyelesaikan gelar ahli madya di Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN *PRESSURE* PADA TABUNG PENYIMPANAN DARI HASIL PENCAMPURAN GAS HIDROGEN DENGAN GAS SEBAGAI SUMBER ENERGI GENSET**. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email : [rizkykurniasarikusumapратиwi@yahoo.com](mailto:rizkykurniasarikusumapратиwi@yahoo.com).