



TUGAS AKHIR - TF 145565

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING LAJU
ALIRAN PADA VENTURI METER DENGAN
MENGGUNAKAN SENSOR MPX2010DP BERBASIS
ARDUINO**

AISA INDRA WAHYUNI
NRP. 2413 031 021

Dosen Pembimbing
Totok Ruki Biyanto, PhD

**PROGRAM STUDI D3 METROLOGI DAN INSTRUMENTASI
JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



FINAL PROJECT - TF 145565

***DESIGN OF FLOWRATE MONITORING SYSTEM ON
VENTURI METER USING MPX2010DP SENSOR
BASED ON ARDUINO***

AISA INDRA WAHYUNI

NRP. 2413 031 021

Supervisor

Totok Ruki Biyanto, PhD

DIPLOMA OF METROLOGY AND INSTRUMENTATION ENGINEERING

Department Of Engineering Physics

Faculty of Industrial Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2016

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING LAJU
ALIRAN PADA VENTURI METER DENGAN
MENGGUNAKAN SENSOR MPX2010DP BERBASIS
ARDUINO**

TUGAS AKHIR

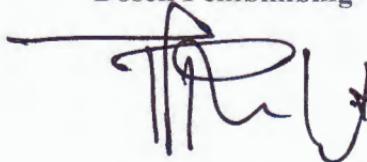
Oleh :

AISA INDRA WAHYUNI

NRP. 2413 031 021

**Surabaya, 28 Juli 2016
Mengetahui / Menyetujui**

Dosen Pembimbing

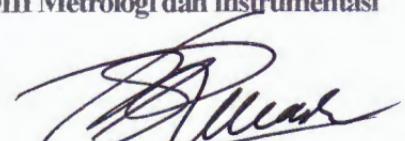


**Totok Ruki Biyanto, PhD
NIP. 19710702 199802 1 001**



**Agus Muhammad Hatta, S.T, M.Si, PhD
NIP. 19780902 200312 1 002**

**Ketua Program Studi
DIII Metrologi dan Instrumentasi**



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

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING LAJU
ALIRAN PADA VENTURI METER DENGAN
MENGGUNAKAN SENSOR MPX2010DP BERBASIS
ARDUINO**

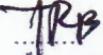
TUGAS AKHIR

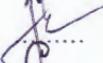
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi
Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
AISA INDRA WAHYUNI
NRP. 2413 031 021

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Totok Ruki Biyanto, PhD
2. Ir. Ya'umar, MT
3. Hendra Cordova, ST, MT
4. Bagus Tris Atmaja, ST, MT

 (Pembimbing)

 (Ketua Tim Penguji)

 (Penguji I)

 (Penguji II)

**SURABAYA
JULI 2016**

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING LAJU ALIRAN PADA VENTURIMETER DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR MPX2010DP BERBASIS ARDUINO

Nama Mahasiswa : Aisa Indra Wahyuni
NRP : 2413031 021
Program Studi : D3-Metrologi dan Instrumentasi
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Totok Ruki Biyanto, PhD

Abstrak

Venturimeter merupakan alat primer dari pengukuran laju aliran yang berfungsi untuk mendapatkan beda tekanan, yang bekerja berdasarkan persamaan Bernoulli. Pada venturimeter terdapat 3 bagian utama yaitu inlet, throat, dan outlet. Dimana terjadi perbedaan tekanan antara inlet dan throat. Tekanan berkurang karena melewati suatu gangguan sebanding dengan laju aliran dan densitas fluida. Pada penelitian ini hanya merujuk pada mengetahui karakteristik venturimeter yang dirancang sebagai alat ukur laju aliran secara sekuenzial. Model karakteristik suatu alat ukur bergantung pada perancangan alat yang dibuat. Oleh karena itu, baik tidaknya hasil pengukuran dan monitoring selain bergantung pada parameter meteorologi, juga dipengaruhi performa rancangan alat ukur/monitoring yang terlibat, misalnya sensor dan perancangan plant. Pada penelitian ini telah dilakukan perancangan sistem pengukuran dan monitoring laju aliran pada venturimeter. Sistem ini terdiri atas sensor tekanan MPX2010DP, rangkaian amplifier yang menggunakan IC LM324, mikrokontroller Arduino Uno, serta display monitoring pada komputer melalui software Microsoft Visual Studio 2013. Monitoring dilakukan dengan 3 variasi pengukuran, yaitu tekanan, laju aliran, dan tekanan terhadap laju aliran. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan bahwa pada pengukuran laju aliran diperoleh nilai ketidakpastian terbesar adalah $U_{exp} \pm 0.0591 LPM$ dengan tingkat kepercayaan 95%. Alat ukur laju aliran ini memiliki range yang kecil antara 2.7106-2.7492 LPM, sensitivitas 1.2138 LPM, akurasi 99.22%, dan error sebesar 0.78%.

Kata kunci: Laju Aliran, Monitoring, Pengukuran, Venturimeter

DESIGN OF FLOWRATE MONITORING SYSTEM ON VENTURI METER USING MPX2010DP SENSOR BASED ON ARDUINO

**Name : Aisa Indra Wahyuni
NRP : 2413 031 021
Study of Program : D3-Metrology and Instrumentation
Department : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor : Totok Ruki Biyanto, PhD**

Abstract

Venturimeter is a primary device in flowrate measurement. It is used to obtain differential pressure, which based on Bernoulli equation. In venturimeter, there are three main parts, i.e. inlet, throat, and outlet. Where, differential pressure occurs between inlet and throat. Pressure decreases because fluid flow through a restriction proportional with flowrate and fluid density. In this research, we concern to knowing venturimeter characteristics that designed as a flowrate measurement device sequentially. Characteristic model of a measurement device depend on the device design that have been made. Therefore, good performance of measurement and monitoring either depend on metrology parameter, or on design performance of a measurement device/monitoring, for example sensor and plant design. In this research, it has been constructed a measurement and monitoring system to provide flowrate on venturimeter. This system consists of a pressure sensor MPX2020DP, amplifier circuit using IC LM324, microcontroller Arduino Uno, and monitoring display on computer using Microsoft Visual Studio 2013 software package. Monitoring mechanism has been done for 3 variations of measurements, i.e. pressure, flowrate, and pressure on flowrate. Based on the results of experiment, it has shown that extreme uncertainty of flowrate measurement is $U_{exp} \pm 0.0591 \text{ LPM}$ with 95% of confidence level. This flowrate measurement also has shown that it has small range between 2.7106-2.7492 LPM, sensitivity 1.2138 LPM, accuracy 99.22%, and error 0.78%.

Keyword : Flowrate, Measurement, Monitoring, Venturimeter

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xiii
DAFTAR TABEL	xiv

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat	2

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengukuran Aliran	5
2.1.1 Laju Aliran Volumetrik	5
2.1.2 Kecepatan	5
2.2 Metode Differential Pressure	5
2.2.1 Persamaan Kontinuitas	6
2.2.2 Persamaan Bernoulli.....	7
2.3 <i>Venturimeter</i>	9
2.4 Rotameter.....	10
2.5 Karakteristik Statik	12
2.6 Teori Ketidakpastian.....	14
2.7 Sensor Tekanan MPX2010DP	17
2.8 Mikrokontroller Arduino Uno	19
2.9 Visual Studio 2013	20

BAB III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SISTEM

3.1 Studi Literatur.....	24
--------------------------	----

3.2 Perancangan Sistem dan Pembuatan Alat.....	24
3.2.1 Perancangan dan Pembuatan Hardware.....	24
3.2.2 Pembuatan Software Monitoring	26
3.2.3 Pembuatan Mekanik	28
3.3 Integrasi	30
3.4 Pengujian Alat dan Sistem Monitoring	31
3.5 Pengambilan Data.....	32
3.6 Analisis Data dan Pembahasan.....	33
3.7 Penulisan Laporan	33

BAB IV. ANALISA DATA

4.1 Analisa Data.....	35
4.1.1 Hasil Rancang Bangun	35
4.1.2 Pengujian Alat	36
4.1.3 Data Spesifikasi Alat	40
4.1.4 Data Kalibrasi Alat Ukur Laju Aliran	43
4.1.5 Data Sample Hasil Monitoring Laju Aliran	47
4.1.6 Karakteristik Dinamik Menggunakan Sampling Waktu	47
4.1.7 Perbandingan Data Pengujian Alat Data dengan Perhitungan Teori	62
4.2 Pembahasan	63

BAB V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	65

DAFTAR PUSTAKA	67
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN A (Data Pengujian Alat dan Kalibrasi)	A-1
---	------------

LAMPIRAN B (<i>Listing Program</i> di Mikrokontroller dan Microsoft Vsual Studio 2013)	B-1
---	------------

LAMPIRAN C (<i>Datasheet</i>)	C-1
--	------------

LAMPIRAN D (Data Uji Alat Ukur Laju Aliran Venturiometer).....	D-1
---	------------

BIOGRAFI PENULIS

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 3.1. Spesifikasi <i>plant</i>	28
Tabel 4.1. Data Untuk Mencari Nilai Cv	36
Tabel 4.2. Data Nilai Standar <i>flowrate</i> pada Venturimeter	38
Tabel 4.3. Data pengujian alat pada pengukuran laju aliran	38
Tabel 4.4. Pengujian Karakteristik Alat Ukur Laju Aliran	40
Tabel 4.5. Karakteristik Alat Ukur Laju Aliran	42
Tabel 4.6. Data Kalibrasi Alat Ukur Laju Aliran Venturi	43
Tabel 4.7. Data Sample Hasil Monitoring Laju Aliran	46
Tabel 4.8. Hasil Uji Sampling Data Setiap 30 Detik	47
Tabel 4.9. Hasil Uji Sampling Data Setiap 1 Menit	50
Tabel 4.10. Hasil Uji Sampling Data Setiap 3 Menit	53
Tabel 4.11. Hasil Uji Sampling Data Setiap 5 Menit	56
Tabel 4.12. Hasil Uji Sampling Data Setiap 10 Menit	59
Tabel 4.13. Perbandingan Data Pengujian Alat dengan Perhitungan Teori	62

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1. <i>Volumetric Flowrate</i>	5
Gambar 2.2. Persamaan Kontinuitas	6
Gambar 2.3. Laju Aliran Konstan	7
Gambar 2.4. Venturimeter	9
Gambar 2.5. Konfigurasi Dasar Rotameter	11
Gambar 2.6. Karakteristik <i>Output</i> Instrumen Linier	13
Gambar 2.7. Grafik Non-linieritas	14
Gambar 2.8. Tabel T- <i>student</i>	16
Gambar 2.9. MPX2010DP	17
Gambar 2.10. <i>Cross Sectional</i> Diagram	18
Gambar 2.11. Skematik Keseluruhan dari MPX2010DP	18
Gambar 2.12. Grafik <i>Output Vs Pressure Differential</i>	19
Gambar 2.13. Arduino Uno	19
Gambar 2.14. Mikroprosesor ATMega 328	20
Gambar 2.15. Tampilan <i>Editing</i> Program Visual Studio 2013	21
Gambar 3.1. <i>Flowchart</i> Metodologi	23
Gambar 3.2. Konfigurasi Sensor tekanan MPX2010DP, <i>Amplifier</i> , dan Arduino Uno	25
Gambar 3.3. Rangkaian Sensor MPX2010DP, <i>Amplifier</i> , dan Arduino Uno	25
Gambar 3.4. Desain <i>Input Serial COM</i>	26
Gambar 3.5. Desain pada Data Pengukuran	27
Gambar 3.6. Desain <i>Output</i> dari Respon Grafik	27
Gambar 3.7. Desain Rancang Bangun <i>plant</i>	28
Gambar 3.8. Instalasi <i>Venturi</i>	29
Gambar 3.9. Tampilan pada Arduino	30
Gambar 3.10. <i>Interface</i> Pengukuran dalam <i>Visual Basic 2013</i>	31
Gambar 4.1. <i>Hardware</i> Sistem Pengukuran Laju Aliran	35
Gambar 4.2. Diagram Blok Sistem Pengukuran Laju Aliran pada Venturimeter	35
Gambar 4.3. Rancang Bangun Venturimeter	36

Gambar 4.4.	Grafik Linearitas Antara Nilai <i>Flow</i> Rotameter dan Nilai Perbedaan Tekanan Sensor	37
Gambar 4.5.	Grafik pengujian laju aliran dari alat yang dibuat dengan alat ukur standar	39
Gambar 4.6.	Grafik Hysterisis	42
Gambar 4.7.	Grafik Sampling 30 Detik pada Range Rotameter 7 LPM	49
Gambar 4.8.	Grafik Sampling 30 Detik pada Range Rotameter 9 LPM	49
Gambar 4.9.	Grafik Sampling 30 Detik pada Range Rotameter 11 LPM	50
Gambar 4.10.	Grafik Sampling 1 Menit pada Range Rotameter 7 LPM	52
Gambar 4.11.	Grafik Sampling 1 Menit pada Range Rotameter 9 LPM	52
Gambar 4.12.	Grafik Sampling 1 Menit pada Range Rotameter 11 LPM	53
Gambar 4.13.	Grafik Sampling 3 Menit pada Range Rotameter 7 LPM	55
Gambar 4.14.	Grafik Sampling 3 Menit pada Range Rotameter 9 LPM	55
Gambar 4.15.	Grafik Sampling 3 Menit pada Range Rotameter 11 LPM	56
Gambar 4.16.	Grafik Sampling 5 Menit pada Range Rotameter 7 LPM	58
Gambar 4.17.	Grafik Sampling 5 Menit pada Range Rotameter 9 LPM	58
Gambar 4.18.	Grafik Sampling 5 Menit pada Range Rotameter 11 LPM	59
Gambar 4.19.	Grafik Sampling 10 Menit pada Range Rotameter 7 LPM	61
Gambar 4.20.	Grafik Sampling 10 Menit pada Range Rotameter 9 LPM	61
Gambar 4.21.	Grafik Sampling 10 Menit pada Range Rotameter 11 LPM	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Selama 60 tahun terakhir, berbagai cara pengukuran aliran telah berkembang. Pengukuran akurat dari laju aliran cairan merupakan persyaratan penting untuk menjaga kualitas proses industri. Bahkan, sebagian besar *loop* kontrol industri mengontrol laju aliran cairan masuk untuk mencapai tujuan kontrol. Sehingga, pengukuran akurat dari laju aliran sangat penting.^[1]

Ada berbagai jenis teknik pengukuran aliran yang digunakan dalam industri, salah satunya yaitu metode *differential pressure* yang paling sering digunakan. Metode ini bekerja berdasarkan beda tekanan yang terjadi pada beda penampang aliran. Salah satu jenis dari alat ukur metode ini yaitu tabung venturi.^[2]

Untuk mempermudah pengukuran perubahan tekanan pada venturi yang sebelumnya menggunakan manometer, maka dirancanglah sistem instrumentasi elektronik pada venturimeter. Dimana perubahan tekanan akan terdeteksi oleh sensor tekanan MPX2010DP. *Differential pressure sensor* mengukur perbedaan antara dua tekanan sebagai input. Maka dari itu untuk mendapatkan data secara *real time* dirancanglah sistem monitoring laju aliran menggunakan *software Visual Studio 2013* yang diintegrasikan dengan mikrokontroller Arduino Uno untuk mengetahui karakteristik pengukuran laju aliran menggunakan venturimeter menggunakan metode *differential pressure*.

1.2. Permasalahan

Permasalahan yang dihadapi dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana rancang bangun dari *plant* sistem pengukuran laju aliran ini?
2. Bagaimana karakteristik *venturi* sebagai alat ukur laju aliran?

3. Bagaimana sistem pengintegrasian sensor tekanan MPX2010DP, mikrokontroller (Arduino Uno) dengan *software Visual Studio 2013* dan *Microsoft Excel* sebagai monitoring laju aliran?

1.3. Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Membuat rancang bangun dari *plant* sistem pengukuran laju aliran.
2. Mengetahui karakteristik venturimeter sebagai alat ukur laju aliran.
3. Memahami sistem pengintegrasian sensor tekanan MPX2010DP, mikrokontroller (Arduino Uno) dengan *software Visual Studio 2013* dan *Microsoft Excel* sebagai monitoring laju aliran

1.4. Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penyelesaian masalah pada tugas akhir ini maka batasan masalah yang diangkat adalah sebagai berikut :

1. Alat yang dirancang hanya memiliki fungsi untuk mengukur laju aliran yang didapat dari nilai perbedaan tekanan.
2. Sistem akuisisi data dari *plant* yang dibangun menggunakan sensor tekanan MPX2010DP, mikrokontroller Arduino Uno, serta *software Visual Studio 2013*.
3. Fluida yang diukur yaitu hanya air saja.

1.5. Manfaat

Manfaat yang didapatkan pada penyelesaian tugas akhir ini adalah rancang bangun *plant* ini digunakan sebagai sistem

monitoring dengan menggunakan sensor tekanan MPX5050DP dan tampilan menggunakan software *Visual Studio 2013* untuk mengetahui karakteristik venturimeter dalam pengukuran laju aliran.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

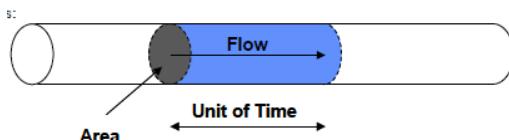
2.1. Pengukuran Aliran

Dalam pengukuran aliran terdapat beberapa parameter yang dapat digunakan untuk mendeskripsikan laju dimana fluida mengalir :

2.1.1. Laju Aliran Volumetrik

Laju aliran volumetric merupakan volume total fluida yang mengalir melalui pipa setiap satuan waktu dan biasanya dalam liter/detik (l/s) atau kubik meter/jam (m^3/h). Pengukuran laju aliran *volumetric* merupakan pengukuran kecepatan rata-rata fluida yang melalui pipa yang disebut penampang A pada Gambar 2.1. dibawah ini.^[1]

$$Q = v \cdot A$$



Gambar 2.1. *Volumetric Flowrate*^[1]

2.1.2. Kecepatan

Kecepatan sering digunakan untuk menggambarkan kecepatan dimana fluida melewati sebuah titik sepanjang pipa. Dalam kenyataannya, sebagian besar flowmeter modern mengukur diantara kecepatan titik atau kecepatan rata-rata^[1]

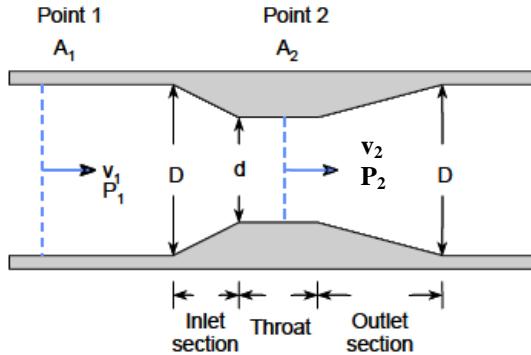
2.2. Metode Differential Pressure

Deteksi pressure drop melalui sebuah gangguan tidak diragukan lagi merupakan metode yang paling umum digunakan oleh pengukuran aliran pada industri. Tekanan berkurang yang

dihasilkan dari aliran yang mengalir melewati suatu gangguan sebanding dengan laju aliran dan densitas fluida. Karena itu, jika densitas konstan, *pressure drop* dapat diinterpretasikan menjadi pembacaan aliran. ^[2]

Metode pengukuran ini didasari oleh dua persamaan yaitu persamaan kontinuitas dan persamaan Bernoulli.

2.2.1. Persamaan Kontinuitas



Gambar 2.2. Persamaan Kontinuitas^[1]

Berdasarkan Gambar 2.2., pipa bertemu dari ukuran nominalnya ke ukuran yang lebih kecil kemudian diikuti dengan sisi *throat* pendek sebelum bertambah ke ukuran penuh kembali. Selanjutnya, diasumsi densitas fluida ρ mengalir pada pipa area A_1 , yang memiliki kecepatan v_1 pada garis tekanan P_1 . Aliran mengalir melalui gangguan pada area A_2 , dimana kecepatan bertambah v_2 dan tekanan berkurang pada P_2 .

Rasio dari diameter gangguan (d) ke ID (*inside diameter*) (D) dari pipa disebut beta ratio (β),

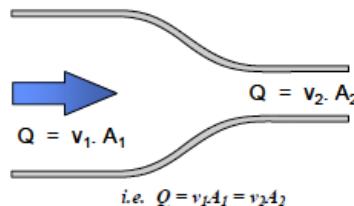
$$\frac{d}{D} = \beta$$

Dalam persamaan kontinuitas dinyatakan bahwa untuk fluida *incompressible* volume laju alirannya, Q , konstan. Secara sederhana, ini mengindikasikan bahwa ketika cairan mengalir

melalui gangguan, untuk memungkinkan jumlah yang sama dari cairan untuk melewati (untuk mencapai laju aliran konstan) kecepatan harus bertambah (Gambar 2.3.) Secara matematis :

$$Q = v_1 A_1 = v_2 A_2$$

dimana v_1 dan v_2 , A_1 dan A_2 merupakan kecepatan dan cross sectional area dari pipa pada titik 1 dan 2. ^[1]



Gambar 2.3. Laju Aliran Konstan^[1]

2.2.2. Persamaan Bernoulli

Dalam bentuk paling sederhana, persamaan Bernoulli menyatakan bahwa dibawah kondisi aliran *steady*, total energi (kinetic+tekanan+gravitasi) setiap unit massa fluida *incompressible* ideal (memiliki densitas konstan dan viskositas nol) tetap konstan sepanjang garis aliran. ^[1]

$$\frac{v^2}{2} + \frac{P}{\rho} + gz = k$$

dimana :

v = kecepatan pada sebuah titik dalam aliran

P = tekanan pada sebuah titik

ρ = densitas fluida

g = akselerasi gravitasi

z = level dari titik diatas beberapa bidang referensi horizontal yang berubah-ubah dengan arah z positif dalam arah yang berlawanan dengan akselerasi gravitasi.

k = konstan

Pada bagian gangguan aliran, energi kinetic (tekanan dinamik) bertambah seiring bertambahnya kecepatan dan energy potensial (tekanan *static*) berkurang. Berkaitan dengan konservasi energy pada 2 titik dalam aliran fluida maka :

$$\frac{v_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} = \frac{v_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho}$$

Dikalikan dengan ρ :

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 + P_1 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 + P_2$$

atau :

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2$$

atau :

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2$$

dimana :

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

Dari persamaan kontinuitas, didapatkan :

$$v_1 = \frac{\rho}{A_1} \quad \text{dan} \quad v_2 = \frac{\rho}{A_2}$$

Disubtitusi :

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left(\frac{\rho}{A_2} \right)^2 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left(\frac{\rho}{A_1} \right)^2$$

Penyelesaian untuk Q :

$$Q = A_2 \sqrt{\frac{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2}}$$

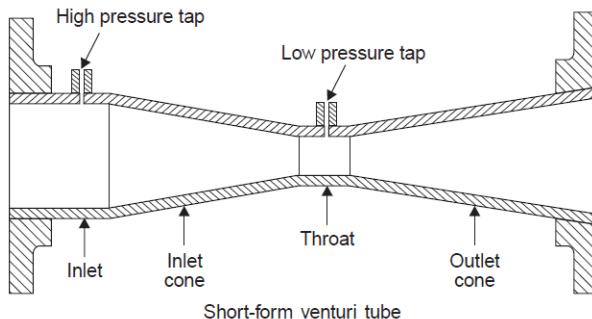
Karena terdapat diameter dari gangguan (d) dan ID (*inside diameter*) (D) dari pipa, maka :

$$A_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad \text{dan} \quad A_2 = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$Q = C_v \frac{\pi \cdot d^2}{4} \sqrt{\frac{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}}{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2}}$$

2.3. Venturimeter

Venturimeter merupakan alat primer dari pengukuran aliran yang berfungsi untuk mendapatkan beda tekanan, yang bekerja berdasarkan persamaan Bernoulli. Menurut persamaan dimana tekanan berkurang maka kecepatan meningkat. Efek venturi adalah penurunan tekanan fluida yang terjadi ketika fluida tersebut bergerak melalui pipa penyempit. Kecepatan fluida dipaksa meningkat untuk mempertahankan debit fluida yang sedang bergerak tersebut, sementara tekanan pada bagian sempit ini harus turun akibat pemindahan energi potensial tekanan menjadi energi kinetik.^[4]



Gambar 2.4. Venturimeter^[4]

Venturi Meter ini dapat dibagi 3 bagian utama yaitu :

- a. Bagian *Inlet*

Bagian yang berbentuk lurus dengan diameter yang sama seperti diameter pipa atau cerobong aliran. Lubang tekanan awal ditempatkan pada bagian ini.

b. *Inlet Cone*

Bagian yang berbentuk seperti kerucut, yang berfungsi untuk menaikkan tekanan fluida.

c. *Throat* (leher)

Bagian tempat pengambilan beda tekanan akhir bagian ini berbentuk bulat datar. Hal ini dimaksudkan agar tidak mengurangi atau menambah kecepatan dari aliran yang keluar dari *inlet cone*.

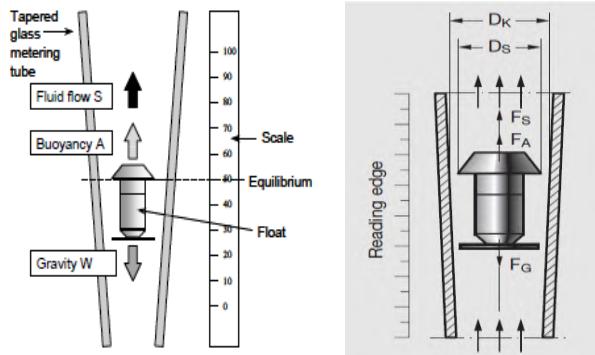
Pada Venturi meter ini fluida masuk melalui bagian *inlet* dan diteruskan ke bagian *outlet cone*. Pada bagian *inlet* ini ditempatkan titik pengambilan tekanan awal. Pada bagian *inlet cone* fluida akan mengalami penurunan tekanan yang disebabkan oleh bagian *inlet cone* yang berbentuk kerucut atau semakin mengecil kebagian *throat*. Kemudian fluida masuk kebagian *throat* inilah tempat-tempat pengambilan tekanan akhir dimana *throat* ini berbentuk bulat datar. Lalu fluida akan melewati bagian akhir dari venturi meter yaitu *outlet cone*. *Outlet cone* ini berbentuk kerucut dimana bagian kecil berada pada *throat*, dan pada *Outlet cone* ini tekanan kembali normal.

Jika aliran melalui venturi meter itu benar-benar tanpa gesekan, maka tekanan fluida yang meninggalkan meter tentulah sama persis dengan fluida yang memasuki meteran dan keberadaan meteran dalam jalur tersebut tidak akan menyebabkan kehilangan tekanan yang bersifat permanen dalam tekanan. Penurunan tekanan pada *inlet cone* akan dipulihkan dengan sempurna pada *outlet cone*.^[5]

2.4. Rotameter

Rotameter adalah sebuah alat ukur laju aliran tipe variabel area. Pada alat ini, terdapat sebuah *float* yang mengambang yang berada di dalam tabung berbentuk meruncing tegak, *float* diangkat ke posisi keseimbangan diantara gaya ke bawah dan gaya keatas dari fluida sebagai tambahan efek

buoyancy dari fluida mengalir bertemu *float* melalui annular orifice. Laju aliran dapat dibaca dengan melihat posisi *float* tersebut.^[6]



Gambar 2.5. Konfigurasi Dasar Rotameter^[6]

Fluida mengalir melalui tabung dari bawah ke atas, mengangkat *float* keatas. Diameter tabung bertambah kearah atas *float* naik ke titik dimana gaya keatas *float* terbentuk oleh perbedaan tekanan pada jarak *annular*, diantara *float* dan tabung, sama dengan berat *float*.^[1]

Gambar 2.6. menunjukkan 3 gaya yang bekerja pada *float*, yaitu :

1. Gaya gravitasi konstan, W
2. *Bouyancy A*, berdasarkan prinsip Archimedes, konstan jika densitas fluida konstan
3. Gaya S , gaya keatas fluida yang melewati *float*

Persamaan laju aliran pada variabel area flowmeter sebagai berikut :

$$Q = CA\sqrt{\rho}$$

dimana :

Q = Aliran

C = Konstanta yang bergantung pada *float*

A = Luas penampang yang dilalui fluida

ρ = Densitas fluida

Rotameter biasanya memiliki akurasi hingga 2% dari skala penuh dan kemampuan pengulangannya (*repeatability*) mencapai 0,25% dari pembacaannya. Mereka memiliki rentang akurasi hingga 10:1, yang mana lebih baik dari pada flowmeter yang pembacaannya bergantung pada akar kuadrat dari *pressure drop*. Kalibrasi dari rotameter berlaku hanya pada satu fluida yang densitasnya khusus. Rotameter dapat digunakan untuk mengukur laju aliran dari gas atau liquid. Kegunaannya terbatas untuk laju aliran yang cukup kecil.

2.5. Karakteristik Statik

Karakteristik statik pengukuran merupakan karakteristik yang ditentukan melalui perhitungan matematik atau secara grafik. Karakteristik statik merupakan karakter yang menggambarkan parameter dari sebuah instrument pada saat keadaan *steady*.^[7]

Karakteristik statik terdiri dari:

a. ***Range***

Range merupakan selisih antara nilai minimum dan maksimum yang terukur oleh suatu *instrument* atau alat ukur.

b. **Akurasi**

Akurasi merupakan tingkat ketelitian suatu alat dalam memberikan hasil pengukuran.

c. **Toleransi**

Toleransi menunjukkan kesalahan maksimum yang diperbolehkan pada hasil pembacaan alat ukur.

d. **Sensitivitas**

Sensitivitas menunjukkan perubahan *output instrument* yang terjadi saat diberi kualitas pengukuran yang berbeda. Sensitivitas diperoleh dari $\Delta O / \Delta I$, dimana O adalah output dan I adalah input.

e. ***Repeatability***

Repeatability merupakan kemampuan *instrument* dalam menampilkan ulang *output* pengukuran yang sama pada pengukuran yang berulang.

f. Linearitas

Linearitas merupakan grafik yang menampilkan pengukuran nilai sebenarnya (*input*) yang dapat menghasilkan *output* nilai yang ditunjukkan oleh *instrument* (*output*). Pengukuran yang baik adalah ketika *input* pengukuran dan *output* pengukuran berbanding lurus (*linear*). Linearitas dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$O - O_{min} = \frac{O_{max} - O_{min}}{I_{max} - I_{min}} (I - I_{min}) \quad (2.1)$$

Persamaan Linearitas :

$$O_{ideal} = KI + a \quad (2.2)$$

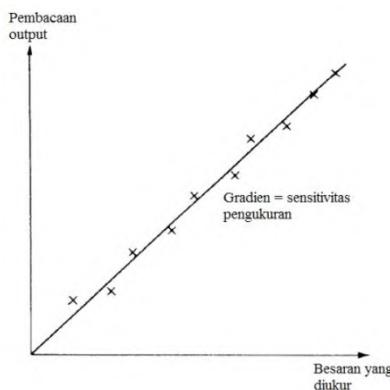
Dimana:

$$K = \frac{O_{max} - O_{min}}{I_{max} - I_{min}} \quad (2.3)$$

dan

$$a = O_{min} - KI_{min} \quad (2.4)$$

Berikut merupakan grafik karakteristik statis *linier* suatu instrumen:



Gambar 2.6. Karakteristik *output* instrumen *linier*^[7]

g. Non – Linieritas

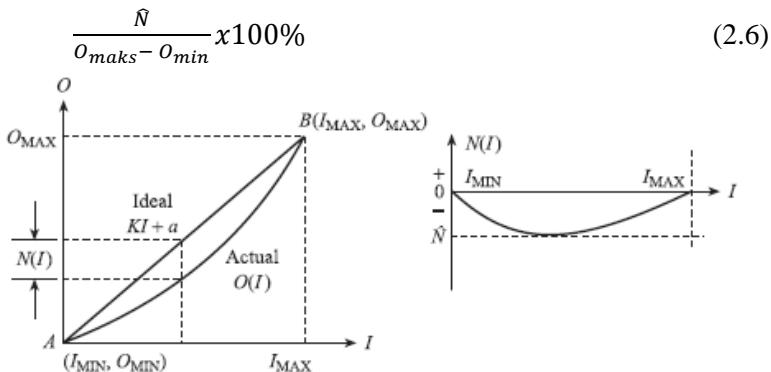
Dalam beberapa keadaan, bahwa dari persamaan linieritas muncul garis yang tidak lurus yang biasa disebut *non-linier* atau tidak *linier*. Didalam fungsi garis yang tidak *linier* ini menunjukkan perbedaan antara hasil pembacaan *actual* / nyata dengan garis lurus idealnya. Dengan persamaan sebagai berikut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

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

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

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

Prosentase maksimum Nonlinieritas dari defleksi skala penuh =



Gambar 2.7. Grafik non-linieritas^[7]

2.6. Teori Ketidakpastian

Ketidakpastian pengukuran merupakan tingkat seberapa besar ketidakpastian yang dihasilkan oleh suatu alat ukur. Dalam menghitung ketidakpastian pengukuran ada beberapa langkah yang harus dihitung, antara lain:

a. Koreksi

Koreksi dapat diperoleh dengan persamaan berikut

Koreksi = Pembacaan standard-Pembacaan alat

b. Standard deviasi

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum (D_i - D')^2}}{n-1} \quad (2.7)$$

dimana :

D_i = koreksi alat ukur

D' = rata-rata koreksi

n = Banyak range pengukuran

c. Analisa Type A, (U_a)

Pada analisa tipe A ini hasilnya diperoleh dari data pengukuran. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut:

$$Ua1 = \frac{\sigma_{maks}}{\sqrt{n}} \quad (2.8)$$

$$Ua2 = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} \quad (2.10)$$

d. Analisa Type B, (U_b)

Analisa tipe B ini diperoleh berdasarkan sertifikat kalibrasi atau spesifikasi dari alat ukur. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut:

$$Ub1 = \frac{Resolusi/2}{\sqrt{3}} \quad (2.9)$$

Dimana :

SSR = Sum Square Residual

$$Ub2 = \frac{a}{k} \quad (2.11)$$

e. Ketidakpastian Kombinasi (U_c)

U_c merupakan Ketidakpastian kombinasi dari ketidakpastian tipe A dan ketidakpastian tipe B. Adapun persamaan dari ketidakpastian kombinasi adalah:

$$U_c = \sqrt{Ua1^2 + Ua2^2 + Ub1^2 + Ub2^2} \quad (2.12)$$

f. V effektif

$$Veff = \frac{(Uc)^4}{\sum_{Vi}^{}(Ui)^4} \quad (2.14)$$

Dimana :

$Veff$ = 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 effektif, maka dapat dilanjutkan dengan menghitung nilai faktor cakupan sesuai dengan tingkat kepercayaan yang diinginkan, dimana faktor cakupan (k) didapat dari tabel T -students pada Gambar 2.8.

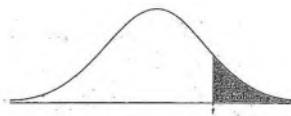


TABLE B: t -DISTRIBUTION CRITICAL VALUES

df	Tail probability p										
	.25	.20	.15	.10	.05	.02	.01	.005	.0025	.001	.0005
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.71	15.89	31.82	63.66	127.3	318.3
2	.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	4.849	6.965	9.925	14.09	22.33
3	.765	.978	1.259	1.638	2.333	3.182	3.482	4.541	5.841	7.453	10.21
4	.741	.941	1.141	1.352	1.931	2.446	2.756	3.454	4.604	5.784	7.101
5	.727	.920	1.156	1.416	2.015	2.571	2.757	3.363	4.032	4.773	5.899
6	.718	.906	1.154	1.440	1.943	2.447	2.612	3.143	3.707	4.317	5.208
7	.711	.895	1.119	1.415	1.895	2.365	2.517	2.991	3.499	4.029	4.783
8	.705	.887	1.084	1.384	1.811	2.301	2.484	2.915	3.357	3.838	4.501
9	.703	.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.498	2.813	3.250	3.690	4.371
10	.707	.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.359	2.764	3.169	3.581	4.144
11	.697	.876	1.083	1.363	1.794	2.201	2.328	2.718	3.106	3.497	4.025
12	.695	.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.308	2.691	3.055	3.428	3.930
13	.694	.871	1.079	1.351	1.771	2.159	2.289	2.671	3.020	3.390	3.818
14	.692	.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.264	2.624	2.977	3.326	3.787
15	.691	.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.249	2.602	2.947	3.288	3.733
16	.690	.865	1.074	1.337	1.746	2.120	2.225	2.583	2.921	3.252	3.696
17	.689	.864	1.073	1.334	1.738	2.109	2.217	2.563	2.859	3.187	3.646
18	.688	.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.214	2.552	2.878	3.197	3.611
19	.688	.861	1.068	1.328	1.730	2.093	2.205	2.539	2.861	3.174	3.579
20	.687	.860	1.064	1.325	1.728	2.086	2.197	2.528	2.845	3.153	3.552
21	.687	.859	1.061	1.321	1.724	2.078	2.187	2.518	2.825	3.141	3.541
22	.686	.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.183	2.508	2.819	3.119	3.503
23	.685	.858	1.061	1.319	1.716	2.069	2.177	2.500	2.807	3.109	3.485
24	.685	.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.172	2.492	2.797	3.091	3.467
25	.685	.856	1.059	1.317	1.706	2.060	2.167	2.482	2.787	3.081	3.456
26	.684	.855	1.058	1.315	1.706	2.056	2.162	2.479	2.779	3.067	3.447
27	.684	.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.158	2.473	2.771	3.057	3.421
28	.683	.855	1.057	1.313	1.701	2.048	2.154	2.467	2.763	3.047	3.408
29	.683	.855	1.055	1.313	1.699	2.045	2.150	2.459	2.756	3.038	3.396
30	.683	.854	1.055	1.310	1.697	2.041	2.146	2.451	2.751	3.028	3.389
40	.681	.851	1.050	1.301	1.684	2.021	2.133	2.425	2.704	2.971	3.307
50	.679	.849	1.047	1.299	1.676	2.009	2.109	2.403	2.678	2.937	3.261
60	.679	.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.099	2.392	2.660	2.915	3.232
70	.679	.847	1.042	1.294	1.667	1.993	1.983	2.382	2.650	2.871	3.144
100	.677	.845	1.042	1.290	1.660	1.984	2.081	2.364	2.626	2.814	3.104
1000	.673	.842	1.037	1.282	1.646	1.963	2.025	2.330	2.581	2.813	3.098
=	.674	.841	1.039	1.282	1.645	1.960	2.035	2.326	2.576	2.807	3.091
	50%	60%	70%	80%	90%	95%	96%	98%	99%	99.5%	99.8%
											99.9%
											Confidence level C

Gambar 2.8. Tabel T-student^[5]

g. Ketidakpastian Diperluas

Hasil akhir kalibrasi adalah ketidakpastian diperluas sehingga alat ukur tersebut dapat diketahui ketidakpastiannya melalui U_{expand} . Persamaan U_{expand} adalah:

$$U_{expand} = k \cdot U_c \quad (2.13)$$

Dimana :

k = Faktor cakupan

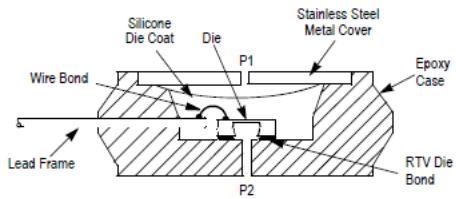
U_c = Nilai ketidakpastian kombinasi

2.7. Sensor Tekanan MPX2010DP

Sensor MPX *Piezoresistive* merupakan tranduser piezoresistif yang terbuat dari bahan silicon yang akurat dan output tegangannya linear secara langsung sesuai untuk tekanan langsung. Didalam sensor ini terdapat silicon monolitik dengan strain gauge yang terintegrasi. Sensor ini dilengkapi *dengan temperature compensation* dan *offset calibration*. Terdapat berbagai jenis MPX dengan jumlah pin yang berbeda-beda diantaranya yaitu seri MPX2010DP. Sensor ini memiliki *range* tekanan antara 0 - 10 kPa. Berikut merupakan gambar fisik sensor MPX2010DP.^[8]

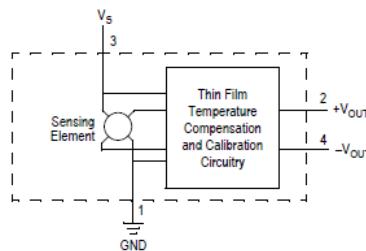


Gambar 2.9. MPX2010DP^[8]



Gambar 2.10. Cross Sectional Diagram^[8]

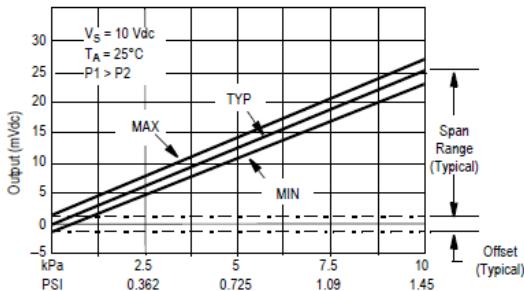
Flourosilicone Gel Die Coat akan mengisolasi permukaan dan *Wire Bond* dari lingkungan, sementara sinyal tekanan akan ditransmisikan ke sensor diafragma. Sensor MPX merupakan sensor yang dioperasikan tidak menggunakan tekanan air secara langsung, penggunaannya didasarkan pada udara yang terjebak di dalam selang sehingga menimbulkan tekanan dan perbedaan, perbedaan tersebut yang selanjutnya akan dibaca sebagai tekanan yang dihasilkan.



Gambar 2.11. Skematik Keseluruhan dari MPX2010DP^[8]

Dari gambar diatas, terdapat konfigurasi pin sensor yaitu pin 1 merupakan pin Ground, pin 2 merupakan pin +V_{OUT}, pin 3 merupakan pin V_S, sedangkan pin 4 merupakan pin -V_{OUT}. Pada MPX2010DP memiliki range suhu kerja yang diijinkan antara 0-85°C. V_S yang digunakan adalah V_S dengan sumber DC hingga 10 V atau maksimum tegangan yang diijinkan adalah 16 V. Dan memiliki sensitivitas sebesar 2,5 mV/kPa. Berikut merupakan

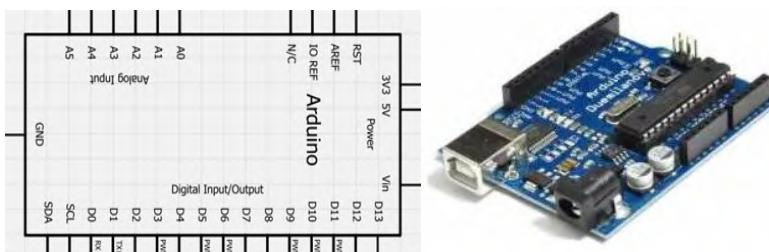
grafik karakteristik kerja yang akan dihasilkan sensor MPX2010DP.^[8]



Gambar 2.12. Grafik *Output Vs Pressure Differential*^[8]

2.8. Mikrokontroller Arduino Uno

Arduino uno adalah sebuah mikrokontroler yang menggunakan Atmega328 sebagai mikroprosesornya. Arduino uno mempunyai 14 pin masukan/keluaran digital (dimana 6 pin dapat berfungsi sebagai keluaran PWM), 6 masukan analog, sebuah crystal 16 MHz, sebuah sambungan untuk USB, sebuah sambungan untuk tegangan, dan tombol *reset*. Arduino uno dapat digunakan dengan cara menyambungkannya ke perangkat komputer melalui sebuah kabel USB atau dengan memberikan catu daya sebesar 5 volt DC. Arduino uno memiliki resolusi 10 bit (0-1023) yang mewakili tegangan 0-5 volt DC.^[4]



Gambar 2.13. Arduino Uno^[4]



Gambar 2.14. Mikroprosesor ATMega 328^[4]

ATmega328 yang ada di Arduino Uno dapat digunakan secara independen tanpa papan Arduino dengan menggunakan program *bootloader*. Selain itu ATmega328 mempunyai 32 KB memori, 2 KB SRAM dan 1 KB EEPROM yang dapat ditulis dan dibaca dengan EEPROM *Library*. Memori tersebut digunakan untuk merekam suatu variabel secara permanen. Ketika mikrokontroler tersebut dimatikan dan dinyalakan kembali, variabel yang terekam dapat ditampilkan kembali.

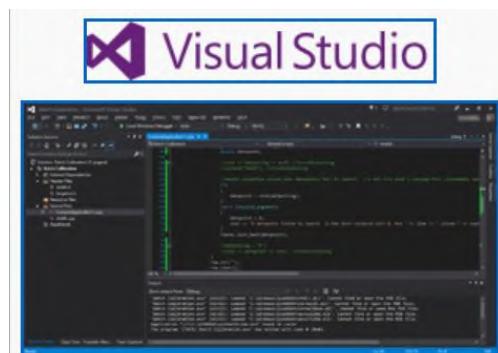
Arduino uno dapat diprogram menggunakan perangkat lunak Arduino IDE. Arduino IDE digunakan untuk menulis program, meng-*compile* program dan mengunggah program ke papan Arduino. Dalam penggunaan, Arduino hanya perlu mendefinisikan 2 fungsi agar program dapat dijalankan,yaitu:

1. *Void setup()*: fungsi dijalankan sekali pada awal program yang dapat menginisialisasi pengaturan;
2. *Void loop()*: fungsi yang disebut berulang-ulang sampai mikrokontroler mati.^[5]

2.9. Visual Studio 2013

Microsoft Visual Studio merupakan *Integrated Development Environment* (IDE) dari Microsoft, yang digunakan untuk mengembangkan program komputer untuk Microsoft Windows, seperti halnya *website*, aplikasi web, dan pelayanan

web. Visual Studio menggunakan *platform* pengembangan *software Microsoft* seperti *Windows API*, *Windows Forms*, *Windows Presentation Foundation*, *Windows Store*, dan *Microsoft Silverlight*. Semuanya dapat menghasilkan *code* asli dan *code* yang sudah dikembangkan.^[9]



Gambar 2.15 Tampilan *Editing Program Visual Studio 2013*^[9]

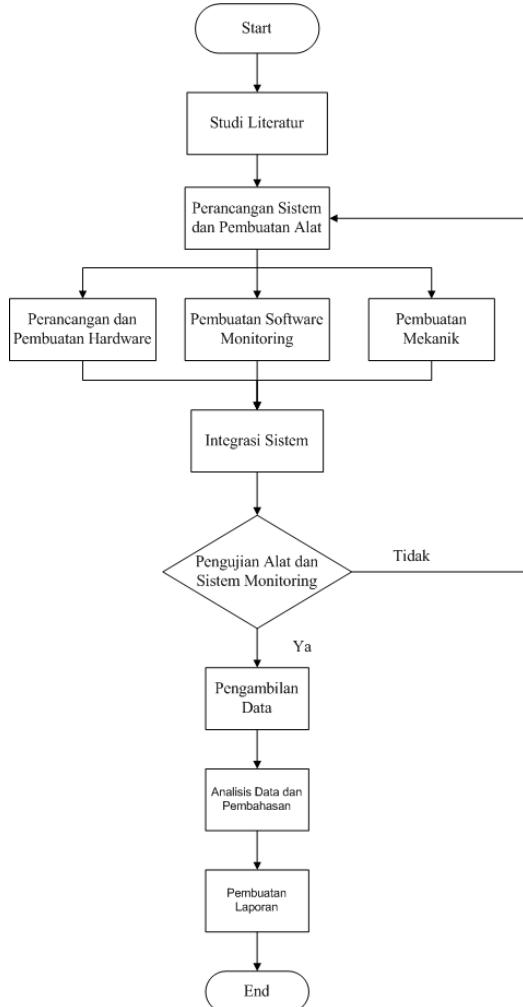
Visual Studio mendukung bahasa pemrograman yang berbeda-beda dan mengizinkan *code editor* dan *debugger* untuk mendukung berbagai bahasa pemrograman, memberikan pelayanan *language-specific*. Bahasa *built-in* termasuk C, C++, dan C++/CLI (via Visual C++), VB.NET (via Visual Basic .NET), C# (via Visual C#), dan F# (Visual Studio 2010). Mendukung bahasa lainnya seperti Python, Ruby, Node.js, dan M, bahasa tersebut yang tersedia via penginstalan secara terpisah. Juga mendukung XML/XSLT, HTML/XHTML, JavaScript dan CSS. Java (dan J#) didukung sebelumnya. Fitur utama yang terdapat pada Visual Studio adalah *Code Editor*, *Debugger*, *Designer*.^[9]

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SISTEM

Langkah-langkah dalam tugas akhir ini digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 3.1



Gambar 3.1. Flowchart Metodologi

Dengan adanya *flowchart* metodologi penelitian mengenai "Rancang Bangun Sistem Pengukuran dan Monitoring Laju Aliran pada Venturimeter dengan Menggunakan Sensor MPX2010DP Berbasis Arduino" yang telah digambarkan, maka adapun penjelasan pada setiap langkah-langkah yang telah digambarkan adalah sebagai berikut :

3.1 Studi Literatur

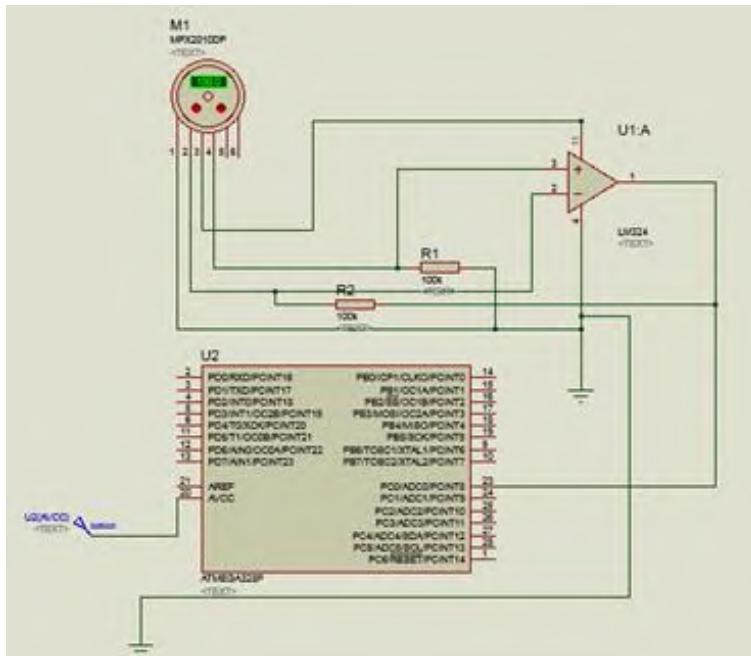
Tahap awal pada flowchart ini dimulai dengan adanya studi literatur sebagai upaya pemahaman terhadap materi yang menunjang tugas akhir mengenai "Rancang Bangun Sistem Pengukuran dan Monitoring Laju Aliran pada Venturimeter dengan Menggunakan Sensor MPX2010DP Berbasis Arduino". Studi literatur ini dilakukan dengan mencari dan mempelajari informasi dari *e-book* maupun manual *book* mengenai uji performansi suatu sensor yang diaplikasikan pada *plant* dan pembuatan sistem monitoring dengan menggunakan komunikasi Visual Studio 2013.

3.2 Perancangan Sistem dan Pembuatan Alat

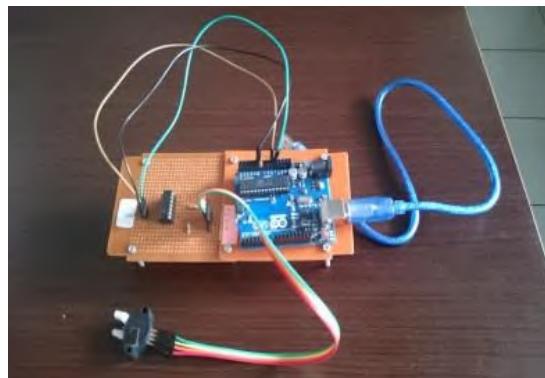
Setelah melakukan studi literatur, selanjutnya adalah melakukan perancangan sistem dan pembuatan alat yang terdiri dari perancangan pembuatan *hardware*, pembuatan *software* monitoring, serta pembuatan mekanik. *Hardware* dan *software* yang telah dibuat kemudian diintegrasikan melalui mikrokontroller Arduino. Selanjutnya diintegrasikan dengan mekanik atau *plant* agar dapat memonitoring laju aliran dari perbedaan tekanan yang didapat.

3.2.1 Perancangan dan Pembuatan *Hardware*

Pada perancangan dan pembuatan *hardware* dimulai dari membuat rangkaian op-amp sensor MPX2010DP dan menghubungkannya dengan arduino uno, sebagai kontrollernya. Berikut merupakan konfigurasi dari rangkaian sensor tekanan MPX2010DP, op-amp dan juga Arduino uno.



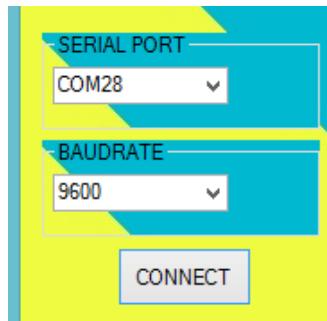
Gambar 3.2. Konfigurasi Sensor tekanan MPX2010DP, *amplifier*, dan Arduino Uno.



Gambar 3.3. Rangkaian Sensor MPX2010DP, *amplifier*, dan Arduino Uno

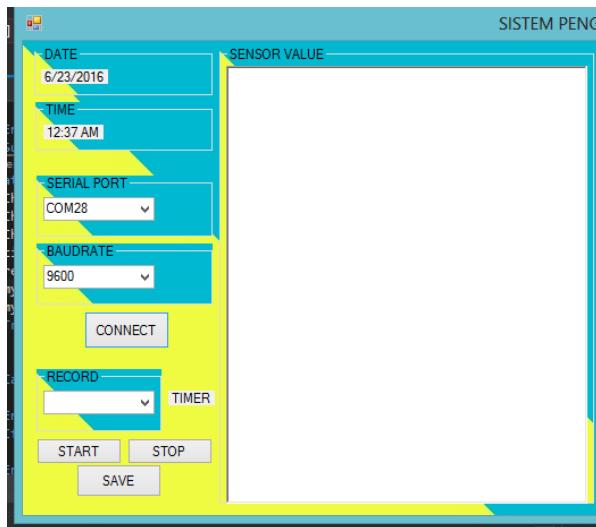
3.2.2 Pembuatan *Software Monitoring*

Pada pembuatan *software* untuk monitoring dimulai dari pemrograman atau pengkodingan di *software Visual Studio 2013*. Langkah pertama adalah membuat pilihan inputan untuk serial COM pada Arduino. Berikut desain dari *input* untuk serial COM.



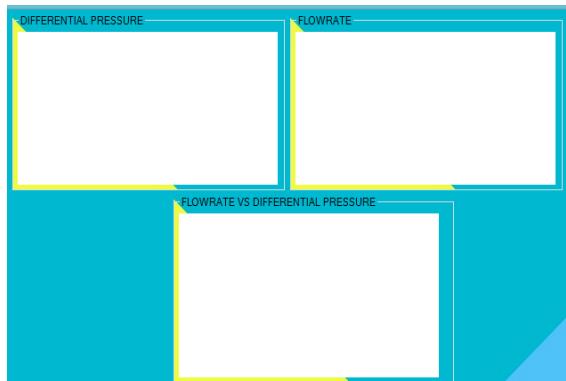
Gambar 3.4. Desain *Input* Serial COM

Pada data pengukuran terdapat beberapa inputan diantaranya yaitu tanggal, waktu, pilihan setting time, dan data record untuk hasil pengukuran yang didapat. Berikut desain yang akan diatampilkan.



Gambar 3.5. Desain pada Data Pengukuran

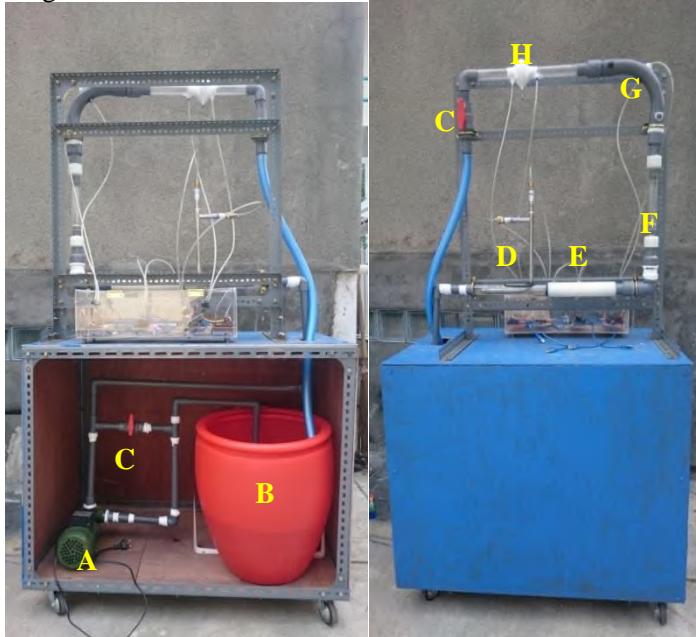
Langkah selanjutnya yaitu menampilkan grafik dari hasil pengukuran pada perbedaan tekanan (*differential Pressure*) dan *Flowrate*-nya. Dengan adanya grafik akan mempermudah pengguna dalam memahami respon dari hasil pengukuran yang telah dilakukan.



Gambar 3.6 Desain Output dari Respon Grafik

3.2.3 Pembuatan Mekanik

Pembuatan mekanik meliputi pembuatan sistem pada *plant* laju aliran dimana terdapat beberapa alat ukur yaitu venturi meter, *elbow*, *orifice*, *pitot tube*, serta rotameter yang saling terintegrasi.



Gambar 3.7. Desain rancang bangun *plant*

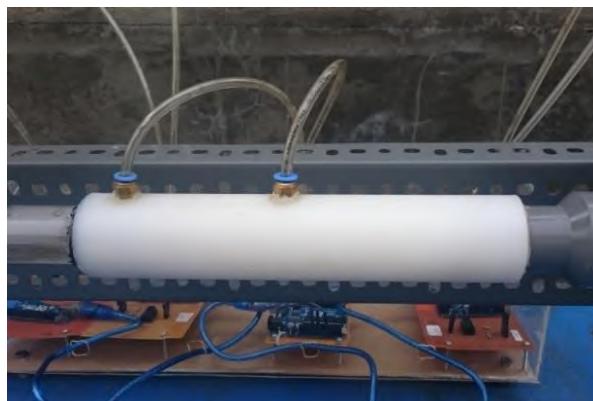
Tabel 3.1 Spesifikasi *plant*

Kode	Keterangan	Spesifikasi
A	Pompa	Kapasitas 42 liter/menit
B	Tangki air	Kapasitas 60 liter
C	Valve	Manual, $\frac{3}{4}$ inch input dan 1 inch output
D	Pitot Tube	Diameter pipa 16 mm

Tabel 3.1. Lanjutan

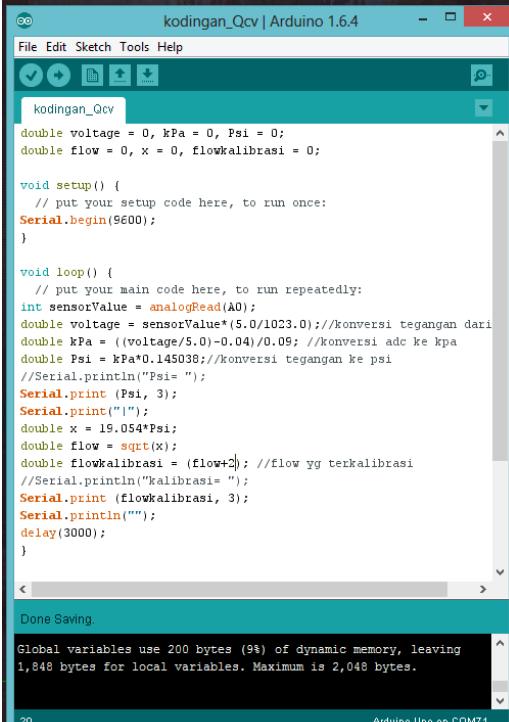
Kode	Keterangan	Spesifikasi
E	Venturi meter	Diameter inlet dan outlet 35 mm, diameter throat 17,5 mm
F	Rotameter	Range 0-18 liter/menit atau 0-5 GPM
G	Elbow tabs	Elbow 45° , diameter 1,5 inch
H	Orifice	Diameter lubang orifice 12,7 mm dengan sudut 45° , tebal plat 5 mm

Venturi memiliki 3 bagian utama yaitu *inlet*, *outlet*, dan *throat*. Pemasangan *venturi* yaitu *bagian inlet* dan *outlet* dihubungkan dengan pipa yang dialiri fluida. Untuk diameter inlet dan outlet berukuran sama dengan diameter pipa utama yaitu 35 mm, sedangkan untuk bagian throat memiliki diameter 17,5 mm.

**Gambar 3.8. Instalasi Venturi**

3.3 Integrasi

Pengintegrasian ini dilakukan agar antara hardware, *software* dan rancang bangun mekanik *plant* dapat menjadi satu kesatuan ketika alat difungsikan. Langkah awal yaitu dengan mengintegrasikan hardware yang berupa amplifier, sensor MPX2010DP dan juga arduino dengan rancang bangun hydraulic bench untuk mengukur aliran pada setiap alat ukur untuk diketahui perbedaan tekanannya.



```
kodingan_Qcv | Arduino 1.6.4
File Edit Sketch Tools Help
kodingan_Qcv
double voltage = 0, kPa = 0, Psi = 0;
double flow = 0, x = 0, flowkalibrasi = 0;

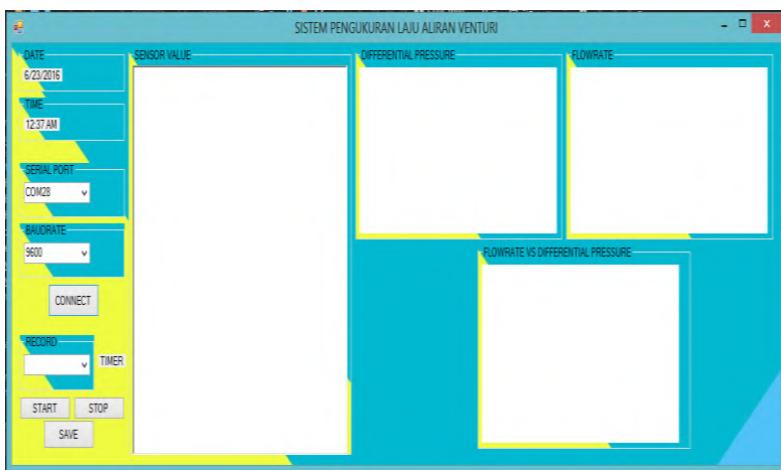
void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
Serial.begin(9600);
}

void loop() {
    // put your main code here, to run repeatedly:
int sensorValue = analogRead(A0);
double voltage = sensorValue*(5.0/1023.0); //konversi tegangan dari
double kPa = ((voltage/5.0)-0.04)/0.09; //konversi adc ke kpa
double Psi = kPa*0.145038; //konversi tegangan ke psi
//Serial.println("Psi= ");
Serial.print (Psi, 3);
Serial.print("'");
double x = 19.054*Psi;
double flow = sqrt(x);
double flowkalibrasi = (flow+2); //flow yg terkalibrasi
//Serial.println("Kalibrasi= ");
Serial.print (flowkalibrasi, 3);
Serial.println("");
delay(3000);
}

Done Saving
Global variables use 200 bytes (9%) of dynamic memory, leaving
1,848 bytes for local variables. Maximum is 2,048 bytes.
20
Arduino Uno on COM71
```

Gambar 3.9 Tampilan pada Arduino

Setelah itu, arduino akan dihubungkan dengan software visual basic 2013 untuk tampilan yang lebih mudah dimengerti oleh pengguna. Berikut tampilan pengukuran pada visual basic 2013.



Gambar 3.10. Interface pengukuran dalam Visual Basic 2013

3.4 Pengujian Alat dan Sistem Monitoring

Sistem monitoring laju aliran pada hydraulic bench terlebih dulu dirangkai Arduino board dan sensor. Selanjutnya dilakukan percobaan sederhana. Pada sistem pengukuran aliran diuji coba dengan cara menyalakan pompa kemudian air akan mengalir secara sequensial. Pada venturi, dipasang selang pada bagian inlet dan pada bagian throat. Bagian inlet merupakan P1, sedangkan bagian throat merupakan P2 (tekanan vakum). Kedua selang dihubungkan pada kedua port sensor sesuai dengan datasheet sensor. Dari pengukuran tersebut didapatkan perbedaan tekanan antara P1 dan P2 venturi, sehingga dapat diketahui pula kecepatan aliran dan flowrate yang mengalir pada venturi tersebut. Untuk rangkaian mekanik dilakukan uji coba dengan mengalirkan air ke pipa yang telah terpasang dengan beberapa alat ukur aliran yaitu pitot tube, venturi meter, rotameter, elbow tabs, dan orifice. Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui ada atau tidaknya kebocoran pada pipa dan berfungsi tidaknya *rotameter* sebagai kalibrator untuk alat ukur yang diuji. Apabila semua rancangan bangun dan sistem monitoring laju aliran dapat

bekerja dengan baik, maka selanjutnya dilakukan pengambilan data pada venturi.

3.5 Pengambilan Data

Pada tahap pengambilan data untuk karakteristik statik dan kalibrasi merupakan tahap dimana melihat spesifikasi yang dimiliki oleh sistem monitoring yang telah dibuat, dengan adanya data tersebut dapat diketahui perfomansi sistem monitoring. Pada karakteristik statik alat yang dicari yaitu nilai range, span, resolusi, sensitivitas, non-linieritas, histeresis, serta akurasi. Sedangkan untuk data kalibrasi digunakan untuk mencari nilai ketidakpastian dari hasil pengukuran ketika menggunakan perangkat sistem monitoring arus dan tegangan *input-output* ini. Berikut merupakan langkah-langkah pengambilan data karakteristik statik :

- Nilai *range*, *span*, dan resolusi sistem monitoring dicatat sesuai spesifikasi sensor arus dan tegangannya.
- Nilai sensitivitas ditentukan dengan rumus :

$$Sensitivitas = \frac{\Delta O}{\Delta I} \quad (3.1)$$

- Nilai linieritas dengan rumus linieritas :

$$O - O_{min} = \left[\frac{O_{maks} - O_{min}}{I_{maks} - I_{min}} \right] (I - I_{min}) \quad (3.2)$$

$$O_{ideal} = KI + a \quad (3.3)$$

Dimana :

$$K = \text{Kemiringan garis lurus ideal} = \frac{O_{maks} - O_{min}}{I_{maks} - I_{min}}$$

$$a = \text{Koefisien garis lurus ideal} = O_{min} - KI_{min}$$

- Histerisis ditentukan dengan melakukan pengambilan data input naik dan turun, dengan persamaan histerisis :

$$H(I) = O(I)_{I\downarrow} - O(I)_{I\uparrow} \quad (3.4)$$

$$\% \text{ Maksimum histerisis} = \frac{\hat{H}}{O_{max} - O_{min}} \times 100\% \quad (3.5)$$

- Nilai akurasi ditentukan dari pembacaan alat dengan pembacaan standar, nilai akurasi ditentukan dari nilai kesalahan akurasi dengan persamaannya, yaitu :

$$A = 1 - \left| Rata - Rata \frac{(pemb.std - pemb.alat)}{pembacaan std} \right| \quad (3.6)$$

3.6 Analisis Data dan Pembahasan

Setelah pembuatan rancangan telah selesai dengan hasil yang sesuai dengan yang di inginkan, kemudian dilakukan analisa data dengan memanfaatkan hasil dari uji performansi dan sistem monitoring.

3.7 Penulisan Laporan

Setelah semua hasil yang diinginkan tercapai kemudian semua hasil mulai dari studi literatur sampai dengan analisa data dan kesimpulan dicantumkan dalam sebuah laporan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

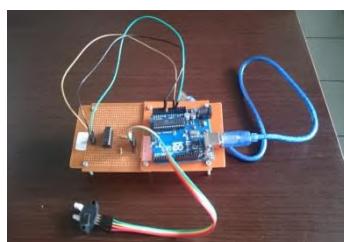
BAB IV

ANALISA DATA

4.1 Analisa Data

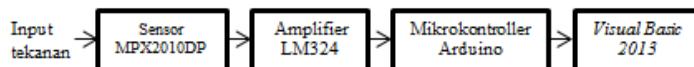
4.1.1. Hasil Rancang Bangun

Gambar 4.1 dibawah ini merupakan hasil perancangan sistem pengukuran laju aliran menggunakan venturimeter yang terdiri atas rangkaian sensor MPX2010DP, rangkaian *amplifier* LM324, dan mikrokontroler Arduino Uno.



Gambar 4.1. *Hardware* sistem pengukuran laju aliran

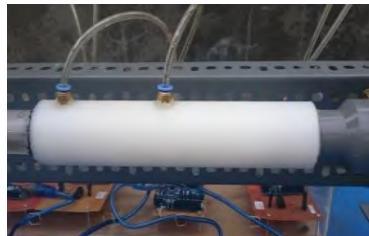
Berdasarkan hasil rancang bangun yang dibuat, didapat diagram blok dari sistem monitoring ini yang dapat dilihat pada Gambar 4.2 dibawah ini.



Gambar 4.2. Diagram Blok Sistem Pengukuran Laju Aliran pada Venturimeter

Pada diagram blok Gambar 4.2 diatas, dijelaskan bahwa Input yang masuk berupa perbedaan tekanan yang akan dideteksi oleh sensor MPX2010DP yang merupakan *sensing element*, tegangan yang keluar dari sensor tersebut nilai tegangannya belum dapat dibaca oleh mikrokontroler karena nilainya kecil sehingga perlu diberi penguatan dengan rangkaian IC LM324 sebagai *signal conditioning*. Tegangan analog yang telah dikuatkan *amplifier*akan diproses oleh mikrokontroler Arduino

Uno yang mengkonversi tegangan analog menjadi nilai tekanan (kPa). Hasil nilai pengukuran dari mikrokontroller ditampilkan melalui *software* Visual Studio 2013 sebagai *display/data representation*.



Gambar 4.3. Rancang Bangun Venturimeter

Pada pemasangannya, venturimeter diletakkan secara mendatar searah dengan datangnya fluida. Perbedaan luas penampang inlet dan throat menyebabkan adanya perbedaan tekanan pada penampang besar (*inlet*) dan penampang kecil (*throat*) sehingga dipasang selang pada penampang besar dan kecil untuk mendeteksi tekanan oleh sensor.

4.1.2. Pengujian Alat

Setelah dilakukan perancangan alat, dilakukan pengujian alat dengan mencari data pengujian dari *input* dan *output* alat sebagai nilai pengonversi dari nilai keluaran sensor menjadi nilai yang sesuai dengan besaran fisis yang diukur. Pengujian pembacaan tekanan dilakukan pada rentang 3 - 15 LPM. Pembacaan dilakukan sebanyak 10 kali Hasil y regresi antara alat standar (rotameter) dengan rata-rata tekanan yang dihasilkan alat uji akan dijadikan nilai koefisien dari venturimeter. Dengan data pengujian alat yang tercantum pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

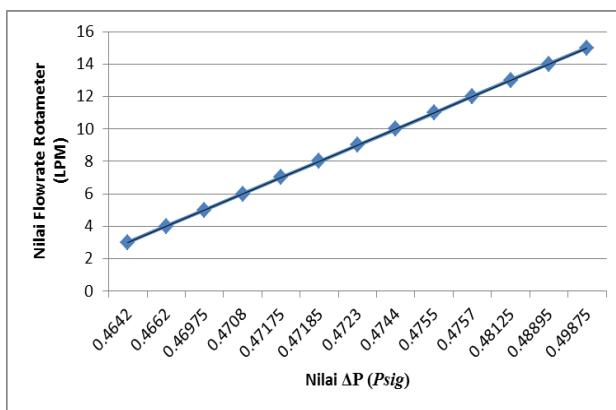
Tabel 4.1.Data Untuk Mencari Nilai Cv

No.	Rotameter (LPM)	Nilai ΔP (Psig)
1	3	0,4642
2	4	0,4662
3	5	0,4697

Tabel 4.1 Lanjutan

No.	Rotameter (LPM)	Nilai ΔP (Psig)
4	6	0,4708
5	7	0,4717
6	8	0,4718
7	9	0,4723
8	10	0,4744
9	11	0,4755
10	12	0,4757
11	13	0,4812
12	14	0,4889
13	15	0,4987

Berdasarkan Tabel 4.1 data pengujian alat dari hasil pengukuran tekanan menghasilkan nilai Cv yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 sebagai berikut :

**Gambar 4.4.**Grafik Linearitas Antara Nilai Flow Rotameter dan Nilai Perbedaan Tekanan Sensor

Berdasarkan Gambar 4.4 diatas, nilai Cv didapat dari hasil pengukuran pada pada Tabel 4.1, dimana hasil tersebut diolah dalam excel kemudian garis yang muncul diatur menjadi intercept sehingga nilai $y = ax$. Nilai a merupakan gain atau konstanta yang dijadikan nilai Cv dalam pengukuran aliran pada venturimeter. Sehingga dari grafik yang dihasilkan pada Gambar

4.4 menunjukkan bahwa nilai Cv dari alat ukur pitot tube adalah $a = Cv = 1,2222x$. Dari nilai Cv yang didapat maka dapat dicari nilai flowrate dengan persamaan rumus $Q = \sqrt{Cv \times \Delta P}$. Berikut Tabel 4.2 merupakan data nilai standar dari pengukuran flowmeter yang dapat dijadikan acuan untuk pengukuran flowrate pada venturimeter.

Tabel 4.2.Data Nilai Standar *flowrate* pada Venturimeter

No.	Rotameter (LPM)	Pembacaan Flowmeter (m ³ /menit)		Pembacaan Standart (flowmeter = f ₁ - f ₂) m ³ /menit	Pembacaan STD flowmeter (LPM)	Flowrate yang terbaca sensor (LPM)
		f ₁	f ₂			
1	3	1.3522	1.3501	0.0021	2.1	2,7106
2	4	1.3532	1.3509	0.0023	2.3	2,7244
3	5	1.3541	1.3517	0.0024	2.4	2,7283
4	6	1.3553	1.3528	0.0025	2.5	2,7382
5	7	1.3569	1.3543	0.0026	2.6	2,7400
6	8	1.3597	1.3571	0.0026	2.6	2,7436
7	9	1.3609	1.3582	0.0027	2.7	2,7434
8	10	1.3631	1.3602	0.0029	2.9	2,7455
9	11	1.3622	1.3592	0.003	3.0	2,7453
10	12	1.3633	1.3602	0.0031	3.1	2,7460
11	13	1.3652	1.3621	0.0031	3.1	2,7461
12	14	1.3665	1.3633	0.0032	3.2	2,7460

Nilai standar flowrate yang dijadikan acuan berdasarkan dari pengukuran flowmeter.Pada pengukuran flowmeter terdapat 2 pembacaan yaitu f₁ dan f₂, dimana f₁ merupakan nilai awal yang terbaca pada flowmeter sebelum dialiri air, sedangkan f₂ merupakan nilai yang didapat setelah flowmeter dialiri air.

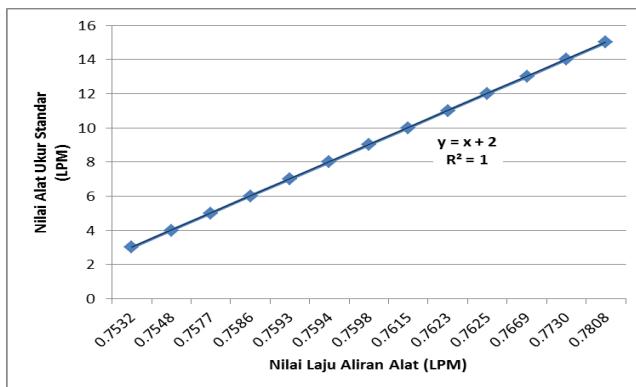
Tabel 4.3.Data pengujian alat pada pengukuran laju aliran

No.	Rotameter (LPM)	Nilai Laju Aliran (LPM)	Nilai ΔP (Psig)
1	3	0,7532	0,4642

Tabel 4.3 Lanjutan

No.	Rotameter (LPM)	Nilai Laju Aliran (LPM)	Nilai ΔP (Psig)
2	4	0,7548	0,4662
3	5	0,7577	0,4697
4	6	0,7586	0,4708
5	7	0,7593	0,4717
6	8	0,7594	0,4718
7	9	0,7598	0,4723
8	10	0,7615	0,4744
9	11	0,7623	0,4755
10	12	0,7625	0,4757
11	13	0,7669	0,4812
12	14	0,7730	0,4889
13	15	0,7808	0,4987

Berdasarkan data pengujian alat dari hasil pengukuran flowrate (LPM) maka menghasilkan grafik pada Gambar 4.5 sebagai berikut.



Gambar 4.5.Grafik pengujian laju aliran dari alat yang dibuat dengan alat ukur standar.

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa persamaan pengujian dari alat yang dibandingkan dengan alat ukur yang

lebih standar, dimana persamaan yang muncul akan dijadikan nilai acuan konversi untuk pembacaan keluaran sensor yaitu $y = x+2$, dimana y sebagai nilai dari pembacaan alat standar dan x merupakan nilai pembacaan alat.

4.1.3. Data Spesifikasi Alat

Berdasarkan data yang telah didapatkan dari pengujian spesifikasi alat melalui data karakteristik statik menghasilkan data pada Tabel 4.4.berikut :

Tabel 4.4. Pengujian Karakteristik Alat Ukur Laju Aliran

No.	Rotameter (LPM)	Pemb. Std (LPM)	Nilai Rata-rata Pengujian		Beda Hysterisis	O ideal (LPM)	Non- Linearitas
			Uji Naik (LPM)	Uji Turun (LPM)			
1	3	2,7532	2,7157	2,7106	0,005	2,7157	0
2	4	2,7548	2,7222	2,7244	0,002	2,7176	0,005
3	5	2,7577	2,7319	2,7283	0,004	2,7211	0,011
4	6	2,7586	2,7419	2,7382	0,004	2,7222	0,02
5	7	2,7593	2,7416	2,7400	0,002	2,7231	0,018
6	8	2,7594	2,7435	2,7436	0	2,7232	0,02
7	9	2,7598	2,7449	2,7434	0,002	2,7237	0,021
8	10	2,7615	2,7464	2,7455	0,001	2,7257	0,021
9	11	2,7623	2,7476	2,7453	0,002	2,7267	0,021
10	12	2,7625	2,7492	2,7460	0,003	2,7269	0,022
11	13	2,7669	2,7484	2,7461	0,002	2,7323	0,016
12	14	2,7730	2,7488	2,7460	0,003	2,7397	0,009
13	15	2,7808	2,7470	2,7445	0,002	2,7492	-0,002
Jumlah	35,910	35,63	35,6				-0,002
Rata-rata	2,7623	2,7407	2,7386				
Rata-rata	2,7623	2,7407	2,7386				

Berdasarkan Tabel 4.4 dapat diketahui karakteristik alat ukur. Berikut perhitungan dari nilai karakteristik alat ukur yang didapat :

- Sensitivitas $\frac{\Delta O}{\Delta I} = \frac{2,7492 - 2,7157}{2,7808 - 2,7532} = 1,2138$
- Hysterisis

$H(I) = O(I)_{I\uparrow} - O(I)_{I\downarrow}$; $\hat{H} = H(I)_{\max}$; sehingga maksimum histerisis didapat sebesar

$$\% \text{maks.histerisis} = \frac{\hat{H}}{O_{\max} - O_{\min}} \times 100\%$$

$$\% \text{maks.histerisis} = \frac{0,002}{2,7492 - 2,7157} \times 100\% = 5,7\%$$

- Non-linieritas
 $(N(I)) = O(I) - (KI + a)$; data diambil pada saat pembacaan naik.

$$\text{non-linieritas}_{\max} = \frac{N}{O_{\max} - O_{\min}} \times 100\%$$

dimana diketahui nilai $a = -0,626$ dan nilai $k = 1,2138$ dan nilai non-linieritas maksimum sebesar sehingga didapat nilai non linieritas maksimum per unit sebesar:

$$\text{non-linearitas maks} = \frac{0,022}{2,7492 - 2,7157} = 66,3\%$$

- Akurasi

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - Y_x}{Y_n} \right| \times 100\%$$

$$A = 1 - |0,008| \times 100\%$$

$$A = 99,22\%$$

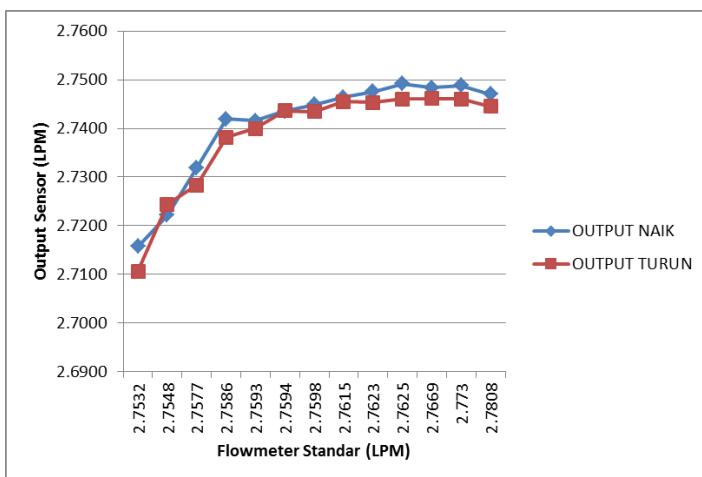
- Error

$$e = 1 - A$$

$$e = 1 - 0,992$$

$$e = 0,007$$

Dari nilai hysteresis yang didapat, digambarkan melalui grafik pada Gambar 4.6.dibawah ini :



Gambar 4.6. Grafik Hysterisis

Berdasarkan dari perhitungan diatas, didapatkan hasil karakteristik statis dari alat ukur yang dibuat yang tercantum pada Tabel 4.5 sebagai berikut :

Tabel 4.5. Karakteristik Alat Ukur Laju Aliran

<i>Range</i>	2,7106-2,7492 LPM
Span	0,0386
Resolusi	0,0001
Sensitivitas	1,2138 LPM
<i>Hysterisis</i>	5,7%
Non-linearitas	66,3%
Akurasi	99,22%
<i>Error</i>	0,78%

4.1.4. Data Kalibrasi Alat Ukur Laju Aliran

Setalah mengetahui spesifikasi alat ukur, selanjutnya dilakukan kalibrasi alat ukur suhu dengan membandingkan dengan alat ukur standar yaitu flowmeter. Data kalibrasi diambil sebanyak 13 titik (3-15 LPM) dengan pengambilan 10 data. Berikut data kalibrasi alat ukur laju aliran venturi pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Data Kalibrasi Alat Ukur Laju Aliran Venturi

Rotameter (LPM)	Pemb. standar (LPM)	Rata-rata pemb. uji (LPM)	koreksi	yreg	R	SSR
3	2,7532	2,7224	0,0308	0,0213	0,00946	8,95E-05
4	2,7548	2,7148	0,0400	0,0215	0,01851	0,000343
5	2,7577	2,7241	0,0336	0,0219	0,01163	0,000135
6	2,7586	2,7424	0,0161	0,0220	-0,00597	3,56E-05
7	2,7593	2,7424	0,0168	0,0221	-0,00531	2,82E-05
8	2,7594	2,7424	0,0169	0,0222	-0,00524	2,74E-05
9	2,7598	2,7490	0,0107	0,0222	-0,01148	0,000132
10	2,7615	2,7474	0,0140	0,0224	-0,00839	7,05E-05
11	2,7623	2,7424	0,0198	0,0226	-0,00271	7,35E-06
12	2,7625	2,7498	0,0126	0,0226	-0,00994	9,89E-05
13	2,7669	2,7457	0,0212	0,0232	-0,00204	4,15E-06
14	2,7730	2,7474	0,0256	0,0240	0,00159	2,54E-06
15	2,7808	2,7457	0,0350	0,0251	0,00987	9,75E-05
Jumlah	35,9	35,61	0,2938			0,001
Rata-rata	2,7623	2,7397	0,0226			

Dari data diatas maka dapat ditentukan nilai ketidakpastian alat ukur, berikut merupakan perhitungannya :

- Nilai ketidakpastian Tipe A

$$UA1 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

dimana σ = standar deviasi

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1}}$$

$\sigma = 0,009$, sehingga didapat nilai $Ua1$ sebagai berikut :

$$UA1 = \frac{0,009}{\sqrt{12}}$$

$$UA1 = 0,0027$$

Sedangkan nilai $Ua2$ didapat sebagai berikut :

$$UA2 = \sqrt{\frac{SSR}{n-1}}$$

Dimana :

$$SSR = \sum SR$$

$$SR = R^2$$

Y_i (nilai koreksi) = Pemb. Standar – Pemb. Alat

$$Y_{reg} = a + (bxti)$$

$$a = \bar{Y}_i - (bxti)$$

$$b = \frac{n \sum t_i Y_i - \sum y_i t_i}{n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}$$

t_i = Pembacaan standar

Y_i = Nilai koreksi

n = Jumlah data

$$b = \frac{13(0,81) - (0,29 \times 35,9)}{13(99,1) - 1289,51}$$

$$b = 0,085$$

selanjutnya menentukan nilai a sebagai berikut :

$$a = 0,0226 - (0,138 \times 2,762)$$

$$a = -0,359$$

Setelah diketahui nilai a dan b , maka dapat ditentukan persamaan regresi sebagai berikut :

$$Y_{reg} = 0,085 - 0,359ti$$

dari persamaan regresi tersebut didapat nilai SSR sebesar = 0,001, maka didapat nilai U_{a2} sebesar :

$$U_{A2} = \sqrt{\frac{0,001}{13-2}}$$

$$U_{A2} = 0,0098$$

- Analisa ketidakpastian tipe B

$$U_{B1} = \frac{\frac{1}{2} resolusi}{\sqrt{3}}$$

$$U_{B1} = 0,000025$$

dikarenakan pada alat standar tidak terdapat sertifikat kalibrasinya maka nilai : $U_{B2} = 0,027$

- Nilai ketidakpastian kombinasi U_c

$$U_c = \sqrt{U_{A1} + U_{A2} + U_{B1} + U_{B2}}$$

$$U_c = \sqrt{0,0027^2 + 0,0098^2 + 0,000025^2 + 0,027^2}$$

$$U_c = 0,0296$$

selanjutnya ditentukan nilai V_{eff} , dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_{eff} = \frac{Uc^4}{\sum Vi^4}$$

Dengan nilai V atau derajat kebebasan dari 2 tipeketidakpastian, sebagai berikut :

$V = n - 1$, sehingga :

$V1 = 12$; $V2 = 12$; $V3 = \infty$; $V4 = 60$ (berdasarkan tabel T Student)

$$V_{eff} = \frac{0,0294^4}{\frac{0,0027^4}{12} + \frac{0,0098^4}{12} + \frac{0,000025^4}{\infty} + \frac{0,027^4}{60}}$$

$$V_{eff} = 71,67$$

Hasil dari nilai V_{eff} digunakan untuk menentukan nilai faktor cakupan k pada tabel T-student. Berdasarkan nilai $V_{eff} = 71,67$ dan dengan tingkat kepercayaan 95 % maka didapat nilai K sebesar 1,99442. Dan didapat nilai ketidakpastian sebagai berikut :

$$U_{exp} = k \cdot uc$$

$$U_{exp} = (1,99442)(0,029)$$

$$U_{exp} = 0,059$$

Dengan hasil perhitungan nilai ketidakpastian diperluas sebesar $\pm 0,059$ LPM. Nilai ini merupakan acuan nilai ketidakpastian pembacaan alat dengan tingkat kepercayaan 95%

berdasarkan tabel *T-Student*. Dan diketahui bahwa $U_{exp} < \text{standar } 5\%$ yaitu $0,0591 < 0,1374$ sehingga alat uji masih layak untuk digunakan.

4.1.5. Hasil Pengukuran dan Monitoring Laju Aliran Menggunakan Venturimeter

Dari pengukuran yang telah dilakukan, didapatkan hasil pengukuran dengan metode perbedaan tekanan pada Venturi seperti pada Tabel 4.7. dibawah ini:

Tabel 4.7. Data Sample Hasil Monitoring Laju Aliran

No	Tanggal	Waktu	Rotameter (LPM)	Rata-rata Flow (LPM)
1	6/26/2016	1:51 WIB	3	2,7071
2	6/26/2016	1:51 WIB	4	2,7124
3	6/26/2016	1:51 WIB	5	2,7182
4	6/26/2016	1:51 WIB	6	2,7234
5	6/26/2016	1:51 WIB	7	2,7297
6	6/26/2016	1:51 WIB	8	2,7344
7	6/26/2016	1:51 WIB	9	2,7400
8	6/26/2016	1:51 WIB	10	2,7455
9	6/26/2016	1:51 WIB	11	2,7561
10	6/26/2016	1:51 WIB	12	2,7673
11	6/26/2016	1:51 WIB	13	2,7838
12	6/26/2016	1:51 WIB	14	2,7992
13	6/26/2016	1:51 WIB	15	2,8895

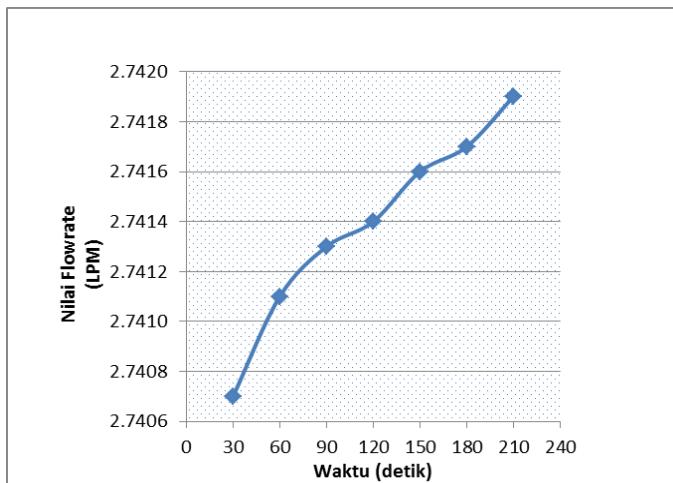
4.1.6. Karakteristik Dinamik Menggunakan Sampling Waktu

Berikut ini merupakan data hasil pengukuran aliran berdasarkan sampling waktu dengan range pengukuran berbeda-beda. Pengujian sampling ini dilakukan untuk melihat respon data terhadap waktu dan range setiap beberapa menit.

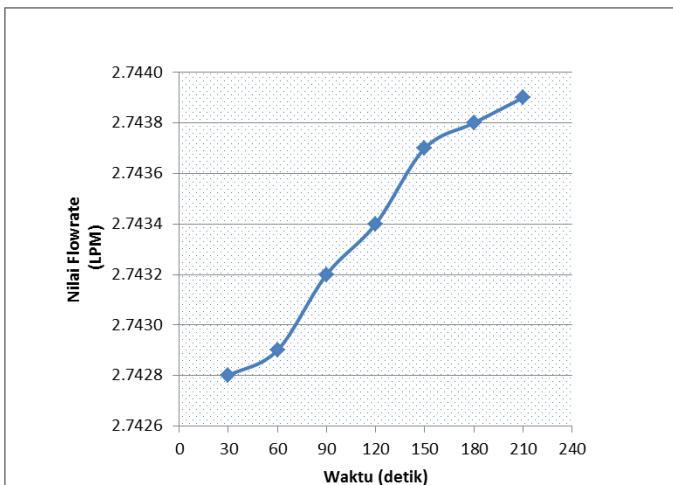
Tabel 4.8.Hasil Uji Sampling Data Setiap 30 Detik

No	Range Ukur (Rotameter) LPM	Sampling			Delay (detik)	
		30 detik				
		Flowrate (LPM)	Tanggal	Waktu		
1	7 LPM	2.7407	7/16/2016	15:05:03	30 detik	
		2.7411	7/16/2016	15:05:36	33 detik	
		2.7413	7/16/2016	15:06:09	33 detik	
		2.7414	7/16/2016	15:06:42	33 detik	
		2.7416	7/16/2016	15:07:15	33 detik	
		2.7417	7/16/2016	15:07:48	33 detik	
		2.7419	7/16/2016	15:08:21	-	
2	9 LPM	2.7428	7/16/2016	15:10:02	30 detik	
		2.7429	7/16/2016	15:10:35	33 detik	
		2.7432	7/16/2016	15:11:08	33 detik	
		2.7434	7/16/2016	15:11:41	33 detik	
		2.7437	7/16/2016	15:12:14	33 detik	
		2.7438	7/16/2016	15:12:47	33 detik	
		2.7439	7/16/2016	15:13:20	-	
3	11 LPM	2.7451	7/16/2016	15:14:01	30 detik	
		2.7455	7/16/2016	15:14:34	33 detik	
		2.7459	7/16/2016	15:15:07	33 detik	
		2.7465	7/16/2016	15:15:40	33 detik	
		2.7468	7/16/2016	15:16:13	33 detik	
		2.7472	7/16/2016	15:16:46	33 detik	
		2.7476	7/16/2016	15:17:19	-	

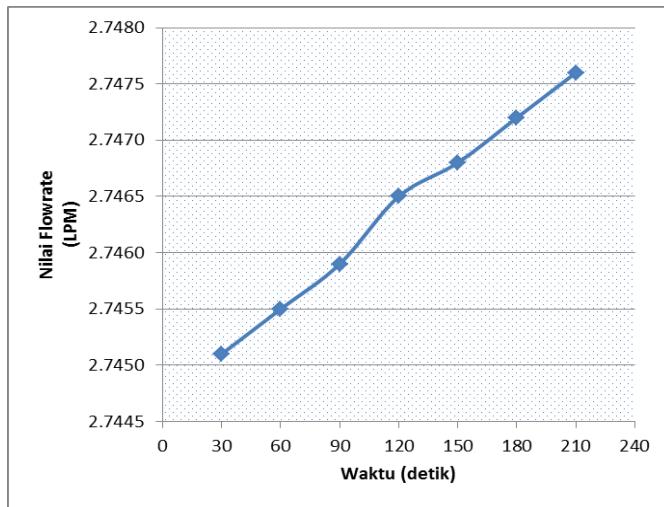
Dari data pada Tabel 4.8, menghasilkan grafik pada Gambar 4.7, Gambar 4.8, Gambar 4.9 sebagai berikut :



Gambar 4.7.Grafik Sampling 30 Detik pada Range Rotameter 7 LPM



Gambar 4.8.Grafik Sampling 30 Detik pada Range Rotameter 9 LPM



Gambar 4.9.Grafik Sampling 30 Detik pada Range Rotameter 11 LPM

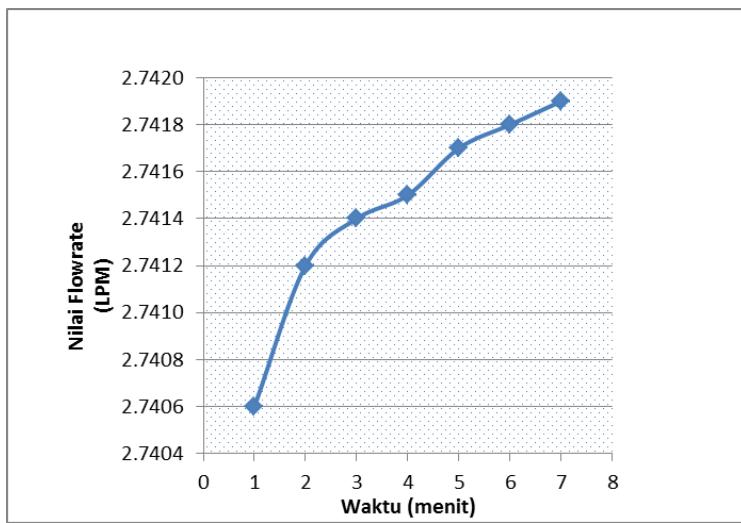
Tabel 4.9.Hasil Uji Sampling Data Setiap 1 Menit

No	Range Ukur (Rotameter) LPM	Sampling			Delay (m:d)	
		1 menit				
		Flowrate (LPM)	Tanggal	Waktu		
1	7 LPM	2,7406	7/16/2016	16:05:21	1 m	
		2,7412	7/16/2016	16:06:24	1m ,3 d	
		2,7414	7/16/2016	16:07:27	1m ,3 d	
		2,7415	7/16/2016	16:08:30	1m ,3 d	
		2,7417	7/16/2016	16:09:33	1m ,3 d	
		2,7418	7/16/2016	16:10:36	1m ,3 d	
		2,7419	7/16/2016	16:11:39	-	

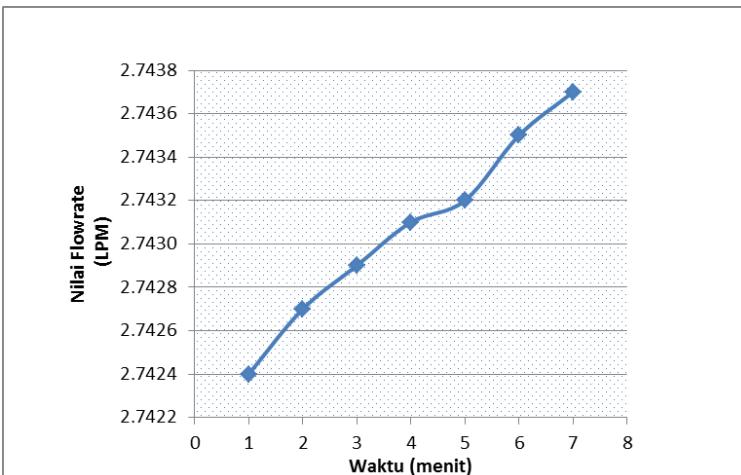
Tabel 4.9 Lanjutan

No	Range Ukur (Rotameter) LPM	Sampling			Delay (m:d)	
		1 menit				
		Flowrate (LPM)	Tanggal	Waktu		
2	9 LPM	2,7424	7/16/2016	16:15:11	1 m	
		2,7427	7/16/2016	16:16:14	1 m ,3 d	
		2,7429	7/16/2016	16:17:17	1 m ,3 d	
		2,7431	7/16/2016	16:18:20	1 m ,3 d	
		2,7432	7/16/2016	16:19:23	1 m ,3 d	
		2,7435	7/16/2016	16:20:26	1 m ,3 d	
		2,7437	7/16/2016	16:21:29	-	
3	11 LPM	2,7449	7/16/2016	16:25:12	1 m	
		2,7452	7/16/2016	16:26:15	1 m ,3 d	
		2,7453	7/16/2016	16:27:18	1 m ,3 d	
		2,7457	7/16/2016	16:28:21	1 m ,3 d	
		2,7468	7/16/2016	16:29:24	1 m ,3 d	
		2,7470	7/16/2016	16:30:27	1 m ,3 d	
		2,7473	7/16/2016	16:31:30	-	

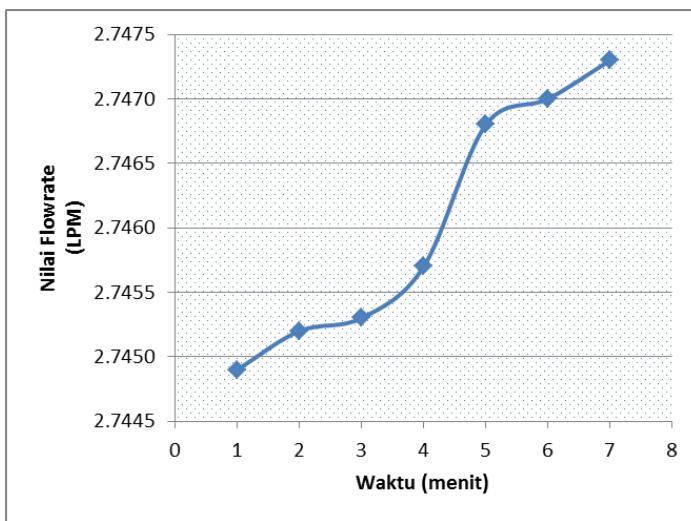
Dari data pada Tabel 4.9, menghasilkan grafik sebagai berikut :



Gambar 4.10.Grafik Sampling 1 Menit pada Range Rotameter 7 LPM



Gambar 4.11.Grafik Sampling 1 Menit pada Range Rotameter 9 LPM



Gambar 4.12. Grafik Sampling 1 Menit pada Range Rotameter 11 LPM

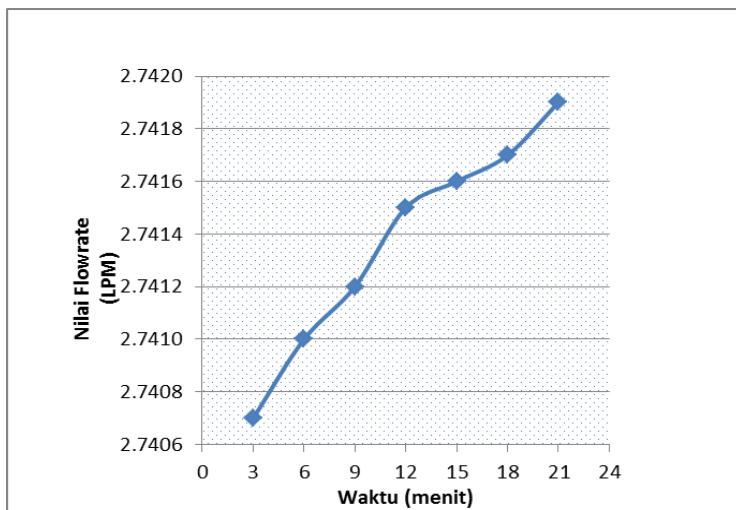
Tabel 4.10. Hasil Uji Sampling Data Setiap 3 Menit

No	Range Ukur (Rotameter) LPM	Sampling			Delay (m:d)
		3 menit			
1	7 LPM	Flowrate (LPM)	Tanggal	Waktu	
		2,7407	7/16/2016	16:35:11	3 m
		2,7410	7/16/2016	16:38:14	3m ,3 d
		2,7412	7/16/2016	16:41:17	3m ,3 d
		2,7415	7/16/2016	16:44:20	3m ,3 d
		2,7416	7/16/2016	16:47:23	3m ,3 d
		2,7417	7/16/2016	16:50:26	3m ,3 d
		2,7419	7/16/2016	16:53:29	-

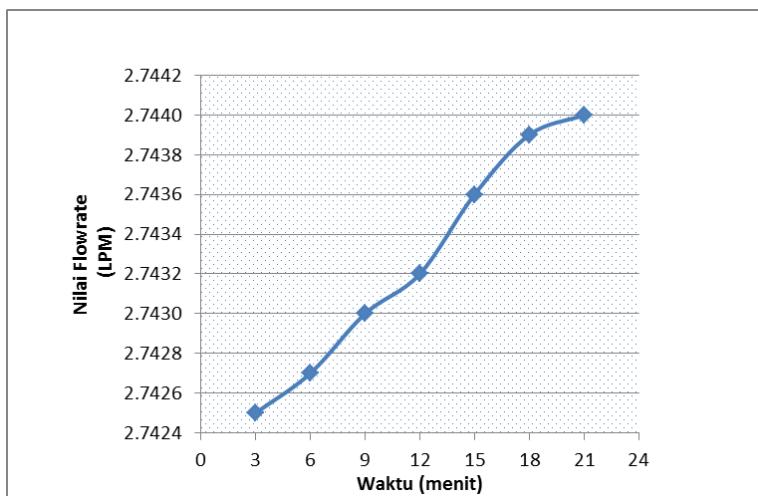
Tabel 4.10. Lanjutan

No	Range Ukur (Rotameter) LPM	Sampling			Delay (m:d)	
		3 menit				
		Flowrate (LPM)	Tanggal	Waktu		
2	9 LPM	2,7425	7/16/2016	17:01:05	3 m	
		2,7427	7/16/2016	17:04:08	3 m ,3 d	
		2,7430	7/16/2016	17:07:11	3 m ,3 d	
		2,7432	7/16/2016	17:10:14	3 m ,3 d	
		2,7436	7/16/2016	17:13:17	3 m ,3 d	
		2,7439	7/16/2016	17:16:20	3 m ,3 d	
		2,7440	7/16/2016	17:19:23	-	
3	11 LPM	2,7450	7/16/2016	17:22:12	3 m	
		2,7452	7/16/2016	17:25:15	3 m ,3 d	
		2,7455	7/16/2016	17:28:18	3 m ,3 d	
		2,7459	7/16/2016	17:31:21	3 m ,3 d	
		2,7462	7/16/2016	17:34:24	3 m ,3 d	
		2,7466	7/16/2016	17:37:27	3 m ,3 d	
		2,7468	7/16/2016	17:40:30	-	

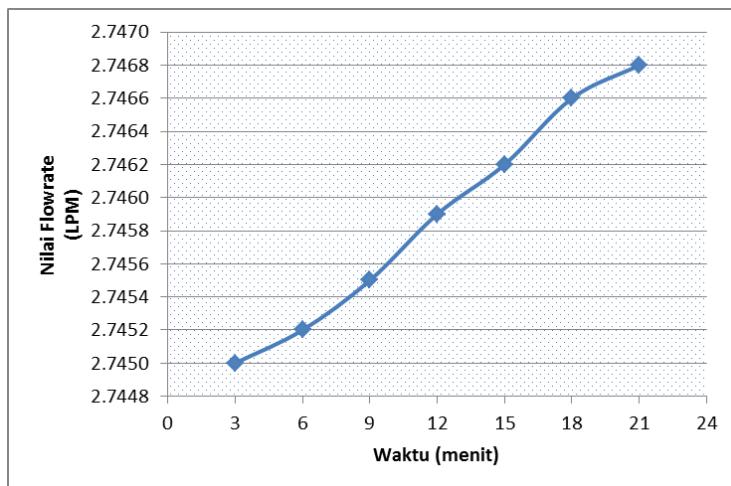
Dari data pada Tabel 4.10.diatas, menghasilkan grafik pada Gambar 4.13, Gambr 4.14, Gambar 4.15 sebagai berikut :



Gambar 4.13. Grafik Sampling 3 Menit pada Range Rotameter 7 LPM



Gambar 4.14. Grafik Sampling 3 Menit pada Range Rotameter 9 LPM



Gambar 4.15. Grafik Sampling 3 Menit pada Range Rotameter 11 LPM

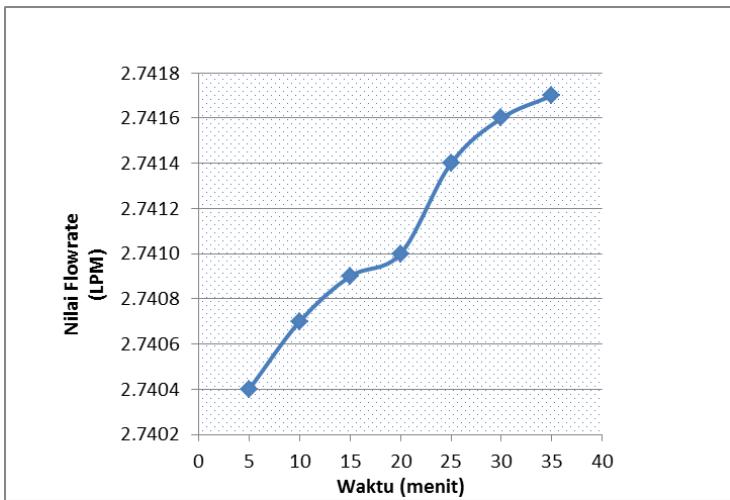
Tabel 4.11. Hasil Uji Sampling Data Setiap 5 Menit

No	Range Ukur (Rotameter) LPM	Sampling			Delay (m:d)	
		5 menit				
		Flowrate (LPM)	Tanggal	Waktu		
1	7 LPM	2,7404	7/16/2016	19:01:05	5 m	
		2,7407	7/16/2016	19:06:08	5m ,3 d	
		2,7409	7/16/2016	19:11:11	5m ,3 d	
		2,7410	7/16/2016	19:16:14	5m ,3 d	
		2,7414	7/16/2016	19:21:17	5m ,3 d	
		2,7416	7/16/2016	19:26:20	5m ,3 d	
		2,7417	7/16/2016	19:31:23	-	

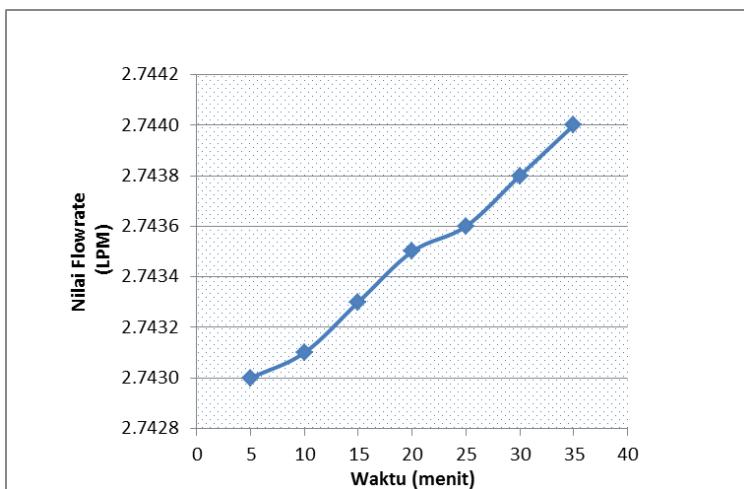
Tabel 4.11. Lanjutan

No	Range Ukur (Rotameter) LPM	Sampling			Delay (m:d)	
		5 menit				
		Flowrate (LPM)	Tanggal	Waktu		
2	9 LPM	2,7430	7/16/2016	19:35:01	5 m	
		2,7431	7/16/2016	19:40:04	5 m ,3 d	
		2,7433	7/16/2016	19:45:07	5 m ,3 d	
		2,7435	7/16/2016	19:50:10	5 m ,3 d	
		2,7436	7/16/2016	19:55:13	5 m ,3 d	
		2,7438	7/16/2016	20:00:16	5 m ,3 d	
		2,7440	7/16/2016	20:05:19	-	
3	11 LPM	2,7452	7/16/2016	20:06:04	5 m	
		2,7459	7/16/2016	20:11:07	5 m ,3 d	
		2,7464	7/16/2016	20:16:10	5 m ,3 d	
		2,7466	7/16/2016	20:21:13	5 m ,3 d	
		2,7469	7/16/2016	20:26:16	5 m ,3 d	
		2,7472	7/16/2016	20:31:19	5 m ,3 d	
		2,7478	7/16/2016	20:36:22	-	

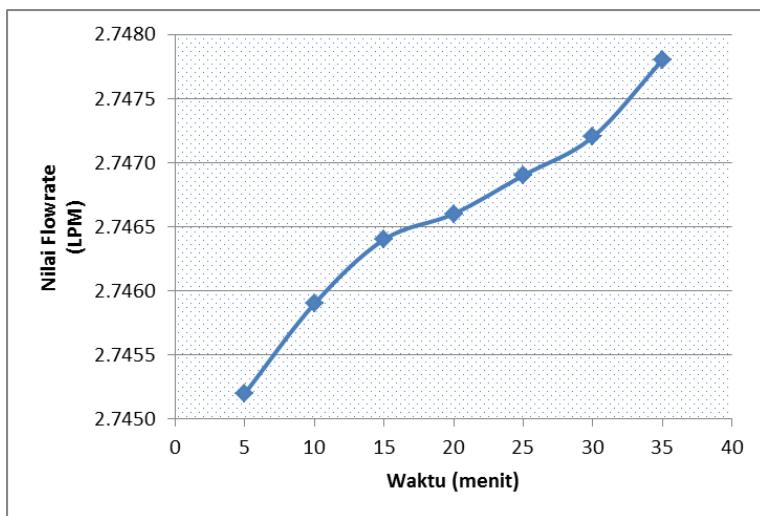
Dari data pada Tabel 4.11diatas, menghasilkan grafik pada Gambar 4.16, Gambar 4.17, Gambar 4.18 sebagai berikut :



Gambar 4.16. Grafik Sampling 5 Menit pada Range Rotameter 7 LPM



Gambar 4.17. Grafik Sampling 5 Menit pada Range Rotameter 9 LPM



Gambar 4.18.Grafik Sampling 5 Menit pada Range Rotameter 11 LPM

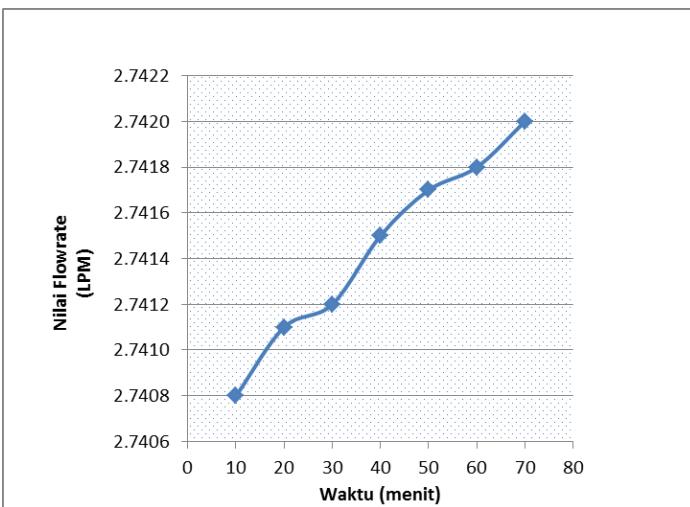
Tabel 4.12. Hasil Uji Sampling Data Setiap 10 Menit

No	Range Ukur (Rotameter) LPM	Sampling			Delay (m:d)
		10 menit	Flowrate (LPM)	Tanggal	
1	7 LPM	2,7408	2,7408	7/16/2016	20:37:07
		2,7411	2,7411	7/16/2016	20:47:10
		2,7412	2,7412	7/16/2016	20:57:13
		2,7415	2,7415	7/16/2016	21:07:16
		2,7417	2,7417	7/16/2016	21:17:19
		2,7418	2,7418	7/16/2016	21:27:22
		2,7420	2,7420	7/16/2016	21:37:25

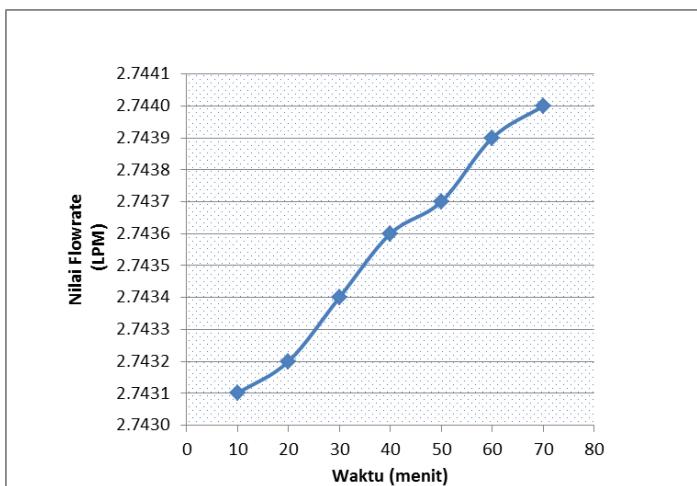
Tabel 4.12. Lanjutan

No	Range Ukur (Rotameter) LPM	Sampling			Delay (m:d)	
		10 menit				
		Flowrate (LPM)	Tanggal	Waktu		
2	9 LPM	2,7431	7/16/2016	21:38:01	10 m	
		2,7432	7/16/2016	21:48:04	10 m ,3 d	
		2,7434	7/16/2016	21:58:07	10 m ,3 d	
		2,7436	7/16/2016	22:08:10	10 m ,3 d	
		2,7437	7/16/2016	22:18:13	10 m ,3 d	
		2,7439	7/16/2016	22:28:16	10 m ,3 d	
		2,7440	7/16/2016	22:38:19	-	
3	11 LPM	2,7455	7/16/2016	22:39:04	10 m	
		2,7457	7/16/2016	22:49:07	10 m ,3 d	
		2,7458	7/16/2016	22:59:10	10 m ,3 d	
		2,7463	7/16/2016	23:09:13	10 m ,3 d	
		2,7464	7/16/2016	23:19:16	10 m ,3 d	
		2,7467	7/16/2016	23:29:19	10 m ,3 d	
		2,7469	7/16/2016	23:39:22	-	

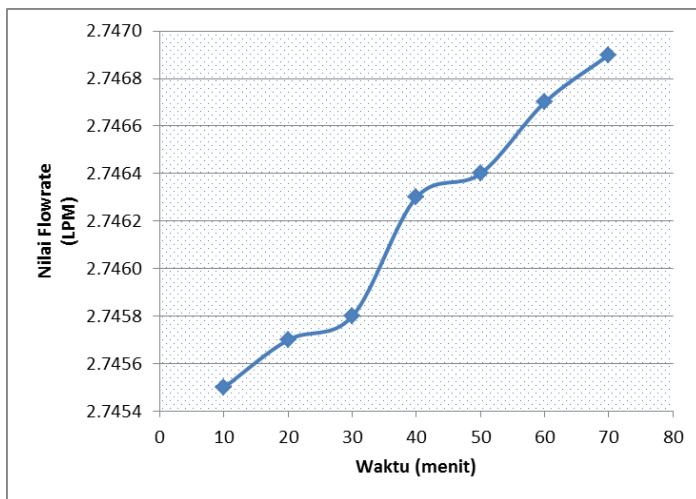
Dari data pada Tabel 4.12 diatas, menghasilkan grafik pada Gambar 4.19, Gambar 4.20, Gambar 4.21 sebagai berikut :



Gambar 4.19. Grafik Sampling 10 Menit pada Range Rotameter 7 LPM



Gambar 4.20. Grafik Sampling 10 Menit pada Range Rotameter 9 LPM



Gambar 4.21. Grafik Sampling 10 Menit pada Range Rotameter 11 LPM

4.1.7. Perbandingan Data Pengujian Alat Data dengan Perhitungan Teori

Pada Tabel 4.13 dicantumkan perbandingan data pengujian alat dengan perhitungan teori.

Tabel 4.13. Perbandingan Data Pengujian Alat dengan Perhitungan Teori

No	Rotameter (LPM)	Nilai cv	ΔP (psig)	Q teori (LPM) ($Q=\sqrt{cv \Delta P}$)	Pemb. Sensor (LPM)
1	3	1.2222	0.4175	2.7143	2.7143
2	4	1.2222	0.4245	2.7203	2.7203
3	5	1.2222	0.4369	2.7307	2.7307
4	6	1.2222	0.4529	2.7440	2.7440
5	7	1.2222	0.4504	2.7419	2.7419
6	8	1.2222	0.4512	2.7426	2.7426
7	9	1.2222	0.4540	2.7449	2.7449
8	10	1.2222	0.4576	2.7478	2.7478
9	11	1.2222	0.4566	2.7470	2.7470
10	12	1.2222	0.4584	2.7485	2.7485
11	13	1.2222	0.4576	2.7478	2.7478

Dari hasil data perbandingan pengukuran sensor dengan perhitungan teori yang dihitung, diketahui bahwa nilai yang terbaca oleh sensor sama persis hasilnya dengan perhitungan teori yang dilakukan.

4.2. Pembahasan

Sistem pengukuran dan monitoring laju aliran pada venturi pada tugas akhir ini adalah memonitoring laju aliran menggunakan sensor MPX2010DP memanfaatkan prinsip perbedaan tekanan.Serta interface menggunakan Visual Studio 2013 dan mikrokontroller Arduino Uno.

Prinsip kerja alat ukur dari venturi ini yaitu dapat mengukur laju aliran yang dialirkan secara sekuensial. Pada rancang bangun venturi ini, diameter luas penampang besar sebesar 3,5 cm dan luas penampang kecil sebesar 1,75 cm dengan panjang 25 cm. Pada luas penampang besar dan kecil dipasang selang untuk menyalurkan tekanan menuju sensor. Prinsip sensor tekanan ini adalah mengubah tekanan yang terukur menjadi besaran fisis.Nilai tegangan yang keluar dari sensor dikuatkan dengan menggunakan rangkaian *amplifier* IC LM324 sebelum diproses oleh arduino dan dimonitoring oleh visual studio.

Pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 didapat karakteristik alat ukur laju aliran ini memiliki *range* antara 2,7106-2,7492, sensitivitas 1,2138 LPM, nilai hysteresis sebesar 5,7%, non linearitas sebesar 66,3%, dan error sebesar 0,78%, dan akurasi sebesar 99,22%.

Dari tabel 4.5.kalibrasi alat ukur laju aliran diketahui bahwa nilai ketidakpastian diperluas ($U_{exp}=0,0591$). Nilai ketidakpastian tersebut menunjukkan bahwa ketika mengukur mendapatkan nilai laju aliran sebesar 2,75 LPM maka dapat dituliskan $(2,75 \pm 0,0591)$ LPM. Ketidakpastian tersebut didapatkan dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95% yang terdapat di dalam tabel *T-student*.Dari hasil kalibrasi yang dilakukan dapat disimpulkan yaitu nilai U_{exp} memiliki nilai 5% lebih kecil dari bacaan standar sehingga alat ukur laju aliran ini masih layak digunakan.

Pada pengukuran menggunakan venturi ini terdapat pengaruh penyempitan luas penampang sehingga terjadi penurunan tekanan ketika *valve* dibuka. Tingkat akurasi alat ukur laju aliran ini sebesar 99,22%.

LAMPIRAN A (DATA PENGUJIAN ALAT DAN KALIBRASI)

Tabel A.1. Data Untuk Mencari Nilai C_v

ROTAMETER (LPM)	ΔP (Psig)																				RATA-RATA ΔP (Psig)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
3	0.461	0.465	0.466	0.462	0.469	0.459	0.469	0.459	0.471	0.461	0.459	0.466	0.466	0.461	0.459	0.466	0.471	0.464	0.459	0.471	0.464
4	0.464	0.469	0.468	0.462	0.464	0.472	0.464	0.462	0.472	0.465	0.469	0.471	0.462	0.471	0.468	0.457	0.466	0.468	0.459	0.471	0.466
5	0.472	0.474	0.474	0.471	0.472	0.469	0.466	0.464	0.462	0.469	0.474	0.475	0.469	0.464	0.465	0.469	0.478	0.475	0.471	0.462	0.470
6	0.466	0.469	0.471	0.475	0.468	0.466	0.471	0.475	0.472	0.468	0.468	0.476	0.474	0.469	0.471	0.476	0.475	0.469	0.466	0.471	0.471
7	0.471	0.471	0.471	0.471	0.472	0.472	0.472	0.469	0.472	0.472	0.474	0.474	0.474	0.469	0.474	0.471	0.472	0.471	0.469	0.474	0.472
8	0.472	0.478	0.468	0.474	0.475	0.472	0.472	0.475	0.472	0.475	0.469	0.471	0.469	0.469	0.472	0.468	0.469	0.472	0.471	0.474	0.472
9	0.471	0.466	0.469	0.475	0.472	0.466	0.465	0.472	0.472	0.479	0.475	0.478	0.479	0.483	0.466	0.466	0.476	0.471	0.471	0.474	0.472
10	0.471	0.468	0.471	0.475	0.471	0.479	0.469	0.475	0.478	0.474	0.483	0.475	0.475	0.478	0.469	0.474	0.474	0.468	0.478	0.483	0.474
11	0.478	0.469	0.471	0.479	0.472	0.466	0.481	0.475	0.464	0.481	0.492	0.474	0.475	0.475	0.475	0.491	0.474	0.469	0.474	0.475	0.476
12	0.464	0.475	0.482	0.482	0.483	0.476	0.472	0.479	0.472	0.478	0.472	0.469	0.476	0.474	0.465	0.478	0.464	0.476	0.489	0.488	0.476
13	0.492	0.478	0.486	0.479	0.482	0.469	0.482	0.489	0.483	0.478	0.485	0.474	0.468	0.485	0.485	0.486	0.478	0.491	0.474	0.481	0.481
14	0.482	0.491	0.482	0.491	0.489	0.498	0.486	0.485	0.491	0.488	0.491	0.481	0.483	0.493	0.492	0.483	0.496	0.499	0.493	0.485	0.489
15	0.506	0.492	0.495	0.495	0.500	0.499	0.495	0.488	0.495	0.496	0.506	0.502	0.503	0.503	0.498	0.498	0.503	0.498	0.495	0.508	0.499

Tabel A.2. Data Pengujian Alat Pembacaan Naik

ROTAMETER (LPM)	ΔP (Psig)																				Rata-Rata (Psig)	Q (LPM)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
3	0.424	0.421	0.421	0.403	0.410	0.419	0.413	0.419	0.418	0.427	0.427	0.416	0.436	0.421	0.410	0.422	0.421	0.424	0.411	0.419	0.419	2.4191
4	0.424	0.424	0.421	0.430	0.416	0.422	0.425	0.436	0.429	0.418	0.436	0.433	0.416	0.429	0.440	0.425	0.430	0.427	0.414	0.440	0.427	2.4268
5	0.444	0.440	0.429	0.438	0.435	0.432	0.443	0.441	0.438	0.429	0.441	0.425	0.443	0.440	0.438	0.433	0.436	0.449	0.451	0.440	0.438	2.4383
6	0.448	0.457	0.457	0.449	0.446	0.452	0.468	0.452	0.449	0.451	0.451	0.440	0.438	0.454	0.451	0.448	0.444	0.452	0.455	0.444	0.450	2.4503
7	0.454	0.463	0.446	0.452	0.448	0.449	0.457	0.436	0.448	0.451	0.457	0.446	0.449	0.443	0.452	0.454	0.449	0.457	0.448	0.441	0.450	2.4500
8	0.455	0.449	0.454	0.446	0.451	0.444	0.448	0.457	0.457	0.451	0.463	0.457	0.466	0.436	0.454	0.455	0.459	0.448	0.448	0.449	0.452	2.4524
9	0.457	0.451	0.459	0.451	0.454	0.463	0.451	0.451	0.444	0.459	0.452	0.452	0.457	0.460	0.452	0.459	0.448	0.449	0.463	0.449	0.454	2.4541
10	0.449	0.460	0.462	0.460	0.446	0.460	0.457	0.468	0.457	0.457	0.457	0.451	0.459	0.451	0.454	0.463	0.451	0.451	0.444	0.459	0.456	2.4558
11	0.459	0.465	0.455	0.455	0.455	0.449	0.454	0.460	0.463	0.451	0.460	0.459	0.462	0.454	0.457	0.459	0.460	0.462	0.455	0.451	0.457	2.4573
12	0.459	0.452	0.459	0.462	0.460	0.457	0.459	0.451	0.465	0.460	0.460	0.460	0.457	0.460	0.460	0.457	0.462	0.460	0.462	0.463	0.459	2.4593
13	0.457	0.460	0.457	0.460	0.457	0.457	0.459	0.455	0.459	0.455	0.460	0.457	0.459	0.460	0.457	0.459	0.460	0.457	0.459	0.462	0.458	2.4583
14	0.459	0.459	0.457	0.460	0.457	0.459	0.459	0.459	0.459	0.457	0.460	0.459	0.460	0.457	0.460	0.459	0.459	0.460	0.457	0.460	0.459	2.4588
15	0.454	0.459	0.451	0.455	0.454	0.460	0.454	0.460	0.452	0.455	0.452	0.457	0.459	0.459	0.457	0.460	0.457	0.459	0.459	0.457	0.456	2.4566

Tabel A.3. Data Pengujian Alat Pembacaan Turun

ROTAMETER (LPM)	ΔP (Psig)																				RATA-RATA (Psig)	Q (LPM)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
15	0.451	0.455	0.455	0.452	0.457	0.452	0.455	0.455	0.451	0.455	0.452	0.451	0.455	0.452	0.454	0.455	0.452	0.455	0.452	0.454	2.4536	
14	0.454	0.457	0.454	0.457	0.455	0.455	0.454	0.455	0.454	0.455	0.455	0.455	0.455	0.455	0.455	0.455	0.457	0.455	0.457	0.455	2.4553	
13	0.457	0.457	0.457	0.454	0.452	0.457	0.457	0.452	0.457	0.459	0.451	0.457	0.455	0.455	0.454	0.457	0.455	0.455	0.455	0.457	0.456	2.4555
12	0.454	0.455	0.452	0.455	0.459	0.454	0.452	0.460	0.454	0.460	0.457	0.454	0.457	0.457	0.452	0.459	0.454	0.454	0.452	0.455	0.455	2.4553
11	0.459	0.454	0.452	0.449	0.459	0.455	0.459	0.452	0.457	0.451	0.451	0.457	0.455	0.454	0.454	0.449	0.459	0.452	0.460	0.452	0.455	2.4545
10	0.462	0.448	0.451	0.455	0.455	0.455	0.452	0.457	0.455	0.455	0.466	0.452	0.457	0.455	0.465	0.463	0.457	0.452	0.446	0.436	0.455	2.4547
9	0.463	0.465	0.465	0.440	0.460	0.452	0.443	0.454	0.452	0.451	0.455	0.443	0.430	0.465	0.443	0.457	0.460	0.448	0.446	0.451	0.452	2.4522
8	0.454	0.459	0.444	0.455	0.457	0.444	0.441	0.457	0.462	0.438	0.449	0.451	0.459	0.454	0.460	0.465	0.454	0.451	0.446	0.449	0.452	2.4525
7	0.448	0.440	0.455	0.432	0.446	0.459	0.449	0.444	0.448	0.444	0.443	0.465	0.441	0.452	0.460	0.444	0.451	0.449	0.452	0.440	0.448	2.4481
6	0.454	0.452	0.446	0.449	0.441	0.460	0.444	0.440	0.452	0.440	0.454	0.441	0.448	0.440	0.438	0.444	0.451	0.448	0.438	0.438	0.446	2.4459
5	0.429	0.429	0.433	0.425	0.435	0.451	0.438	0.435	0.451	0.435	0.433	0.427	0.444	0.418	0.425	0.430	0.432	0.443	0.427	0.440	0.434	2.4340
4	0.443	0.429	0.438	0.422	0.425	0.435	0.425	0.430	0.436	0.425	0.427	0.424	0.429	0.414	0.438	0.430	0.433	0.432	0.421	0.429	0.429	2.4294
3	0.418	0.410	0.425	0.403	0.414	0.418	0.410	0.407	0.419	0.418	0.411	0.408	0.408	0.414	0.418	0.413	0.405	0.411	0.407	0.425	0.413	2.4131

Tabel A.4. Data Kalibrasi Laju Aliran

No.	Pembacaan Standart (LPM)	Pembacaan Alat ΔP (Psig)										Pembacaan Alat Q (LPM)	Koreksi (y)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	2.7532	0.424	0.421	0.421	0.403	0.410	0.419	0.413	0.419	0.418	0.427	2.7224	0.0308110
2	2.7548	0.424	0.424	0.421	0.430	0.416	0.422	0.425	0.436	0.429	0.418	2.7148	0.0400857
3	2.7577	0.444	0.440	0.429	0.438	0.435	0.432	0.443	0.441	0.438	0.429	2.7241	0.0336106
4	2.7586	0.448	0.457	0.457	0.449	0.446	0.452	0.468	0.452	0.449	0.451	2.7424	0.0161223
5	2.7593	0.454	0.463	0.446	0.452	0.448	0.449	0.457	0.436	0.448	0.451	2.7424	0.0168873
6	2.7594	0.455	0.449	0.454	0.446	0.451	0.444	0.448	0.457	0.457	0.451	2.7424	0.0169678
7	2.7598	0.457	0.451	0.459	0.451	0.454	0.463	0.451	0.451	0.444	0.459	2.7490	0.0107739
8	2.7615	0.449	0.460	0.462	0.460	0.446	0.460	0.457	0.468	0.457	0.457	2.7474	0.0140947
9	2.7623	0.459	0.465	0.455	0.455	0.455	0.449	0.454	0.460	0.463	0.451	2.7424	0.0198993
10	2.7625	0.459	0.452	0.459	0.462	0.460	0.457	0.459	0.451	0.465	0.460	2.7498	0.0126883
11	2.7669	0.457	0.460	0.457	0.460	0.457	0.457	0.459	0.455	0.459	0.455	2.7457	0.0212096
12	2.7730	0.459	0.459	0.457	0.460	0.457	0.459	0.459	0.459	0.459	0.457	2.7474	0.0256835
13	2.7808	0.454	0.459	0.451	0.455	0.454	0.460	0.454	0.460	0.452	0.455	2.7457	0.0350293
Jumlah	35.9098											35.6160	0.2938633
Rata-Rata	2.7623											2.7397	0.0226049

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN B

(*Listing Program di Mikrokontroller dan Microsoft Visual Studio 2013*)

B.1. Listing Program Arduino

```
double voltage = 0, kPa = 0, Psi = 0;  
double flow = 0, x = 0, flowkalibrasi = 0;  
  
void setup() {  
    Serial.begin(9600);  
}  
  
void loop() {  
int sensorValue = analogRead(A0);  
double voltage = sensorValue*(5.0/1023.0); //konversi  
tegangan dari adc  
double kPa = ((voltage/5.0)-0.04)/0.09; //konversi adc ke  
kpa  
double Psi = kPa*0.145038; //konversi kpa ke psi  
//Serial.println("Psi= ");  
Serial.print (Psi, 3);  
Serial.print ("|");  
double x = 1.2222*Psi;  
double flow = sqrt(x);  
double flowkalibrasi = (flow+2); //flow yg terkalibrasi  
//Serial.println("kalibrasi= ");  
Serial.print (flowkalibrasi, 3);  
Serial.println("");  
delay(3000);  
}
```

B.2. Listing Program Mocrosoft Visual Studio 2013

```
Imports System.IO.Ports.SerialPort  
Imports System.Data.OleDb  
Imports System.Data  
Public Class Form1  
    Private myPortList As String()
```

```

        Private baudList As String() = {"300", "600",
    "1200", "2400", "4800", "9600"}
        Private WithEvents myserial As New
IO.Ports.SerialPort
        Private timer, counter As Integer
        Private conString As String =
"Provider=Microsoft.ACE.OLEDB.12.0;Data
Source=C:\Users\PERSONAL\Documents\Book1.xlsx;Extended
Properties = """Excel 12.0 Xml;HDR=YES"""
        Private koneksi As
System.Data.OleDb.OleDbConnection
        Private perintah As System.Data.OleDb.OleDbCommand
        Private recording As Boolean = False
        Private pressure, flow As Double
        Private timeSamplingList As String() = {0, 1, 3, 5}
        Private timeSampling As Integer
        Private ss, mm, sst, mmt As Integer
        Private selecsemua() As Boolean = {False, False,
False}
        Private bukabuka As Boolean

        Private Sub Form1_Load(sender As Object, e As
EventArgs) Handles MyBase.Load
ComboBox4.Items.AddRange(timeSamplingList)
        timeSampling = 0
        ComboBox4.SelectedIndex = 0
        Label1.Text = Date.Now.ToShortDateString
        Label2.Text = Date.Now.ToShortTimeString
        findPort()
        If (myPortList.Count >= 1) Then
            ComboBox1.Items.AddRange(myPortList)
            ComboBox1.SelectedIndex = myPortList.Count
- 1
        End If
        ComboBox2.Items.AddRange(baudList)
        ComboBox2.SelectedIndex = 5
End Sub
Sub findPort()
        Dim i As Integer = 0
        For Each myport As String In
My.Computer.Ports.SerialPortNames
            ReDim Preserve myPortList(i)

```

```

        myPortList(i) = myport
        i += 1
    Next
End Sub
Private Sub ComboBox1_SelectedIndexChanged(sender As Object, e As EventArgs) Handles ComboBox1.Click
    findPort()
    ComboBox1.Items.Clear()
    If (Not myPortList Is Nothing) Then
        ComboBox1.Items.AddRange(myPortList)
    End If
End Sub
Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button1.Click
    koneksi = New OleDbConnection
    koneksi.ConnectionString = conString
    Try
        koneksi.Open()
        MsgBox("Database Opened")
        timeSampling = CInt(ComboBox4.Text)
        sst = (Now.ToString("ss"))
        mmt = (Now.ToString("mm")) + timeSampling)
    Mod 10
    Catch ex As Exception
        MsgBox(ex.Message)
    End Try
End Sub
Private Sub Timer1_Tick(sender As Object, e As EventArgs) Handles Timer1.Tick
    If ComboBox3.Text <> "" Then
        timer += 1
        Label3.Text = timer.ToString
        Select Case ComboBox3.Text
            Case "1"
                If timer = 60 Then
                    stop_recording()
                End If
            Case "3"
                If timer = 180 Then
                    stop_recording()
                End If
            Case "5"

```

```

        If timer = 300 Then
            stop_recording()
        End If
    Case "10"
        If timer = 600 Then
            stop_recording()
        End If
    End Select
End If
End Sub
Sub stop_recording()
    Timer1.Stop()
    recording = False
End Sub
Sub simpan_data(pressure As String, flow As String)
    perintah = New OleDb.OleDbCommand
    With perintah
        .Connection = koneksi
        .CommandText = "INSERT INTO [Sheet1$]
VALUES ('" + Date.Now.ToShortDateString() + "', '" +
Date.Now.ToShortTimeString() + "', '" + pressure + "', '" +
+ flow + "')"
    End With
    Try
        perintah.ExecuteNonQuery()
    Catch ex As Exception
        MsgBox(ex.Message)
    End Try
End Sub
Private Sub myserial_dataReceive() Handles
myserial.DataReceived
    Dim dataReceive As String = myserial.ReadLine
    Me.Invoke(New oper(AddressOf olahdata),
dataReceive)
End Sub
Delegate Sub oper(ByVal [data] As String)
Sub olahdata(ByVal dataIn As String)
    mm = CInt(Now.ToString("mm")) Mod 10
    ss = CInt(Now.ToString("ss"))
    If mm = mmt And ss >= sst Then
        sst = (Now.ToString("ss"))
    End If
End Sub

```

```

        mmt = (Now.ToString("mm") + timeSampling)
Mod 10
        recording = True
        counter += 1
        Dim strArr() As String = dataIn.Split("|")
        For count As Integer = 0 To strArr.Length
            pressure = strArr(0)
            flow = strArr(1)
        Next
        RichTextBox1.AppendText("pressure = " +
pressure.ToString + "    flow = " + flow.ToString +
vbNewLine)
        RichTextBox1.ScrollToCaret()
        Chart1.Series("Series1").Points.AddXY(counter,
pressure)
        Chart3.Series("Series1").Points.AddXY(counter,
flow)
        Chart2.Series("Series1").Points.AddXY(pressure,
flow)
        If recording = True Then
            simpan_data(pressure, flow)
        End If
End Sub
Private Sub Button2_Click(sender As Object, e As
EventArgs) Handles Button2.Click
        Chart1.Series("Series1").Points.Clear()
        Chart2.Series("Series1").Points.Clear()
        Chart3.Series("Series1").Points.Clear()
        timer = 0
        recording = False
        myserial.PortName = ComboBox1.Text
        myserial.BaudRate = CInt(ComboBox2.Text)
        Try
            myserial.Open()
            counter = 0
        Catch ex As Exception
            MsgBox(ex.Message)
        End Try
        If (myserial.isOpen) Then
            MsgBox("serial started")
        End If
End Sub

```

```

    Private Sub Button3_Click(sender As Object, e As
EventArgs) Handles Button3.Click
        If Timer1.Enabled = True Then
            Timer1.Stop()
        End If
        Try
            myserial.Dispose()
        Catch ex As Exception
            MsgBox(ex.Message)
        End Try
        MsgBox("closed")
    End Sub

    Private Sub Button4_Click(sender As Object, e As
EventArgs) Handles Button4.Click
        recording = True
        timer = 0
        Timer1.Start()
        Timer1.Interval = 1000
    End Sub
    Private Sub Button5_Click(sender As Object, e As
EventArgs) Handles Button5.Click
        If Not timeSampling = CInt(ComboBox4.Text) Then
            recording = False
            RichTextBox1.Clear()
            Chart1.Series("Series1").Points.Clear()
            Chart2.Series("Series1").Points.Clear()
            Chart3.Series("Series1").Points.Clear()
            timeSampling = CInt(ComboBox4.Text)
            sst = (Now.ToString("ss"))
            mmt = (Now.ToString("mm") + timeSampling)
        Mod 10
        End If
    End Sub

    Private Sub ComboBox3_SelectedIndexChanged_1(sender As
Object, e As EventArgs)
Handles ComboBox3.SelectedIndexChanged
    cekk(0)
End Sub

```

```
    Private Sub ComboBox2_SelectedIndexChanged(sender
As Object, e As EventArgs)
Handles ComboBox2.SelectedIndexChanged
    cekk(1)
End Sub
Sub cekk(ByVal iiii As Integer)
    selecsemua(iiii) = True
    bukabuka = True
    For iii As Integer = 0 To 1
        If (Not selecsemua(iii)) Then
            bukabuka = False
        End If
    Next
    Button5.Enabled = bukabuka
    Button1.Enabled = bukabuka
End Sub
End Class
```


LAMPIRAN C

(Datasheet)

• Datasheet MPX2010DP

Pressure

Freescale Semiconductor

MPX2010
Rev 13, 10/2008

10 kPa On-Chip Temperature Compensated and Calibrated Silicon Pressure Sensors

The MPX2010 series silicon piezoresistive pressure sensors provide a very accurate and linear voltage output directly proportional to the applied pressure. These sensors house a single monolithic silicon die with the strain gauge and thin film resistor network integrated. The sensor is laser trimmed for precise span, offset calibration and temperature compensation.

Features

- Temperature Compensated over 0°C to +85°C
- Ratiometric to Supply Voltage
- Differential and Gauge Options
- Available in Easy-to-Use Tape & Reel

MPX2010 Series

0 to 10 kPa (0 to 1.46 psi)
25 mV Full Scale
(Typical)

Application Examples

- Respiratory Diagnostics
- Air Movement Control
- Controllers
- Pressure Switching

Device Name	Package Options	Case No.	# of Ports				Pressure Type	Device Marking
			None	Single	Dual	Gauge		
ORDERING INFORMATION								
MPX2010GP	Tray	1369	*	*	*	*	MPX2010GP	
MPX2010DP	Tray	1351		*		*	MPX2010DP	
Unibody Package (MPX2010 Series)								
MPX2010	Tray	344	*			*	MPX2010	
MPX2010DP	Tray	344C		*		*	MPX2010DP	
MPX2010CP	Tray	344B	*		*		MPX2010CP	
MPX2010GS	Tray	344E	*		*		MPX2010GS	
MPX2010GSX	Tray	344F	*		*		MPX2010GSX	
MPAK Package (MPXM2010 Series)								
MPXM2010	Rail	1320	*			*	MPXM2010	
MPXM2010T1	Tape and Reel	1320	*			*	MPXM2010T1	
MPXM2010GB	Rail	1320A	*		*		MPXM2010GB	
MPXM2010BT1	Tape and Reel	1320A	*		*		MPXM2010BT1	
SMALL OUTLINE PACKAGES								
MPX2010GP CASE 1369-01	MPX2010DP CASE 1351-01	MPXM2010DT1 CASE 1320-02	MPXM2010GST1 CASE 1320A-02	MPAK PACKAGES				
UNIBODY PACKAGES								
MPX2010D CASE 344-15	MPX2010GP CASE 344B-01	MPX2010DP CASE 344C-01	MPX2010GS CASE 344E-01	MPX2010GSX CASE 344F-01				

© Freescale Semiconductor, Inc., 2005-2008. All rights reserved.

 freescale[®]
semiconductor

Pressure

Operating Characteristics

Table 1. Operating Characteristics ($V_B = 10\text{ V}_{DD}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted, $P1 > P2$)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Units
Pressure Range ⁽¹⁾	P_{OP}	0	—	10	kPa
Supply Voltage ⁽²⁾	V_B	—	10	16	V_{DD}
Supply Current	I_O	—	6.0	—	mA/ADC
Full Scale Span ⁽³⁾	V_{FSS}	24	25	26	mV
Offset ⁽⁴⁾	V_{OFF}	-1.0	—	1.0	mV
Sensitivity	$\Delta V/\Delta P$	—	2.5	—	mV/kPa
Linearity	—	-1.0	—	1.0	% V_{FSS}
Pressure Hysteresis (0 to 10 kPa)	—	—	±0.1	—	% V_{FSS}
Temperature Hysteresis (-40°C to +125°C)	—	—	±0.5	—	% V_{FSS}
Temperature Coefficient on Full Scale Span	TCV_{FSS}	-1.0	—	1.0	% V_{FSS}
Temperature Coefficient on Offset	TCV_{OFF}	-1.0	—	1.0	mV
Input Impedance	Z_{IN}	1300	—	2500	Ω
Output Impedance	Z_{OUT}	1400	—	3000	Ω
Response Time ⁽⁵⁾ (10% to 90%)	t_R	—	1.0	—	ms
Warm-Up Time	—	—	20	—	ms
Offset Stability ⁽⁶⁾	—	—	±0.5	—	% V_{FSS}

1. 1.0 kPa (kiloPascal) equals 0.145 psi.

2. Device is ratiometric within this specified excitation range. Operating the device at a different range may induce additional error due to device self-heating.

3. Full Scale Span (V_{FSS}) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.

4. Offset (V_{OFF}) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.

5. Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.

6. Offset stability is the product's output deviation when subjected to 1000 hours of Pulsed Pressure, Temperature Cycling with Bias Test.

Maximum Ratings**Table 2. Maximum Ratings⁽¹⁾**

Rating	Symbol	Value	Unit
Maximum Pressure ($P_1 > P_2$)	P_{MAX}	75	kPa
Burst Pressure ($P_1 > P_2$)	P_{BURST}	100	kPa
Storage Temperature	T_{STG}	-40 to +125	°C
Operating Temperature	T_A	-40 to +125	°C

1. Exposure beyond the specified limits may cause permanent damage or degradation to the device.

Voltage Output versus Applied Differential Pressure

The output voltage of the differential or gauge sensor increases with increasing pressure applied to the pressure side (P_1) relative to the vacuum side (P_2). Similarly, output voltage increases as increasing vacuum is applied to the vacuum side (P_2) relative to the pressure side (P_1).

Figure 1. shows a block diagram of the internal circuitry on the stand-alone pressure sensor chip.

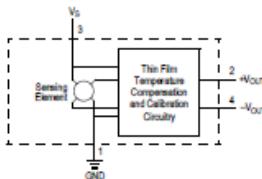


Figure 1. Temperature Compensated and Calibrated Pressure Sensor Schematic

Pressure

On-Chip Temperature Compensation and Calibration

Figure 2 shows the output characteristics of the MPX2010 series at 25°C. The output is directly proportional to the differential pressure and is essentially a straight line.

The effects of temperature on full scale span and offset are very small and are shown under Operating Characteristics. This provides the user with the ability to achieve by having both a pressure strain gauge and thin-film resistor circuitry on the same silicon diaphragm. Each chip is dynamically laser trimmed for precise span and offset calibration and temperature compensation.

Figure 3 illustrates the differential/gauge die in the basic chip carrier (Case 344). A silicone gel isolates the die surface and wire bonds from the environment, while allowing the pressure signal to be transmitted to the silicon diaphragm.

The MPX2010 series pressure sensor operating characteristics and internal reliability and qualification tests are based on use of dry air as the pressure media. Media other than dry air may have adverse effects on sensor

performance and long term reliability. Contact the factory for information regarding media compatibility in your application.

LINEARITY

Linearity refers to how well a transducer's output follows the equation: $V_{out} = V_{ref} + \text{sensitivity} \times P$ over the operating pressure range. There are two basic methods for calculating nonlinearity: (1) end point straight line fit (see Figure 4), or (2) a least squares best line fit. While a least squares fit gives the "best case" linearity error (lower numerical value), the calculations required are burdensome.

Conversely, an end point fit will give the "worst case" error (often more desirable in error budget calculations) and the calculations are more straightforward for the user.

Freescale's specified pressure sensor linearity is based on the end point straight line method measured at the midrange pressure.

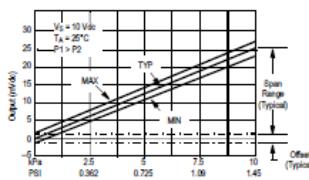


Figure 2. Output vs. Pressure Differential

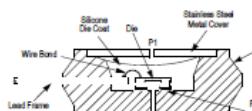


Figure 3. Unibody Package: Cross Sectional Diagram
(not to scale)

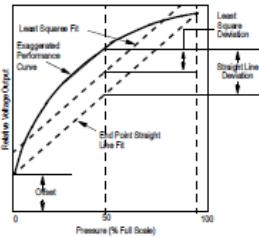


Figure 4. Linearity Specification Comparison

Pressure

PRESSURE (P1)/VACUUM (P2) SIDE IDENTIFICATION TABLE

Freescale designates the two sides of the pressure sensor as the Pressure (P1) side and the Vacuum (P2) side. The Pressure (P1) side is the side containing silicone gel which isolates the die from the environment. The pressure sensor is designed to operate with positive differential pressure applied, $P1 > P2$.

The Pressure (P1) side may be identified by using the following table.

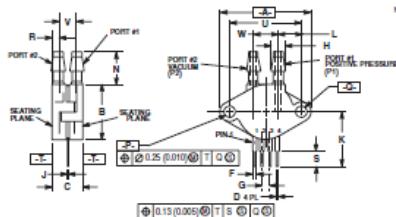
Table 3. Pressure (P1) Side Delineation

Part Number	Case Type	Pressure (P1) Side Identifier
MPX2010D	344	Stainless Steel Cap
MPX2010DP	344C	Side with Part Marking
MPX2010GP	344B	Side with Port Attached
MPX2010GB	344E	Side with Port Attached
MPX2010GX	344F	Side with Port Attached
MPXV2010GP	1369	Side with Port Attached
MPXV2010DP	1351	Side with Part Marking
MPXM2010D(DT)	1320	Side with Part Marking
MPXM2010GS(GST)	1320A	Side with Port Attached

MPX2010

Pressure

PACKAGE DIMENSIONS

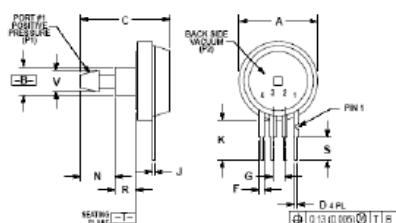


NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI
Y14.5M, 1982.
2. COORDINATE DIMENSION INCH.

	INCHES		MILLIMETERS	
ITEM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.150	0.150	3.81	3.81
B	0.090	0.090	2.29	2.29
C	0.050	0.050	1.27	1.27
D	0.040	0.040	1.02	1.02
E	0.040	0.040	1.02	1.02
F	0.040	0.040	1.02	1.02
G	0.040	0.040	1.02	1.02
H	0.150	0.150	3.81	3.81
I	0.090	0.090	2.29	2.29
J	0.050	0.050	1.27	1.27
K	0.040	0.040	1.02	1.02
L	0.090	0.090	2.29	2.29
M	0.040	0.040	1.02	1.02
N	0.040	0.040	1.02	1.02
O	0.040	0.040	1.02	1.02
P	0.040	0.040	1.02	1.02
Q	0.040	0.040	1.02	1.02
R	0.040	0.040	1.02	1.02
S	0.040	0.040	1.02	1.02
T	0.040	0.040	1.02	1.02
U	0.040	0.040	1.02	1.02
V	0.040	0.040	1.02	1.02
W	0.040	0.040	1.02	1.02

STYLE 1:
PIN 1 GND
2 +5VDC
3 +5VDC
4 -5VDC

CASE 344C-01
ISSUE B
UNIBODY PACKAGE



NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI
Y14.5M, 1982.
2. COORDINATE DIMENSION INCH.

	INCHES		MILLIMETERS	
ITEM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.150	0.150	3.81	3.81
B	0.090	0.090	2.29	2.29
C	0.050	0.050	1.27	1.27
D	0.040	0.040	1.02	1.02
E	0.040	0.040	1.02	1.02
F	0.040	0.040	1.02	1.02
G	0.040	0.040	1.02	1.02
H	0.150	0.150	3.81	3.81
I	0.090	0.090	2.29	2.29
J	0.050	0.050	1.27	1.27
K	0.040	0.040	1.02	1.02
L	0.090	0.090	2.29	2.29
M	0.040	0.040	1.02	1.02
N	0.040	0.040	1.02	1.02
O	0.040	0.040	1.02	1.02
P	0.040	0.040	1.02	1.02
Q	0.040	0.040	1.02	1.02
R	0.040	0.040	1.02	1.02
S	0.040	0.040	1.02	1.02
T	0.040	0.040	1.02	1.02
U	0.040	0.040	1.02	1.02
V	0.040	0.040	1.02	1.02
W	0.040	0.040	1.02	1.02
X	0.040	0.040	1.02	1.02
Y	0.040	0.040	1.02	1.02
Z	0.040	0.040	1.02	1.02

STYLE 1:
PIN 1 GND
2 +5VDC
3 +5VDC
4 -5VDC

CASE 344E-01
ISSUE B
UNIBODY PACKAGE

How to Reach Us:

Home Page:
www.freescale.com

Web Support:
<http://www.freescale.com/support>

USA/Europe or Locations Not Listed:
Freescale Semiconductor, Inc.
Technical Information Center, EL516
2100 East Elliot Road
Tempe, Arizona 85284
1-800-211-6274 or +1-480-766-2130
www.freescale.com/support

Europe, Middle East, and Africa:
Freescale Halbleiter Deutschland GmbH
Technologie-Hub-Center
Schäfflebogen 7
81829 Muenchen, Germany
+44 1992 622000 (English)
+49 89 52200080 (English)
+49 89 92103 559 (German)
+33 169 35 48 48 (French)
www.freescale.com/support

Japan:
Freescale Semiconductor Japan Ltd.
Headquarters
ARCO Tower 15F
1-8-1, Shinjuku-Meguro, Meguro-ku,
Tokyo 153-0004
Japan
0120 191014 or +81 3 5437 9125
support.japan@freescale.com

Asia Pacific:
Freescale Semiconductor China Ltd.
Exchange Building 23F
No. 118 Jiangsu Road
ChaoYang District
Beijing 100022
China
+86 10 5879 8000
support.asia@freescale.com

For Literature Requests Only:
Freescale Semiconductor Literature Distribution Center
P.O. Box 5400
Denver, Colorado 80217
1-800-447-2150 or +1-303-475-2140
Fax: +1-303-475-2150
LDCForFreescale@semiconductor@ibbergroup.com

Information in this document is provided solely to enable system and software implementers to use Freescale Semiconductor products. There are no express or implied copyright licenses granted hereunder to design or fabricate any integrated circuit or integrated circuits based on the information in this document.

Freescale Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Freescale Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Freescale Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. Typical parameters that are listed in Freescale Semiconductor data sheets are determined at 25°C and do not apply in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "typical", must be validated for each customer application by customer's technical expert. Freescale Semiconductor does not convey any license under any patent rights, trademark rights, copyrights, or other rights of Freescale Semiconductor or third parties. Freescale Semiconductor products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Freescale Semiconductor product could create a situation where personal injury or death may occur. Should buyer or user utilize or sell Freescale Semiconductor products for any such unintended or unauthorized application, buyer shall indemnify and hold Freescale Semiconductor and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, including reasonable attorney fees arising out of, resulting from, or created by such unintended or unauthorized use, even if such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Freescale Semiconductor was negligent regarding the design or manufacture of the part.

Freescale™ and the Freescale logo are trademarks of Freescale Semiconductor, Inc. All other product or service names are the property of their respective owners.
© Freescale Semiconductor, Inc. 2008. All rights reserved.



LAMPIRAN D
(Data Uji Alat Ukur Laju Aliran Venturimeter)

**Tabel D.1. Data Uji
Tanggal 26 Juni 2016**

Tanggal	Waktu	Tekanan (Psig)	Laju Aliran (LPM)
6/26/2016	1:51 AM	0.433	2.873
6/26/2016	1:51 AM	0.436	2.884
6/26/2016	1:51 AM	0.43	2.863
6/26/2016	1:51 AM	0.424	2.842
6/26/2016	1:51 AM	0.433	2.873
6/26/2016	1:51 AM	0.422	2.837
6/26/2016	1:51 AM	0.438	2.889
6/26/2016	1:51 AM	0.449	2.925
6/26/2016	1:51 AM	0.433	2.873
6/26/2016	1:51 AM	0.402	2.767
6/26/2016	1:51 AM	0.407	2.783
6/26/2016	1:51 AM	0.399	2.756
6/26/2016	1:51 AM	0.391	2.729
6/26/2016	1:51 AM	0.407	2.783
6/26/2016	1:51 AM	0.411	2.799
6/26/2016	1:51 AM	0.407	2.783
6/26/2016	1:51 AM	0.413	2.805
6/26/2016	1:52 AM	0.399	2.756
6/26/2016	1:52 AM	0.413	2.805
6/26/2016	1:52 AM	0.402	2.767
6/26/2016	1:53 AM	0.392	2.734
6/26/2016	1:53 AM	0.41	2.794
6/26/2016	1:53 AM	0.416	2.815
6/26/2016	1:53 AM	0.424	2.842
6/26/2016	1:53 AM	0.397	2.751
6/26/2016	1:53 AM	0.389	2.723
6/26/2016	1:54 AM	0.392	2.734

Tabel D.1 Lanjutan

Tanggal	Waktu	Tekanan (Psig)	Laju Aliran (LPM)
6/26/2016	1:54 AM	0.4	2.762
6/26/2016	1:54 AM	0.394	2.74
6/26/2016	1:54 AM	0.396	2.745
6/26/2016	1:54 AM	0.394	2.74
6/26/2016	1:54 AM	0.386	2.712
6/26/2016	1:54 AM	0.391	2.729
6/26/2016	1:54 AM	0.402	2.767
6/26/2016	1:54 AM	0.384	2.707
6/26/2016	1:54 AM	0.384	2.707
6/26/2016	1:54 AM	0.391	2.729
6/26/2016	1:54 AM	0.388	2.718
6/26/2016	1:54 AM	0.389	2.723
6/26/2016	1:54 AM	0.381	2.696
6/26/2016	1:55 AM	0.399	2.756
6/26/2016	1:55 AM	0.384	2.707
6/26/2016	1:55 AM	0.386	2.712
6/26/2016	1:55 AM	0.389	2.723
6/26/2016	1:55 AM	0.384	2.707
6/26/2016	3:06 AM	0.454	2.933
6/26/2016	3:06 AM	0.459	2.949
6/26/2016	3:07 AM	0.451	2.923
6/26/2016	3:07 AM	0.455	2.938
6/26/2016	3:07 AM	0.454	2.933
6/26/2016	3:07 AM	0.46	2.954
6/26/2016	3:07 AM	0.454	2.933
6/26/2016	3:07 AM	0.46	2.954
6/26/2016	3:07 AM	0.452	2.928
6/26/2016	3:07 AM	0.455	2.938
6/26/2016	3:07 AM	0.452	2.928
6/26/2016	3:07 AM	0.457	2.943
6/26/2016	6:27 AM	0.41	2.787

Tabel D.1 Lanjutan

Tanggal	Waktu	Tekanan (Psig)	Laju Aliran (LPM)
6/26/2016	6:27 AM	0.413	2.797
6/26/2016	6:28 AM	0.419	2.819
6/26/2016	6:28 AM	0.418	2.813
6/26/2016	6:28 AM	0.427	2.845
6/26/2016	6:28 AM	0.427	2.845
6/26/2016	6:28 AM	0.416	2.808
6/26/2016	6:28 AM	0.436	2.877
6/26/2016	6:28 AM	0.421	2.824
6/26/2016	6:28 AM	0.41	2.787
6/26/2016	6:28 AM	0.422	2.829
6/26/2016	6:28 AM	0.421	2.824
6/26/2016	6:28 AM	0.424	2.835
6/26/2016	6:28 AM	0.411	2.792
6/26/2016	6:28 AM	0.419	2.819
6/26/2016	6:30 AM	0.418	2.813
6/26/2016	6:30 AM	0.41	2.787
6/26/2016	6:30 AM	0.425	2.84
6/26/2016	6:30 AM	0.403	2.765
6/26/2016	6:27 AM	0.413	2.797
6/26/2016	6:28 AM	0.419	2.819
6/26/2016	6:28 AM	0.418	2.813
6/26/2016	6:28 AM	0.427	2.845
6/26/2016	6:28 AM	0.427	2.845
6/26/2016	6:28 AM	0.416	2.808
6/26/2016	6:28 AM	0.436	2.877
6/26/2016	6:28 AM	0.421	2.824
6/26/2016	6:28 AM	0.41	2.787
6/26/2016	6:28 AM	0.422	2.829
6/26/2016	6:28 AM	0.421	2.824
6/26/2016	6:28 AM	0.424	2.835
6/26/2016	6:28 AM	0.411	2.792

Tabel D.1 Lanjutan

Tanggal	Waktu	Tekanan (Psig)	Laju Aliran (LPM)
6/26/2016	6:28 AM	0.419	2.819
6/26/2016	6:30 AM	0.418	2.813
6/26/2016	6:30 AM	0.41	2.787
6/26/2016	6:30 AM	0.425	2.84
6/26/2016	6:30 AM	0.403	2.765
6/26/2016	6:30 AM	0.414	2.803
6/26/2016	6:30 AM	0.418	2.813
6/26/2016	6:30 AM	0.41	2.787
6/26/2016	6:30 AM	0.407	2.776
6/26/2016	6:30 AM	0.419	2.819
6/26/2016	6:30 AM	0.418	2.813
6/26/2016	6:30 AM	0.411	2.792
6/26/2016	6:30 AM	0.408	2.781
6/26/2016	6:30 AM	0.408	2.781
6/26/2016	6:30 AM	0.414	2.803
6/26/2016	6:30 AM	0.418	2.813
6/26/2016	6:30 AM	0.413	2.797
6/26/2016	6:30 AM	0.405	2.771
6/26/2016	6:30 AM	0.411	2.792
6/26/2016	6:31 AM	0.407	2.776
6/26/2016	6:28 AM	0.419	2.819
6/26/2016	6:30 AM	0.418	2.813
6/26/2016	6:30 AM	0.41	2.787
6/26/2016	6:30 AM	0.425	2.84
6/26/2016	6:30 AM	0.403	2.765
6/26/2016	6:30 AM	0.414	2.803
6/26/2016	6:30 AM	0.418	2.813
6/26/2016	6:30 AM	0.41	2.787
6/26/2016	6:30 AM	0.407	2.776
6/26/2016	6:30 AM	0.419	2.819

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan tentang monitoring laju aliran pada *plant* ini menggunakan air yang dialirkan secara sekuensial didapatkan kesimpulan sebagai berikut ini :

1. Telah dirancang plan sistem pengukuran dan monitoring laju aliran menggunakan venturi.
2. Karakteristik alat ukur laju aliran ini memiliki *range* yang kecil antara 2,7106-2,7492 LPM, sensitivitas 1,2138 LPM, akurasi 99,22%, dan error sebesar 0,78%. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa alat ukur layak untuk digunakan dengan tingkat kepercayaan 95% dan $U_{exp} = 0,059$ lebih kecil dari standar 5%.
3. Sistem integrasinya menggunakan sensor MPX2010DP yang dikuatkan dengan *amplifier* IC LM324 yang diproses dan dikontrol menggunakan Arduino dan diintegrasikan dengan *Visual Studio* 2013 yang dapat merekam hasil monitoring dalam bentuk file *Excel*.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Untuk mekaniknya diameter pipa disamakan ukurannya untuk menghindari adanya loss pada setiap pergantian antara *orifice*, *venturi*, *elbow*, dan *pitot tube*.
2. Untuk sistem integrasi akuisisi data dan penyimpanan data sebaiknya dikembangkan dengan menggunakan *data logger* sehingga tidak harus terhubung ke PC.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [¹] Crabtee, Michael A. 2009. Thesis “*Industrial Flow Measurement*”. The University of Huddersfield
- [²] Liptak, B.G, Lomas, D.J. 2003. “*Flow Measurement*”
- [³] Fisher Controls International. 2008. “*Control Valve Handbook Third Edition*” : Emerson Process Management
- [⁴] Santiatma, I. Nugroho, U,A. 2014. “*Pembuatan Prototipe Spirometer Portabel Berbasis Elektronik Dengan Metode Perbedaan Tekanan*”. Institut Teknologi Bandung : Bandung
- [⁵] Firmansyah, A. 2010. *Prinsip Kerja Pengukuran Aliran Fluida Dengan Menggunakan Transmitter Elektrik*. Universitas Sumatera Utara
- [⁶] F.Frenzel, dkk. 2011. “*Industrial Flow Measurement Basics and Practice*”
- [⁷] Bentley, John P. 2005. ”*Principles of Measurement System 4th Edition*”. London : Prentice Hall.
- [⁸] Freescale Semiconductor, Inc. 2010. MPX2010 10 kPa On-Chip Temperature Compensated & Calibrated Silicon Pressure Sensors : Arizona
- [⁹] <https://www.visualstudio.com/> diakses pada 12 Juni 2016



BIODATA PENULIS

Nama lengkap penulis Aisa Indra Wahyuni yang dilahirkan di Kabupaten Nganjuk pada tanggal 24 Juni 1995 dari ayah bernama M. Mahmud dan ibu bernama Damiati. Penulis merupakan anak sulung dari 2 bersaudara. Saat ini penulis tinggal di Jalan K. Hasan Bajuri no 24B Waru Sidoarjo. Pada tahun 2007, penulis menyelesaikan pendidikan tingkat dasar di MI Darul Ulum Tambak

Rejo Waru. Pada tahun 2010 penulis menyelesaikan pendidikan tingkat menengah di SMPN 1 Waru Sidoarjo. Tahun 2013 berhasil menyelesaikan pendidikan tingkat menengah atas di SMAN 1 Waru Sidoarjo. Dan pada tahun 2016 ini, penulis mampu menyelesaikan gelar ahli madya di Program Studi DIII-Metrologi dan Instrumentasi, Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING LAJU ALIRAN DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR MPX2010DP BERBASIS ARDUINO**". Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini maka dapat menghubungi penulis melalui email aisaindraww@gmail.com.