TUGAS AKHIR – TT 145565

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

YURIKE SUWARTIKA
NRP. 2413 031 078

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 ELBOW TABS USING MPX2010DP SENSOR AND ARDUINO

YURIKE SUWARTIKA
NRP. 2413 031 078

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 *ELBOW TABS* DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR MPX2010DP BERBASIS ARDUINO

TUGAS AKHIR

Oleh :

YURIKE SUWARTIKA
NRP. 2413 031 078

Surabaya, 28 Juli 2016
Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing

Totok Ruki Biyanto, PhD
NIP. 19710702 199802 1 001

Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI – ITS

Agus Muhammad Hatta, S.T, MSi, 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 *ELBOW TABS* 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 :
YURIKE SUWARTIKA
NRP. 2413 031 078

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Totok Ruki Biyanto, PhD ..... (Pembimbing)
2. Ir. Ya'umar, MT ..... (Ketua Tim Penguji)
3. Hendra Cordova, ST, MT ..... (Penguji I)
4. Bagus Tris Atmaja, ST, MT ..... (Penguji II)

SURABAYA
JULI 2016

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING LAJU ALIRAN PADA *ELBOW TABS* DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR MPX2010DP BERBASIS ARDUINO

Nama Mahasiswa	**: Yurike Suwartika**
NRP	**: 2413 031 078**
Program Studi	**: D3-Metrologi dan Instrumentasi**
Jurusan	**: Teknik Fisika FTI-ITS**
Dosen Pembimbing	**: Totok Ruki Biyanto, PhD**

Abstrak

Pengukuran laju aliran fluida merupakan pengukuran untuk mendapatkan data-data untuk dianalisis karena pada prinsipnya fluida merupakan energy bertekanan yang semakin banyak dikembangkan pada proses-proses di industri. Banyak metode pengukuran laju aliran yang digunakan dalam mekanika fluida, setiap metode yang digunakan akan menghasilkan suatu nilai karakteristik yang berbeda-beda, tidak semua jenis pengukuran laju aliran dapat menggunakan metode yang sama, dilihat dari pressure drop yang dihasilkan akan mempengaruhi setiap metode yang digunakan. Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan pengukuran laju aliran dengan menggunakan metode elbow tabs. Pada pengukuran fluida sering dijumpai sambungan pipa seperti elbow dengan kemiringan tertentu seperti 45° atau 90°. Kemiringan pada elbow tersebut dapat mempengaruhi perbedaan tekanan maupun pressure drop pada fluida yang melewati elbow tersebut. Pada penelitian tugas akhir ini telah dilakukan sistem monitoring laju aliran pada aliran saat melewati elbow tabs. Pada pengukuran laju aliran ini digunakan sensing elemen MPX2010DP dengan arduino uno sebagai mikrokontroller dan display monitoring dengan menggunakan visual studio 2013. Monitoring dilakukan dengan flowrate sebagai variable pengukuran. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan bahwa pada pengukuran flowrate diperoleh nilai ketidakpastian terbesar adalah ± 0,0533654 LPM, tingkat keakurasian sebesar 99,12 % dengan tingkat kepercayaan 95%.

Kata Kunci: Fluida, Pengukuran Laju Aliran, Elbow Tabs, Monitoring

DESIGN OF FLOWRATE MONITORING SYSTEM ON ELBOW TABS USING MPX2010DP SENSOR AND ARDUINO

Name	**: Yurike Suwartika**
NRP	**: 2413 031 078**
Study of Program	**: D3- Metrology and Instrumentation**
Department	**: Teknik Fisika FTI-ITS**
Supervisor	**: Totok Ruki Biyanto, PhD**

Abstract

Measurement of fluid flowrate is a measure to obtain data for analysis because in principle the fluid is pressurized energy that the more developed the processes in the industry. Many methods of measurement of flowrate used in fluid mechanics, any method used will produce a characteristic value that is different, not all types of measuring flowrates can use the same method, seen from the pressure drop generated will affect each of the methods used. In this research conducted flowrate measurements using tabs elbow. On the measurement of the fluid is often encountered as elbow pipe connection with a certain slope as 45 ° or 90 °. The slope on the elbow can affect the pressure difference and the pressure drop in the fluid passing through the elbow. In this research has been done flowrate monitoring system on the flow as it passes through tabs elbow. At this flowrate measurement used MPX2010DP sensing element with arduino uno as microcontroller and display monitoring using visual studio 2013. Monitoring is done with a variable flowrate measurement. Based on test results, it was found that the flowrate measurement values obtained greatest uncertainty is ± 0.0533654 LPM, the level of accuracy of 99.12% with a confidence level of 95%.

Key Word : Fluid, Flow Rate Measurement, Elbow Tabs, Monitoring

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN iii
ABSTRAK v
***ABSTRACT* ..... vi**
KATA PENGANTAR vii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR NOTASI xiv
DAFTAR TABEL xv

BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Permasalahan 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan 2
1.5 Manfaat 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Fluida 5
2.1.1 Definisi Fluida 5
2.1.2 Sifat-Sifat Fluida 5
2.2 Aliran Fluida 6
2.2.1 Klasifikasi Aliran Fluida 6
2.2.2 Tipe-Tipe Aliran 7
2.3 *Elbow Tabs* 9
2.3.1 *Head Loss* & *Friction loss* pada *Elbow* 10
2.3.2 *Friction Loss* pada *Enlargement* dan *Contraction* 10
2.3.3 *Pressure Drop* 11
2.3.4 Gesekan Dalam Pipa 11
2.4 Laju Aliran Pada *Elbow Tabs* 13
2.4.1 Persamaan Kontinuitas 14
2.4.2 Persamaan Bernoulli 14

2.5 Rotameter 15
2.6 Sensor MPX2010DP 16
2.7 Rangkaian Penguat *(Operational Amplifier)* 17
2.8 Sistem Pengukuran 17
2.9 Kalibrasi dan Karakteristik Alat Ukur 18
2.9.1 Kalibrasi 19
2.9.2 Karakteristik Statik Alat Ukur 20
2.9.3 Karakteristik Dinamik Alat Ukur 22
2.10 Analisis Ketidakpastian 23
2.11 Arduino Uno 26
2.12 Visual Studio 2013 27

BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT 29
3.1 Studi Literatur 30
3.2 Perancangan Sistem dan Pembuatan Alat 30
3.2.1 Perancangan dan Pembuatan *Hardware* 30
3.2.2 Pembuatan Software Monitoring 31
3.2.3 Pembuatan Mekanik 33
3.3 Integrasi 35
3.4 Pengujian Alat dan Sistem Monitoring 37
3.5 Pengambilan Data 37
3.6 Analisa Data dan Pembahasan 39
3.7 Penulisan Laporan 39

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN 41
4.1 Analisa Data 41
4.1.1 Hasil Rancang Bangun 41
4.1.2 Pengujian Alat 43
4.1.3 Data Spesifikasi Alat 46
4.1.4 Data Kalibrasi Alat Ukur *Flowrate* 49
4.1.5 Pengukuran Laju Aliran Dengan Elbow Tabs 54
4.1.6 Karakteristik Dinamik Pengukuran *Flowrate* Dengan Sampling Waktu 56
4.1.7 Perbandingan Nilai Q yang Terbaca Dengan Teori .. 69
4.2 Pembahasan 70

BAB V PENUTUP 73
5.1 Kesimpulan 73
5.2 Saran 73

DAFTAR PUSTAKA 75
LAMPIRAN A (Data Pengujian Alat dan Kalibrasi) A1
LAMPIRAN B (Listing *Program* di Mikrokontroller dan *Microsoft Vsual Studio 2013*) B1
LAMPIRAN C (*Datasheet*) C1
LAMPIRAN D (Data Monitoring Laju Aliran) D1
BIOGRAFI PENULIS

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Tabel Spesifikasi Rancang Bangun	34
Tabel 4.1.	Data Perhitungan CV Pada *Elbow Tabs*	43
Tabel 4.2.	Data Pengujain *Flowrate* Alat	45
Tabel 4.3.	Pengambilan data naik dan turun *Flowrate* Alat	47
Tabel 4.4.	Data Kalibrasi *Flowrate*	50
Tabel 4.5.	Tabel *Range* Ukur *Flowrate* Pada *Elbow Tabs*	54
Tabel 4.6.	Hasil Uji Sampling Data setiap 30 detik	56
Tabel 4.7.	Hasil Uji Sampling Data setiap 1 menit	59
Tabel 4.8.	Hasil Uji Sampling Data setiap 3 menit	61
Tabel 4.9.	Hasil Uji Sampling Data setiap 5 menit	64
Tabel 4.10.	Hasil Uji Sampling Data setiap 10 menit	66
Tabel 4.11.	Data Perbandingan Pengukuran Sensor Dengan Perhitungan Teori	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Aliran Laminar	7
Gambar 2.2.	Aliran Transisi	8
Gambar 2.3.	Aliran Turbulen	8
Gambar 2.4.	Elbow Tabs	9
Gambar 2.5.	Pengukuran Laju Aliran Dengan *Elbow Tabs*	13
Gambar 2.6.	Rotameter	16
Gambar 2.7.	Sensor Tekanan MPX2010DP	16
Gambar 2.8.	Blok Diagram Sistem Pengukuran	18
Gambar 2.9.	Grafik *non-linieritas*	21
Gambar 2.10.	Grafik Hysterisis	22
Gambar 2.11.	Definisi Resolusi	22
Gambar 2.12.	Bentuk Fisik Arduino Uno	27
Gambar 2.13.	Tampilan *Microsoft Visual Studio 2013*	28
Gambar 3.1.	Skema diagram alir Tugas Akhir	29
Gambar 3.2.	Konfigurasi *Amplifier* dengan Sensor	31
Gambar 3.3.	Desain *Input* Serial COM	31
Gambar 3.4.	Desain Untuk Data Pengukuran	32
Gambar 3.5.	Desain Output Dari Respon Grafik	33
Gambar 3.6.	Desain Rancang Bangun Tampak Depan	33
Gambar 3.7.	Desain Rancang Bangun Tampak Belakang	34
Gambar 3.8.	Detail *Elbow Tabs*	35
Gambar 3.9.	Tampilan Pada Arduino Uno	36
Gambar 3.10.	Interface Pengukuran Visual Studio 20133	36
Gambar 4.1.	Diagram blok sistem pengukuran laju aliran pada *elbow tabs*	41
Gambar 4.2.	*Hardware* Sistem Monitoring Laju Aliran	41
Gambar 4.3.	Desain Tampak Depan Rancang Bangun	42
Gambar 4.4.	Desain Tampak Belakang Rancang Bangun	42
Gambar 4.5.	Garfik Perhitungan Nilai CV Pada *Elbow Tabs*	44
Gambar 4.6.	Grafik Pengujian *Flowrate* Alat	46
Gambar 4.7.	Grafik Hysterisis *Flowrate*	48

Gambar 4.8. Grafik *Differential Pressure* Ketika Tekanan Ditambahkan 55
Gambar 4.9. Grafik Monitoring *Flowrate* Pada Pengukuran *Elbow Tabs* 55
Gambar 4.10. Grafik *Differential Pressure* Terhadap *Flowrate* 56
Gambar 4.11. Grafik sampling 30 detik Pada Range Ukur 7 LPM 57
Gambar 4.12. Grafik sampling 30 detik Pada Range Ukur 9 LPM 58
Gambar 4.13. Grafik sampling 30 detik Pada Range Ukur 11 LPM 58
Gambar 4.14. Grafik sampling 1 menit Pada Range Ukur 7 LPM 60
Gambar 4.15. Grafik sampling 1 menit Pada Range Ukur 9 LPM 60
Gambar 4.16. Grafik sampling 1 menit Pada Range Ukur 11 LPM 61
Gambar 4.17. Grafik sampling 3 menit Pada Range Ukur 7 LPM 62
Gambar 4.18. Grafik sampling 3 menit Pada Range Ukur 9 LPM 63
Gambar 4.19. Grafik sampling 3 menit Pada Range Ukur 11 LPM 63
Gambar 4.20. Grafik sampling 5 menit Pada Range Ukur 7 LPM 65
Gambar 4.21. Grafik sampling 5 menit Pada Range Ukur 9 LPM 65
Gambar 4.22. Grafik sampling 5 menit Pada Range Ukur 11 LPM 66
Gambar 4.23. Grafik sampling 10 menit Pada Range Ukur 7 LPM 67
Gambar 4.24. Grafik sampling 10 menit Pada Range Ukur 9 LPM 68
Gambar 4.25. Grafik sampling 10 menit Pada Range Ukur 11 LPM 68

DAFTAR NOTASI

A	=	Luas penampang	m^2
a	=	Koofisien garis lurus ideal	
D	=	diameter pipa	m
F	=	gaya	Newton
g	=	percepatan gravitasi	m/s^2
h	=	ketinggian	m
K	=	Faktor cakupan	
m	=	massa fluida	kg
n	=	Jumlah data	
P	=	tekanan fluida	psig
ρw	=	kerapatan air	kg/m^3
Q	=	laju aliran	liter/menit
$s.g$	=	*specific gravity*	
t_i	=	Pembacaan standar	Liter/menit
U_{A1}	=	Nilai suatu ketidakpastian pengukuran	Liter/menit
U_{A2}	=	Nilai ketidakpastian regresi	Liter/menit
U_{B1}	=	Nilai ketidakpastian resolusi	Liter/menit
U_{B2}	=	Nilai ketidakpastian dari kalibrator	Liter/menit
U_c	=	Nilai ketidakpastian dari pengukuran nilai kombinasi	Liter/menit
U_i	=	Hasil ketidakpastian tipe A	
V	=	volume fluida	m^3
v	=	kecepatan fluida	m/detik
$Veff$	=	Derajat kebebasan efektif dari ketidakpastian kombinasi	Liter/menit
v_i	=	Derajat kebebasan dari komponen ketidakpastian ke-I	Liter/menit
		dan B	Liter/menit
x_i	=	Pembacaan alat	Liter/menit
y_i	=	Nilai koreksi	Liter/menit
ρ	=	*density*	kg/m^3
μ	=	viskositas dinamik fluida	kg/ms

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan meningkatnya kemajuan teknologi dan perkembangan ilmu pengetahuan, kebutuhan akan instrumentasi terus bertambah. Dalam bidang industri banyak alat-alat yang digunakan untuk menunjang proses produksi. Pemanfaatan energi fluida bertekanan menyusul energi yang terlebih dahulu ada seperti energi mekanik, energi listrik sehingga menyebabkan semakin luasnya penggunaan energi bagi kehidupan manusia. Pemunculan energi baru tersebut akan memunculkan pula suatu teknologi yang terbarukan. Penerapan pengukuran fluida dalam mekanika fluida sangat beragam, mulai dari pengukuran laju aliran dalam pembuluh darah manusia sampai kepada pengukuran aliran oksigen cair didalam roket. Banyak proyek besar di industri yang tergantung pada pengukuran aliran fluida untuk mendapatkan data–data untuk dianalisis karena fluida merupakan faktor yang menentukan dalam suatu proses itu sendiri.[1]

Banyak metode pengukuran laju aliran yang digunakan dalam mekanika fluida, setiap metode yang digunakan akan menghasilkan suatu nilai karakteristik yang berbeda-beda, tidak semua jenis pengukuran laju aliran dapat menggunakan metode yang sama, dilihat dari *pressure drop* yang dihasilkan akan mempengaruhi setiap metode yang digunakan. Salah satu metode yang digunakan pada pengukuran laju aliran ini adalah dengan menggunkan metode *Elbow Tabs*. Pada pengukuran fluida sering dijumpai sambungan pipa seperti *elbow* dengan kemiringan tertentu seperti 45° atau 90°. Kemiringan pada *elbow* tersebut dapat mempengaruhi perbedaan tekanan maupun *pressure drop* pada fluida yang melewati *elbow* tersebut.[1]

Untuk mengetahui setiap perbedaan tekanan maupun *pressure drop* yang ada pada fluida yang melewati *elbow taps* tersebut dibuat Rancang Bangun Sistem Monitoring Laju Aliran pada *Elbow Tabs* dengan Menggunakan Sensor MPX2010DP

Berbasis Arduino. Rancang bangun ini akan dapat menghitung laju aliran pada *elbow tabs* dengan menggunakan *Pressure Sensor* MPX2010DP dan arduino sebagai mikrokontroller dengan *Visual Studio* 2013 sebagai penampil *display* monitoring dari sistem rancang bangun laju aliran tersebut.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

a. Bagaimana rancang bangun sistem monitoring laju aliran pada *elbow tabs* dengan menggunakan sensor MPX2010DP berbasis arduino ?
b. Bagaimana karakteristik alat ukur *flowrate* dengan menggunakan metode *elbow tabs* ?
c. Bagaimana mengetahui sistem monitoring laju aliran pada *elbow tabs* menggunakan sistem komunikasi *Visual Studio* 2013 ?

1.3 Batasan Masalah

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

a. Alat yang dirancang dan dibangun hanya memiliki fungsi untuk mengukur laju aliran yang didapat dari perbedaan tekanan dengan menggunakan metode *Elbow Tabs*.
b. Komponen dari alat ini adalah MPX2010DP sebagai sensor tekanan, arduino sebagai mikrokontroller atau data program, *software Visual Studio* 2013 yang berfungsi sebagai sistem komunikasi monitoring laju aliran.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan utama dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

a. Membuat rancang bangun sistem monitoring laju aliran pada *elbow tabs* dengan menggunakan sensor MPX2010DP berbasis arduino.
b. Mengetahui karakteristik alat ukur *flowrate* dengan menggunakan metode *elbow tabs*.
c. Mengetahui sistem monitoring laju aliran dengan menggunakan sistem komunikasi *Visual Studio* 2013.

1.5 Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah sebagai sistem monitoring laju aliran dengan menggunakan sistem komunikasi *Visual Studio* 2013 untuk mengetahui karakteristik dari *elbow tabs*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fluida

2.1.1 Definisi Fluida

Fluida atau zat cair merupakan wujud yang tidak mempunyai bentuk yang tetap, tetapi dapat mengalir dan dapat mengambil bentuk tempat yang diisinya. Dalam suatu fluida mmpunyai tiga fasa materi yaitu padat, cair, dan gas. Fasa padat mempertahankan suatu bentuk dan ukuran yang tetap sekalipun suatu gaya yang besar dikerjakan pada benda padat tidak dapat dengan mudah berubah bentuknya maupun volumenya. Fasa cair tidak dapat mempertahankan bentuk yang tetap karena mengikuti bentuk wadahnya, tatapi pada fasa ini tidak dengan mudah dimampatkan. Sehingga volumenya dapat diubah jika dikerjakan pada gaya yang sangat besar. Fasa gas tidak mempunyai bentuk maupun volume yang tetap, fasa gas akan bekembang mengisi seluruh wadah. Molekul-molekul gas dapat dianggap sebagai suatu sistem partikel bebas. Gas lebih mudah dimampatkan daripada zat cair karena karena fasa cair dan gas tidak mempertahankan suatu bentuk yang tetap, keduanya mempunyai kemampuan mengalir, dengan demikian kedua-duanya sering secara kolektif disebut sebagai fluida. [2]

2.1.2 Sifat-Sifat Fluida

Untuk mengerti aliran fluida maka harus mengetahui beberapa sifat dasar fluida. Adapun sifat – sifat dasar fluida yaitu: kerapatan (*density*) ρ, (*specific gravity*) (*s.g*), tekanan (*pressure*) P, kekentalan (*viscosity*) μ.[2]

a. Kerapatan (Density)

Kerapatan (*density)* ρ suatu zat adalah ukuran untuk konsentrasi zat tersebut dan dinyatakan dalam massa per satuan volume. Sifat ini ditentukan dengan cara menghitung perbandingan massa zat yang terkandung dalam suatu bagian tertentu terhadap volume bagian tersebut.

$$\rho = m/v \quad (2.1)$$

dimana: v = volume fluida (m^3)
m = massa fluida (kg)
ρ = rapat massa (kg/m^3)

Volume jenis (v) adalah volume yang ditempati oleh sebuah satuan massa zat dan karena itu merupakan kebalikan dari kerapatan:

$$v = 1/\rho \quad (2.2)$$

berat jenis γ adalah gaya gravitasi terhadap massa yang terkandung dalam sebuah satuan volume zat, maka:

$$\gamma = \rho.g \quad (2.3)$$

dimana: ρ = rapat massa (kg/m^3)
g = percepatan gravitasi (9,81 m/s^2)

b. *Specific Grafity (s.g)*

Spesific grafity (*s.g*) adalah sifat yang digunakan untuk memperbandingkan kerapatan suatu zat dengan kerapatan air. Karena kerapatan semua zat cair bergantung pada temperatur serta tekanan, maka temperatur zat cair yang dipertanyakan, serta temperatur air yang dijadikan acuan, harus dinyatakan untuk mendapatkan harga-harga gravitasi jenis yang tepat.[2]

$$s.g = \rho/\rho w \quad (2.4)$$

dimana: $s.g$ = spesifik *grafity*
ρ = rapat massa (kg/m^3)
ρw = kerapatan air (kg/m^3)

2.2 Aliran Fluida

2.2.1 Klasifikasi Aliran Fluida

Secara garis besar jenis aliran dapat dibedakan atau dikelompokkan sebagai berikut :

a. Aliran Tunak (*steady)*

Suatu aliran dimana kecepatannya tidak terpengaruh oleh perubahan waktu sehingga kecepatan konstan pada setiap titik (tidak mempunyai percepatan). [2]

b. Aliran Tidak Tunak (*unsteady*)

Suatu aliran dimana terjadi perubahan kecepatan terhadap waktu. [2]

2.2.2 Tipe – Tipe Aliran

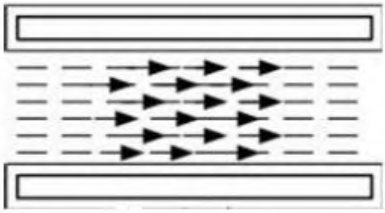
Bilangan *Reynolds* merupakan bilangan yang tak berdimensi yang dapat membedakan suatu aliran dinamakan laminer, transisi dan turbulen. [2]

$$Re = V D \rho / \mu \qquad (2.5)$$

Dimana: V = kecepatan fluida (m/s)
D = diameter dalam pipa (m)
ρ = rapat massa fluida (kg/m^3)
μ = viskositas dinamik fluida (kg/ms) atau (N.s/m^2)

a. Aliran Laminar

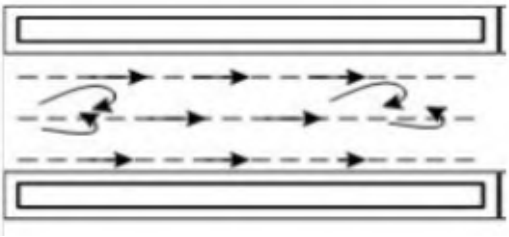
Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan–lapisan atau lamina–lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Aliran laminar ini mempunyai nilai bilangan *Reynolds*-nya kurang dari 2300 (Re < 2300).



Gambar 2.1. Aliran Laminar[2]

b. Aliran Transisi

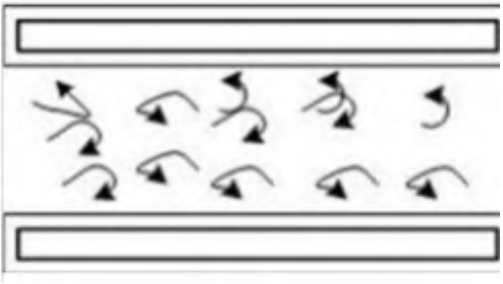
Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminer ke aliran turbulen. Keadaan peralihan ini tergantung pada viskositas fluida, kecepatan dan lain-lain yang menyangkut geometri aliran dimana nilai bilangan *Reynolds*-nya antara 2300 sampai dengan 4000 (2300<Re<4000).



Gambar 2.2. Aliran Transisi[2]

c. Aliran Turbulen

Aliran turbulen didefinisikan sebagai aliran yang dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dimana nilai bilangan *Reynolds*-nya lebih besar dari 4000 (Re>4000).[2]



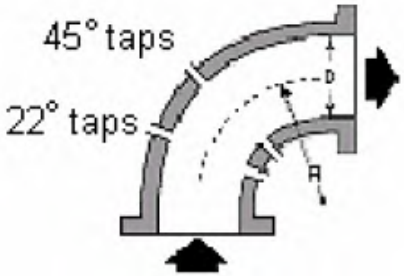
Gambar 2.3. Aliran Turbulen[2]

Berdasarkan pengaruh tekanan terhadap volume, fluida dapat digolongkan menjadi 2 yaitu :

1. Fluida tak termampatkan (*incompressible*), pada kondisi ini fluida tidak mengalami perubahan dengan adanya perubahan tekanan, sehingga fluida tak termampatkan.
2. Fluida termampatkan (*compressible*), pada keadaan ini, fluida mengalami perubahan volume dengan adanya perubahan tekanan.[2]

2.3 *Elbow Tabs*

Elbow Tabs merupakan jenis *fitting* pada pemipaan yang berfungsi untuk membelokkan arah aliran fluida. Pada belokan *elbow* akan ada perbedaan tekanan yang terjadi saat fluida melewati belokan *elbow* tersebut. Menggunakan metode *elbow tabs* dapat menghasilkan *pressure loss* yang kecil dibandingkan dengan menggunakan *orifice plate* dengan biaya yang lebih hemat sehingga banyak dalam pengaplikasian laju aliran menggunakan metode *Elbow Tabs*.[3]



Gambar 2.4. *Elbow Tabs*[3]

Pada *elbow tabs* terdapat banyak kemiringan *elbow tabs* yaitu 45^0, 22^0 maupun 90^0. Penggunaan kemiringan sudut *elbow tabs* tergantung pengukuran aliran yang dilakukan. Seperti *elbow* dengan kemiringan 45^0 lebih cocok untuk aliran *bi-directional*. Beberapa Faktor yang berkontribusi terhadap tekanan diferensial yang dihasilkan dari *elbow tabs* sehingga menghasilkan data yang akurat adalah sebagai berikut :

a. Tekstrur pipa *elbow tabs* yang digunakan.
b. Hubungan antara radius pipa *elbow tabs* dengan diameter pipa.

c. Adanya perbedaan kecepatan antara jari-jari dalam dengan jari-jari luar pada pipa.
d. Aliran turbulensi yang dihasilkan berdasarkan aliran *cross*-aksial yang ada pada *elbow tabs*.

Pada umumnya penggunaan *elbow tabs* ini akan menghasilkan tingkat keakurasian yang lebih baik dari 4%. [3]

2.3.1 *Head loss* & *Friction loss* pada *Elbow*

Sambungan-sambungan didalam pipa, misalnya *elbow*, kran, *valve*, tee akan mengganggu pola aliran fluida dan menyebabkan terjadinya rugi gesekan atau *Friction Loss*. *Friction Loss* ini biasanya dinyatakan sebagai rugi gesekan yang setara dengan panjang pipa lurus. Untuk 45^{o} *Elbow*, dengan diameter pipa 1 in – 3 in, misalnya, maka setara dengan panjang pipa 15 x D, sedangkan untuk 90^{o} *Elbow*, dengan diameter 3/8 in – 2,5 in, misalnya maka setara dengan panjang pipa 30 x D.

Persamaan-persamaan yang digunakan didalam pipa *Horizontal*, termasuk untuk menentukan *Head Loss* juga berlaku untuk *elbow* dengan catatan *elbow* juga dalam posisi *horizontal* didalam sistem perpipaan. Hasil pengujian *head loss* menunjukkan bahwa, sudut sambungan belokkan berbanding lurus dengan *head loss*. Semakin besar sudut sambungan belokan pipa, nilai *head loss* yang dihasilkan semakin besar. Hal ini disebabkan oleh perbedaan tinggi tekan pada sebelum dan setelah belokan pipa yang semakin meningkat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kecepatan air berbanding terbalik dengan sudut sambungan belokan pipa, semakin besar sudut sambungan belokan pipa maka kecepatan air semakin kecil, dan sebaliknya semakin kecil sudut sambungan belokan pipa kecepatan air semakin besar. Hal tersebut disebabkan karenan waktu yang diperlukan lebih lama untuk sudut belokan yang semakin besar.[4]

2.3.2 *Friction Loss* pada *Enlargement* dan *Contraction*

Untuk pipa dimana diameternya berubah kecil kebesar, pipa pertama dengan diameter D_1 dan pipa kedua dengan diameter D_2, atau *Enlargement*, dan pipa masih didalam posisi

horizontal, tidak ada kerja pada sistem, maka ΔZ =0, W = 0 dengan persamaan :

$$-F = \frac{\Delta V^2}{2g_c} + \frac{\Delta p}{\rho} \quad (2.6)$$

Jika $\Delta p/\rho$ sangat kecil,dan bisa diabaikan terhadap harga dari $\Delta v^2/2g_c$, maka :

$$\frac{\Delta v^2}{2g_c} = -F \quad (2.7)$$

2.3.3 *Pressure Drop*

Pressure menunjukkan penurunan tekanan dari titik 1 ke titik 2 dalam suatu sistem aliran fluida. Penurunan tekanan,biasa dinyatakan juga dengan ΔP saja. Jika manometer yang digunakan adalah manometer air raksa,dan beda tinggi air raksa dalam manometer h ft, maka :

$$\Delta p = h\,(\rho\ hg)\ g/g \quad (2.8)$$

Pressure drop adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan penurunan tekanan dari satu titik di dalam pipa atau aliran air. "Penurunan Tekanan" adalah hasil dari gaya gesek pada fluida seperti yang mengalir melalui tabung. Gaya gesek disebabkan oleh resistensi terhadap aliran. Faktor utama yang mempengaruhi resistensi terhadap aliran fluida adalah kecepatan fluida melalui pipa dan viskositas fluida. Aliran cairan atau gas selalu akan mengalir ke arah perlawanan sedikit (kurang tekanan). Pada aliran satu fasa, *pressure drop* dipengaruhi oleh *Reynold number* yang merupakan fungsi dari viskositas, densitas fluida dan diameter pipa.[4]

2.3.4 Gesekan Dalam Pipa

Gesekan pada pipa dapat menyebabkan hilangnya energi mekanik fluida. Gesekan inilah yang menetukan aliran fluida dalam pipa, apakah laminar atau turbulen. Gesekan juga dapat

menimbulkan panas pada pipa sehingga merubah energi mekanik menjadi energi panas (kalor).

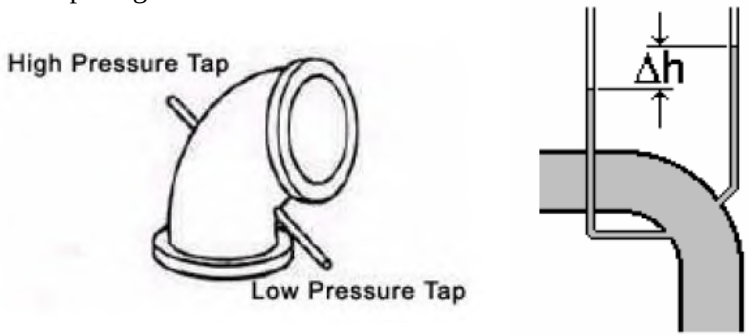
Dalam aplikasi kesehariannya, ada banyak sekali bentuk dan model pipa, seperti pipa bentuk *elbow, mitter, tee, reducer, cross,* dan lainnya. Bentuk serta model yang beraneka ragam tersebut sangat membantu dalam desain *layout* sistem perpipaan didunia industri. Pada saat operasi, bentuk dan model pipa yang bermacam-macam tersebut akan memiliki karakteristik tegangan yang berbeda-beda sebagai akibat dari pembebanan yang diterimanya. Akumulasi dari berat pipa itu sendiri dan tekanan fluida yang mengalir didalamnya, akan menyebabkan tegangan pada pipa yang dikenal sebagai beban *static*. Namun efek dari pembebanan seperti ini dapat diminimalisasi dengan memilih jenis penyangga (*support*) yang sesuai, dan menggunakan penyangga tersebut dalam jumlah cukup. Secara umum, beban dinamik dan beban termal pada pipa merupakan dua hal yang lebih penting, dan lebih sulit untuk ditangani. Pembebanan dinamik terjadi pada pipa yang berhubungan langsung dengan peralatan bergetar seperti pompa atau kompresor. Beban dinamik juga terjadi pada pipa yang mengalami beban termal, sehingga beberapa bagian pipa berekspansi dan menimbulkan tegangan pada pipa. Oleh sebab itu, perlu digunakan beberapa alat atau mekanisme yang didesain untuk memperkecil tegangan pada sistem perpipaan tersebut, agar kelebihan beban yang bisa mengakibatkan kegagalan pada bagian pipa, atau kerusakan pada alat yang terhubung dengannya dapat dihindari.

Salah satu komponen penyambungan dalam sistem perpipaan adalah *pipe bend* (pipa lengkung) atau *elbow*. *Pipe bend* berfungsi untuk membelokkan arah aliran fluida didalam pipa. Namun *pipe bend* lebih sulit untuk dianalisa karena permukaannya menjadi oval dibawah pembebanan momen bending. Hal ini menyebabkan *pipe bend* memiliki fleksibilitas yang lebih besar dibandingkan dengan pipa lurus yang sama ukuran dan jenis materialnya. Lebihnya fleksibilitas ini menjadikan *pipe bend* berfungsi sebagai penyerap ekspansi *thermal*. Dengan berbagai karakteristik tersebut, *pipe bend*

menjadi komponen yang sangat penting di dalam sistem perpipaan dan memerlukan berbagai macam pertimbangan dalam proses perancangannya.[5]

2.4 Laju Aliran Pada *Elbow Tabs*

Elbow Tabs bekerja berdasarkan beda tekanan yang melalui suatu belokan pada pipa berdasarkan sudut yang ada pada suatu pipa yang dapat dicari hubungannya dengan kecepatan aliran fluida. Sehingga dari mengetahui beda tekanan dan kecepatan alir, maka akan didapatkan jumlah aliran yang melewati *Elbow Tabs* tersebut. *Elbow Tabs* merupakan alat mengukur kelajuan (debit) cairan pada pipa. *Elbow Tabs* dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.5. Pengukuran Laju Aliran Dengan *Elbow Tabs* [6]

Gambar 2.5. merupakan gambar dari metode pengukuran laju aliran dengan metode *Elbow Tabs*. Sebuah *Elbow* pada suatu pipa dapat digunakan sebagai alat pengukuran laju aliran seperti pada *venturimeter* maupun *orifice plate*. Pengukuran dengan menggunakan *Elbow Tabs* tidak memiliki nilai keakuratan yang baik dari *venturimeter* maupun *orifice plate*. *Typical* akurasinya kurang lebih 4% dari nilai Q.[6]

2.4.1 Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas mengatakan hubungan antara kecepatan fluida yang masuk pada suatu pipa terhadap kecepatan fluida yang keluar. [11] Hubungan tersebut dinyatakan dengan :

$$Q = A\ V \tag{2.9}$$

Dimana : A = Luas penampang (m^2)
V = kecepatan (m/det)

Debit adalah besaran yang menyatakan volume fluida yang mengalir tiap satuan waktu.

$$Q = V/t \tag{2.10}$$

Dimana : V = Volume (m^3)
t = waktu (detik)

Jika disubtitusikan persamaan 9 dan 10 maka dihasilkan persamaan:

$$v = \frac{V}{t.A} \tag{2.11}$$

Dimana : v = volume (m^3)
t = waktu (detik)
A = Luas penampang (m^2)
V = kecepatan (m/det)

Jika fluida bergerak dalam pipa yang mengalir dengan luas penampang
yang berbeda maka volume yang mengalir [11] :

$$V=A.v.\ t \tag{2.12}$$

$$A_1.v_1.t_1 = A_2.v_2.t_2 \tag{2.13}$$

2.4.2 Persamaan Bernoulli

Persamaan Bernoulli merupakan suatu persamaan yang menjelaskan berbagai hal yang berkaitan dengan kecepatan, tinggi permukaan zat cair dan tekanannya. Hukum Bernoulli ini diturunkan dari hokum Newton kedua. Untuk dua titik 1 dan 2

pada sebuah medan aliran (*flow field*), persamaan Bernoulli dinyatakan sebagai berikut:

$$P1 + \tfrac{1}{2}\rho v^2 1 + \rho g h1 = P2 + \tfrac{1}{2}\rho v^2 2 + \rho g h2 \quad (2.14)$$

atau ditulis secara umum menjadi :

$$P + \tfrac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h = konstan \quad (2.15)$$

Persamaan diatas merupakan persamaan yang menyatakan hokum Bernoulli yang menyatakan hubungan antara kecepatan aliran dengan tinggi permukaan air dan tekanannya. [7]

2.5 Rotameter

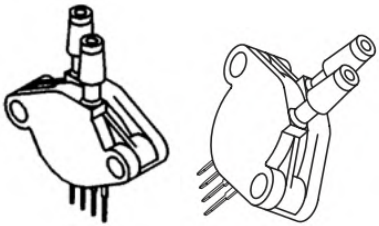
Rotameter merupakan alat pengukur aliran yang mengukur aliran volumetrik fluida cair. Seperti yang ditunjukkan gambar 2.6. *variabel* area dari *flowmeter* terdiri dari *float* di dalam pipa ulir. Pipa yang biasanya terbuat dari *high-strengh glass* disusun dengan poros vertikal sehingga fluida memasuki bagian akhir pipa yang sempit dan naik untuk menuju pada bagian ujung pipa yang lebar. Pelampung atau *float* tidak benar-benar mengapung namun hanya terlihat seperti mengapung, begitu naik dan turun ke level dimana keadaan *equilibrium* di bawah perlakuan beratnya dan gaya tarik fluida dan gaya apung akan bergerak ke atas. Fluida naik melewati pelampung melalui ruang seperti cincin di antara pelampung dan dinding dari pipa, dan dari celah ini terbentuklah *pressure drop* diantara bagian atas dan bawah dari pelampung. Jika laju aliran meningkat, maka *pressure drop* juga naik dan menyebabkan pelampung naik hingga ruang sepereti cincin antara pelampung dan dinding pipa menurunkan *pressure drop* ke nilai equilibriumnya lagi.[7]

Gambar 2.6. Rotameter [7]

2.6 Sensor MPX2010DP

Sensor MPX2010 merupakan jenis sensor tekanan seri *silicon piezoresistive* yang akurasi dan memiliki *output* tegangan yang linear secara proporsional pada sebuah tekanan. Pada sensor tersebut memiliki sebuah *strain gauge* dan film resistor yang terintegrasi. Sensor ini memiliki nilai span, kalibrasi sensor dan juga temperature.

Sensor tekanan tipe MPX2010DP merupakan sensor tekanan yang bekerja berdasarkan perbedaan tekanan diantara dua output. Den memiliki range tegangan anatara 0 kPa sampai 10 kPa dengan output 0 volt sampai 15 volt. *Datasheet* dari sensor MPX2010DP dapat dilihat pada lampiran.[8]



Gambar 2.7. Sensor tekanan MPX2010DP[8]

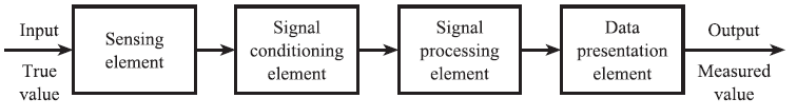
2.7 Rangkaian Penguat *(Operational Amplifier)*

O*perational Amplifier* atau di singkat *op-amp* merupakan salah satu komponen *analog* yang popular digunakan dalam berbagai aplikasi rangkaian elektronika. Aplikasi *op-amp* popular yang paling sering dibuat antara lain adalah rangkaian *inverter*, *non-inverter*, *integrator* dan differensiator. Pada pokok bahasan kali ini akan dipaparkan beberapa aplikasi *op-amp* yang paling dasar, dimana rangkaian *feedback* (umpan balik) negatif memegang peranan penting. Secara umum, umpanbalik positif akan menghasilkan osilasi sedangkan umpanbalik negatif menghasilkan penguatan yang dapat terukur.

Op-amp pada dasarnya adalah sebuah *differential amplifier* (penguat diferensial) yang memiliki dua masukan. *Input* (masukan) *op-amp* seperti yang telah dimaklumi ada yang dinamakan *input inverting* dan *non-inverting*. *Op-amp* ideal memiliki *open loop gain* (penguatan *loop* terbuka) yang tak terhingga besarnya. Seperti misalnya op-amp LM324 yang sering digunakan oleh banyak praktisi elektronika, memiliki karakteristik tipikal *open loop gain* sebesar 104 ~ 105. Penguatan yang sebesar ini membuat *op-amp* menjadi tidak stabil, dan penguatannya menjadi tidak terukur (*infinite*). Disinilah peran rangkaian *negative feedback* (umpan balik negatif) diperlukan, sehingga *op-amp* dapat dirangkai menjadi aplikasi dengan nilai penguatan yang terukur (*finite*). Impedasi *input* op-amp ideal mestinya adalah tak terhingga, sehingga mestinya arus *input* pada tiap masukannya adalah 0. [9]

2.8 Sistem Pengukuran

Secara umum, sistem pengukuran disusun atas beberapa tahap, dan tahapan tersebut dijelaskan dengan diagram blok. Diagram blok sistem pengukuran terdiri atas empat aspek utama, yaitu *sensing element, signal conditioning element, signal processing element* dan *data presentation element*. Berikut ini penjelasan dari diagram blok sistem pengukuran.



Gambar 2.8. Blok diagram sistem pengukuran[9]

Berdasarkan blok diagram diatas, berikut merupakan penjelasan mengenai setiap komponen diagram blok tersebut :

- *Input* : besaran yang diukur sesuai nilai sebenarnya
- *Sensing element* / elemen penyensor : Suatu elemen yang berhubungan langsung dengan proses dan memberikan *output* sesuai variabel besaran yang terukur.
- *Signal conditioning element* / elemen pengondisian sinyal : elemen yang mendapat *input* dari *output* elemen penyensor yang nantinya dirubah menjadi bentuk yang dapat diolah oleh elemen pemrosesan sinyal.
- *Signal processing element* / elemen pemrosesan sinyal : elemen yang mendapat *input* dari *output* pengondisian sinyal yang kemudian dikonversi ke bentuk yang sesuai dengan sinyal elemen penampil agar data diproses ke data selanjutnya.
- *Data presentation elemet* / elemen penampil data : suatu elemen sebagai penampil hasil nilai pengukuran yang dapat dilihat atau dikenali oleh pengamat.

2.9 Kalibrasi Dan Karakteristik Alat Ukur

Suatu proses operasi yang betujuan untuk memperoleh nilai dalam suatu besarannya disebut pengukuran (Hadisupadmo, 2012). Dalam melakukan pengukuran, pasti dibutuhkan suatu *instrument* atau alat ukur untuk mempermudah manusia dalam mendapatkan nilai dalam besaran tersebut dengan kondisi yang sesuai pada saat dilakukannya pengukuran. Beberapa komponen penting dalam pengukuran yaitu material/bahan, *instrument*, pelaku pengukuran, metode pengukuran, serta kondisi lingkungan pada saat dilakukan pengukuran. Kompenen penting dalam pengukuran akan berpengaruh pada nilai yang terukur atau

pembacaan alat ukur sehingga dapat mempengaruhi pula pada hasil perhitungan ketidakpastian dari alat ukur tersebut. Terdapat 2 jenis metode pengukuran, yaitu pengukuran langsung dan tak langsung. Dimana pengukuran langsung merupakan pengukuran yang dilakukan pada alat ukur/*instrument* yang sama, kondisi lingkungan yang sama serta waktu yang bersamaan. Sedangkan untuk pengukuran tidak langsung merupakan pengukuran yang dilakukan pada kondisi yang berbeda, dimana terjadi pergantian alat ukurnya maupun terjadi perubahan lingkungan serta pada saat pengukuran yang tidak langsung diperoleh nilai sebenarnya sesuai besaran yang diukur (dilakukan konversi dari besaran satu ke besaran yang lain yang merupakan besaran yang diukur)[9]

2.9.1 Kalibrasi

Menurut ISO/IEC *Guide* 17025:2005 dan *Vocabullary of International Metrology* (VIM), kalibrasi adalah kegiatan yang menghubungkan antara nilai yang terukur oleh suatu instrumen ukur atau sistem pengukuran atau yang diwakili K oleh bahan ukurnya dengan nilai yang telah diketahui dari besaran yang diukur dalam keadaan tertentu. Tujuan kalibrasi yaitu mendukung adanya sistem mutu di industri pada peralatan laboratorium dan peralatan produksi yang ada serta untuk mengetahui besar perbedaan antara nilai yang terukur dengan nilai sebenarnya.[9]

a. Prinsip dasar kalibrasi, yaitu :
   - Obyek ukur (Unit *Under Test*)
   - Standar ukur (mulai dari alat hingga metode yang dilaksanakan)
   - Teknisi bersertifikat
   - Pengondisian lingkungan yang sesuai standart

b. Hasil dari perlakuan kalibrasi, yaitu :
   - Mendapatkan nilai obyek ukur
   - Nilai koreksi atau penyimpangan
   - Nilai ketidakpastian
   - Serta sifat metrologi yang lain, seperti faktor kalibrasi dan kurva kalibrasi.

2.9.2 Karakteristik Statik Alat Ukur

Karakteristik statik yaitu karakteristik dari suatu instrument/ alat ukur yang tidak bergantung waktu. Karakter instrumen yang termasuk pada karakteristik statik yaitu :

a. *Range*/ Jangkauan : Jangkauan nilai minimum dan maksimum dari *input* ataupun *output* spesifikasi instrumen (Rentang : I/Omin –I/Omaks).
b. *Span/* Rentang : Rentang variasi maksimum dari *input* ataupun *output* (Rentang *input* = Imax - Imin sedangkan Rentang *output* = Omax - Imin).
c. *Ideal straight line*/ Linieritas : suatu elemen dikatakan linier ketika hubungan nilai *input* dan *output* menampilkan garis lurus. Dimana dalam garis lurus tersebut dihubungkan dari 2 titik, yaitu titik minimum dari selisih *input* minimum dan *output* minimum (Imin – Omin) serta titik maksimum dari selisih *input* maksimum dan *output* maksimum (Imaks – Omaks). Berikut ini persamaan linieritas :

$$O - O_{min} = \left[\frac{O_{maks} - O_{min}}{I_{maks} - I_{min}}\right](I - I_{min}) \qquad (2.16)$$

$$O_{ideal} = KI + a \qquad (2.17)$$

Dimana :

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

a = Koofisien garis lurus ideal

$= O_{min} - KI_{min}$

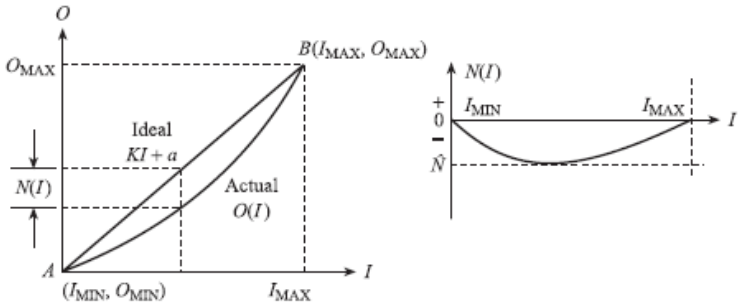
d. *Non-linierietas* : Dalam beberapa keadaan, bahwa dari persamaan linieritas muncul garis yang tidak lurus yang biasa disebut *non-linier* atau tidak linier. Didalam fungsi garis yang tidak linier ini menunjukkan perbedaan antara hasil pembacaan *actual* / nyata dengan garis lurus idealnya. Dengan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

$$N(I) = O(I) - (KI + a) \quad (2.18)$$

$$O(I) = KI + a + N(I) \quad (2.19)$$

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

Prosentase maksimum Nonlinieritas dari defleksi skala penuh $= \frac{N}{O_{maks} - O_{min}} x100\%$ (2.20)



Gambar 2.9. Grafik *non-linieritas*[9]

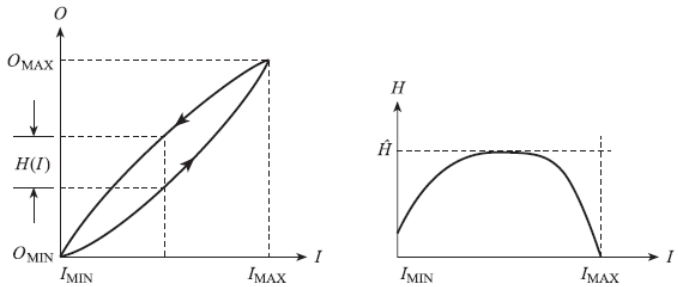
e. Sensitivitas : Menunjukan kepekaan sensor terhadap pengukuran. Sensitivitas merupakan perubahan selisih output dari setiap perubahan selisih input.

$$\text{Sensitivitas} = \frac{\Delta O}{\Delta I} \quad (2.21)$$

f. *Hysteresis* : merupakan perbedaan tertinggi antara 2 nilai *output* dari pengukuran naik dan turun.

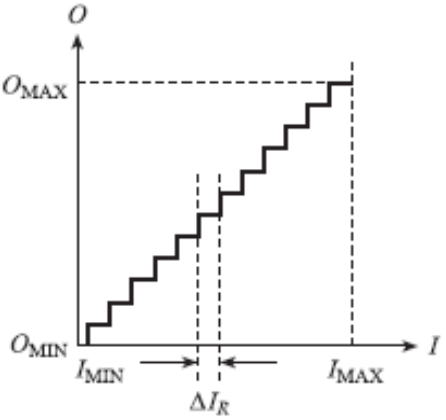
$$H(I) = O(I)_{I\downarrow} - O(I)_{I\uparrow} \quad (2.22)$$

$$\%\, Maksimum\, Hysteresis = \frac{H}{O_{max} - O_{min}} x\ 100\%$$



Gambar 2.10. Grafik *hysterisis*[9]

g. Resolusi : merupakan perubahan terbesar dari input yang dapat terjadi tanpa adanya perubahan pada *output*.



Gambar 2.11. Definisi resolusi[9]

h. Akurasi : nilai kedekatan antara nilai dari besaran yang terukur dengan nilai yang sebenarnya. (*ISO GUM B* 2.15; *VIM* 3.5 dalam KAN DP.01.23)

2.9.3 Karakteristik Dinamik Alat Ukur

Karakteristik yang menyatakan respon sistem ketika transien pada *input* konstan serta pada saat *input* berubah terhadap waktu. Karakteristik orde dalam instrument ada 4 macam, yaitu :

a. Insrumen Orde Nol, instrumen yang memiliki karakter dari sensitivitasnya, (K) (Perbandingan *output* dan *input*).
b. Instrumen Orde Satu, instrumen yang memiliki karakter dari sensitivitasnya (K) dan Konstanta waktu (τ).
c. Instrumen Orde Dua, instrumen yang memiliki karakter dari sensitivitasnya (K) dan 2 macam konstanta waktu (τ_1 dan τ_2).
d. Instrumen Orde Tinggi, instrumen yang memiliki karakter seperti instrumen orde nol, orde satu, atau orde dua namun ditambah dengan waktu mati.[9]

2.10 Analisis Ketidakpastian

Ketidakpastian adalah nilai ukur sebaran kelayakan yang dapat dihubungkan dengan nilai terukurnya. Dimana di dalam nilai sebaran tersebut terdapat nilai rentang yang menunjukkan nilai sebenarnya.

- Klasifikasi ketidakpastian, antara lain :
  - **Tipe A** : nilai ketidakpastian yang dilihat dari analisis pengukuran statistik (*ISO GUM B* 2.15; *VIM* 3.5 dalam KAN DP.01.23).
    Di dalam tipe ini dilakukan pengukuran hingga n kali, dimana dari pengukuran tersebut akan mendapatkan nilai rata-rata, standar deviasi, dan data keterulangan. Dimana rumus umum ketidakpastian tipe A sebagai berikut :

$$U_{a1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{ (Ketidakpastian hasil pengukuran)} \qquad (2.23)$$

Dimana :
$\sigma = Standart\ deviasi\ koreksi$
n = Jumlah data

$$\sigma = \frac{\sqrt{\Sigma(y_i - \bar{y})^2}}{n-1} \qquad (2.24)$$

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}}\ (Ketidakpastian\ regresi) \quad (2.25)$$

Dimana :
SSR (*Sum Square Residual*) = ∑SR (*Square Residual)*
SR = R^2 (*Residu*)
Yi (Nilai koreksi) = $t_i - x_i$ (2.26)

$$Yreg = a + (b\ x\ ti) \quad (2.27)$$

$$a = \overline{y_i} + (b\ x\ \overline{t_i}) \quad (2.28)$$

$$b = \frac{n.\sum t_i y_i - \sum y_i \sum t_i}{n.\ \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}; \quad (2.29)$$

Dimana :
t_i = Pembacaan standar
x_i = Pembacaan alat
y_i = Nilai koreksi

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

$$\mathbf{U_{B1}} = \frac{\frac{1}{2} x\ Resolusi}{\sqrt{3}} \quad (2.30)$$

$$\mathbf{U_{B2}} = \frac{a}{k} \quad (2.31)$$

Dimana :
$\mathbf{U_{B1}}$ = Nilai ketidakpastian resolusi
$\mathbf{U_{B2}}$ = Nilai ketidakpastian dari alat standar/kalibrator

- **Ketidakpastian Baku Gabungan (Kombinasi)**
Ketidakpastian baku gabungan disimbolkan dengan U_c, dimana nilai ketidakpastian yang digunakan untuk

mewakili nilai estimasi standar deviasi dari hasil pengukuran. Nilai ketidakpastian baku gabungan didapat dari menggabungkan nilai-nilai ketidakpastian baku dari setiap taksiran masukan (hukum propagasi ketidakpastian) (*ISO GUM B* 2.15; *VIM* 3.5 dalam KAN DP.01.23).

Berikut merupakan rumus umum ketidakpastian baku gabungan :

$$U_c = \sqrt{U_{AI}^{\ 2} + U_{A2}^{\ 2} + U_{B1}^{\ 2} + U_{B2}^{\ 2}} \qquad (2.32)$$

Dimana :

U_c = Nilai ketidakpastian kombinasi
U_{A1} = Nilai ketidakpastian hasil pengukuran
U_{A2} = Nilai ketidakpastian regresi
U_{B1} = Nilai ketidakpastian resolusi
U_{B2} = Nilai ketidakpastian kalibrator

- **Derajat Kebebasan Efektif**

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

$$V = n-1 \qquad (2.33)$$

Dimana :

n = Jumlah data

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

$$Veff = \frac{(U_c)^4}{\sum^{(U_i)^4}/_{V_i}} \qquad (2.34)$$

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-student*s. [9]

- **Ketidakpastian Diperluas, U_{exp}**

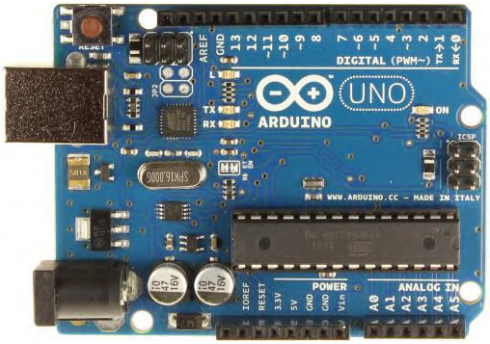
Ketidakpastian diperluas merupakan akhir nilai ketidakpastian dengan tingkat kepercayaan. Tingkat kepercayaan tingkat keyakinan mengenai daerah nilai sebenarnya pada suatu pengukuran.[14]

$$U_{exp} = k \; x \; U_c \qquad (2.35)$$

Dimana :
k = Faktor cakupan
U_c = Nilai ketidakpastian kombinasi

2.11 Arduino Uno

Arduino Uno adalah *board* mikrokontroler berbasis ATMega328. *Arduino Uno* memiliki 14 pin *input* dan *output* digital dengan sebanyak enam pin *input* tersebut dapat digunakan sebagai *output* PWM (*Pulse Widht Modulation*) dan 6 pin *input* analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan *board Arduino Uno* ke komputer dengan menggunakan kabel USB dan AC adaptor sebagai suplai atau baterai untuk menjalankannya.[10]

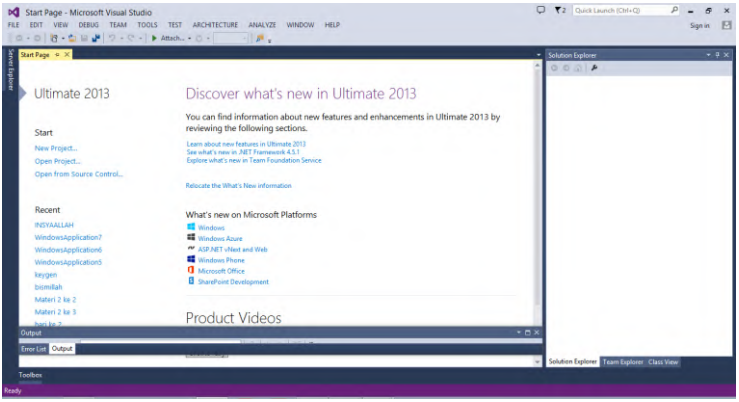


Gambar 2.12. Bentuk fisik *arduino uno*[11]

2.12 Visual Studio 2013

Microsoft Visual Studio.NET adalah sekumpulan pengembangan peralatan untuk membuat aplikasi *Web, ASP.NET, XML Web Services,* aplikasi *desktop*, serta aplikasi *mobile* sekalipun. Di dalam *Visual studio* ini terdapat bahasa pemrograman *.NET* yaitu *Visual basic*, *Visual C++*, *Visual C#(CSharp)*, dan *Visual J#(JSharp).* Didalam tugas akhir ini menggunakan *Visual Basic.NET* sebagai baha pemrogramannya. Diman *Visual Basic.NET* ialah bahasa pemrograman yang dapat digunakan sebagai pembangun aplikasi-aplikasi *.NET* di *Microsoft.NET.* Di dalam *Visual Basic.NET* ini dapat membuat aplikasi baik aplikasi *desktop* maupun aplikasi *web*. Di dalam tugas akhir ini juga menggunakan *Access database angine* sebagai penghubung atau koneksi antara *Visual Basic*. Microsoft Excel sebagai penyimpan database yang ada.[12]

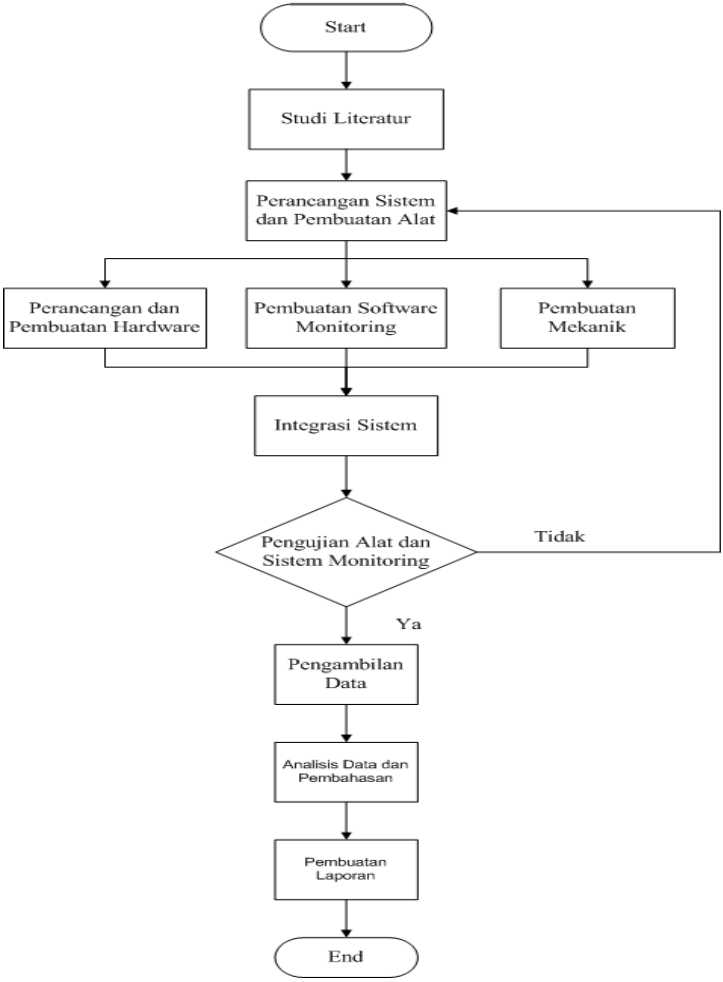
Berikut merupakan tampilan dari halaman utama *Microsoft Visual Studio 2013* :



Gambar 2.13. Tampilan Microsoft Visual Studio 2013[12]

BAB III
PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

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



Gambar 3.1. Skema Diagram Alir Tugas Akhir

Dengan adanya skema diagram alir tugas akhir penelitian mengenai " Rancang Bangun Sistem Monitoring Laju Aliran pada *Elbow Tabs* 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 skema diagram alir tugas akhir ini dimulai dengan adanya studi literatur sebagai upaya pemahaman terhadap materi yang menunjang tugas akhir mengenai " Rancang Bangun Sistem Monitoring Laju Aliran Pada *Elbow Tabs* 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 rancang bangun laju aliran dan pembuatan sistem monitoring dengan menggunakan komunikasi *Visual Studio 2013*.

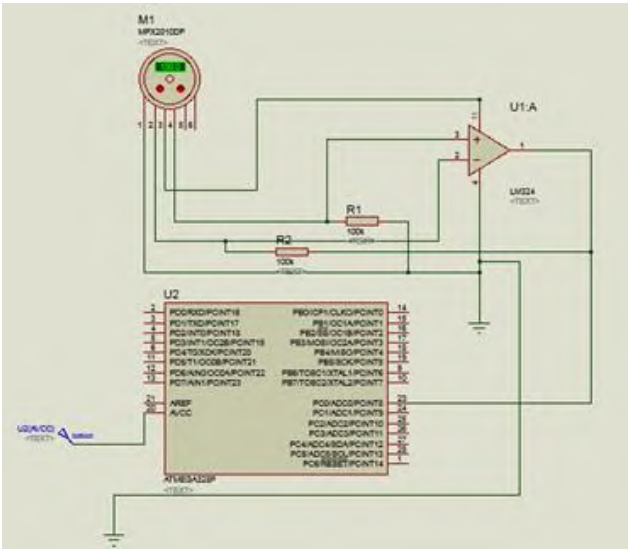
3.2 Perancangan Sistem dan Pembuatan Alat

Setelah melakukan studi literatur, selanjutnya adalah melakukan perancangan sistem dan pembuatan rancang bangun laju aliran 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 rancang bangun laju aliran 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 *amplifier* dan mengintegrasikannya dengan sensor MPX2010DP dan menghubungkannya dengan arduino uno, dimana *amplifier* berfungsi sebagai penguat agar tekanan yang didapat dari sensor dapat terbaca dengan baik oleh arduino yang berfungsi sebagai kontrolernya. Berikut merupakan

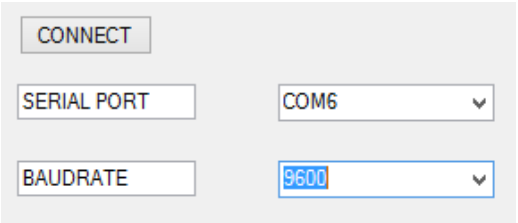
konfigurasi dari rangkaian *amplifier* dengan sensor tekanan MPX2010DP dan juga Arduino uno.



Gambar 3.2. Konfigurasi dari *Amplifier* dengan Sensor tekanan MPX2010DP dan Arduino Uno.

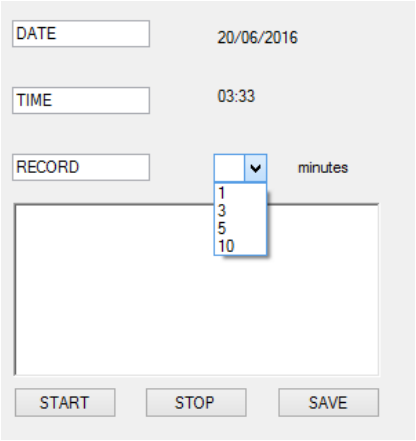
3.2.2 Pembuatan S*oftware* Monitoring

Pada pembuatan *software* untuk monitoring dimulai dari pemprograman 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.



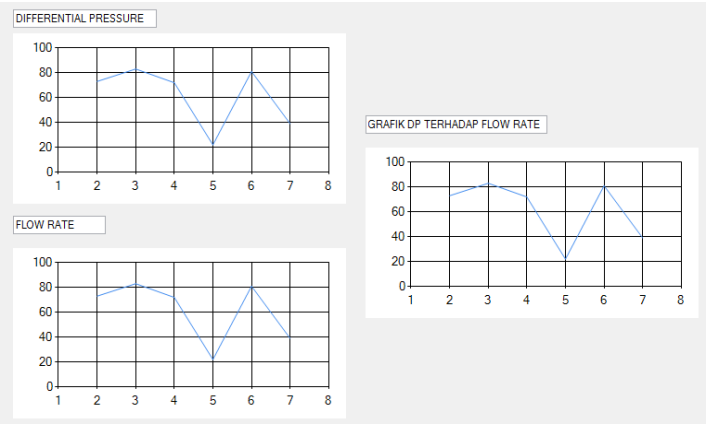
Gambar 3.3. Desain *Input* Serial COM

Pada desain selanjutnya terdapat beberapa *input* diantaranya yaitu tanggal, waktu, pilihan data *record* untuk menyimpan data pengukuran dengan pilihan waktu yang tersedia. Berikut desain yang akan diatampilkan.



Gambar 3.4. Desain Untuk 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. Selain grafik untuk menampilkan hasil bacaan perbedaan tekanan dan *flowrate*-nya, akan ada grafik kalibrasi dan grafik perbedaan tekanan terhadap flowrate yang ada. Garfik-garifk tersebut akan menunjukkan bacaan dari data-data yang diperoleh dari pengukuran monitoring, grafik-grafik tersebut akan mengalami peningkatan maupun penurunan tergantung data yang dibaca oleh sensor dengan menggunakan arduino sebagai mikrokontrollernya dan *visual studio 2013* sebagai penampil *display* monitoring dari rancang bangun laju aliran yang telah dibuat dengan sistem integrasi yang menghubungkan *device* dengan *interface* yang ada.



Gambar 3.5. Desain *Output* dari Respon Grafik

3.2.3 Pembuatan Mekanik

Pembuatan mekanik meliputi pembuatan sistem pada rancang bangun laju aliran dimana terdapat beberapa alat ukur yaitu *venturimeter*, *elbow tabs*, *orifice*, *pitot tube*, serta rotameter yang saling terintegrasi.

Gambar 3.6. Desain rancang bangun Tampak Depan

Gambar 3.7. Desain rancang bangun Tampak Belakang

Dari desain rancang bangun diatas dapat diketahui spesifikasi dari masing-masing alat, berikut adalah tabel spesifikasinya :

Tabel 3.1 Tabel Spesifikasi Rancang Bangun

Kode	Keterangan	Spesifikasi
A	Pompa	Dengan kapasitas 42 liter / menit
B	Tangki air	Dengan spesifikasi 60 liter air
C	*Valve* 1	Diameter ¾ inch
D	*Valve* 2	Diameter 1 inch

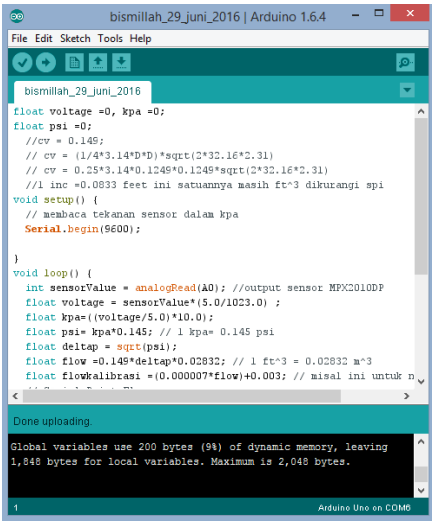
D	*Pitot Tube*	Diameter 16 mm dengan panjang pipa horizontal 30 cm dan vertical 20 cm
E	*Venturimeter*	Diameter luas penampang besar 3.5 mm dan penampang kecil 17.5 mm
F	Rotameter	Dengan debit 6GPM
G	*Elbow tabs*	Long elbow dengan diameter 1 ½ inch
H	*Orifice*	Dengan 1.27 cm dengan sudut 45^0

Elbow Tabs yang terpasang merupakan jenis *Long Elbow* dengan diameter 1 ½ inch. Berikut adalah gambar detail dari *Long Elbow* yang terpasang pada rancang bangun laju aliran :

Gambar 3.8. Detail *Elbow Tabs*

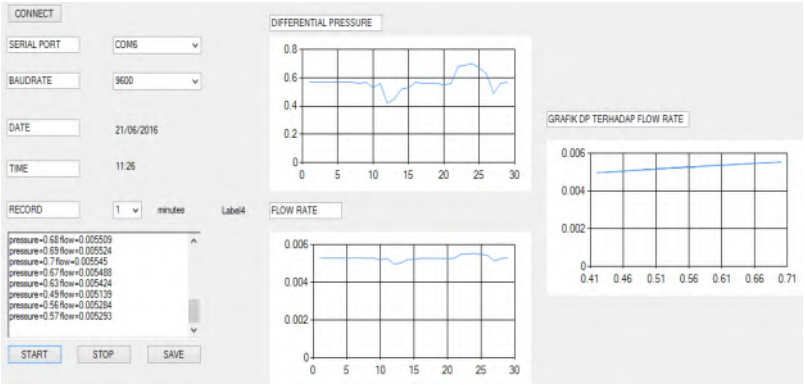
3.3 Integrasi

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



Gambar 3.9. Tampilan pada Arduino

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



Gambar 3.10. *Interface* pengukuran dalam *Visual Studio 2013*

3.4 Pengujian Alat dan Sistem Monitoring

Sistem monitoring laju aliran terlebih dulu dirangkai dengan rangkaian *amplifier* dan sensor. Selanjutnya dilakukan percobaan sederhana. Pada sistem pengukuran aliran diuji coba dengan cara menyalakan pompa kemudian air akan mengalir secara *squensial*. Pada *elbow tabs* air mengalir melalui belokan pada *elbow tabs* tersebut, pada rancang bangun ini *elbow tabs* yang digunakan adalah *elbow tabs* jenis *long* sehingga air yang mengalir akan memiliki perbedaan tekanan karana terdapat pengaruh *pressure drop* pada pipa dan gesekan pada pipa yang melewati *elbow tabs* tersebut, sehingga dapat diketahui pula kecepatan aliran dan *flowrate* yang mengalir pada *elbow tabs* tersebut. Untuk rangkaian mekanik dilakukan uji coba dengan mengalirkan air ke pipa yang telah terpasang dengan beberapa alat ukur aliran yaitu *pitot tube*, *venturimeter*, 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 rancang bangun dan sistem monitoring laju aliran dapat bekerja dengan baik, maka selanjutnya dilakukan pengambilan data pada *elbow tabs*.

3.5 Pengambilan Data

Pada tahap pengambilan data untuk karateristik 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*, *hysteresis*, 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 :

$$\text{Sensitivitas} = \frac{\Delta O}{\Delta I} \tag{3.1}$$

- Nilai *linieritas* dengan rumus linieritas :

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

$$O_{ideal} = KI + a \tag{3.3}$$

Dimana :

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

a = Koofisien garis lurus ideal

= $O_{min} - KI_{min}$

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

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

$$\%\ \text{Maksimum histerisis} = \frac{H}{O_{max} - O_{min}}\ x\ 100\% \tag{3.5}$$

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

$$A = 1 - \left| Rata - Rata \frac{(\text{pembstd} - \text{pembalat})}{\text{pembacaan std}} \right| \quad (3.6)$$

3.6 Analisa Data dan Pembahasan

Setelah pembuatan rancangan telah selesai dengan hasil yang sesuai dengan yang diinginkan, 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 DAN PEMBAHASAN

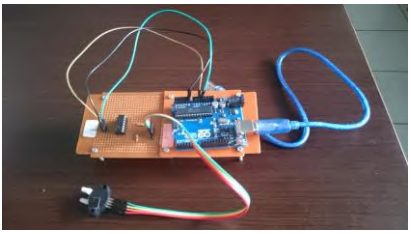
4.1 Analisa Data

4.1.1. Hasil Rancang Bangun

Pada rancang bangun sistem monitoring laju aliran dengan metode *elbow tabs*, berikut Gambar 4.1. merupakan diagram blok dari sistem monitoring laju aliran pada *elbow tabs* dengan menggunakan sensor MPX2010DP berbasis arduino.

Gambar 4.1. Diagram blok sistem pengukuran laju aliran pada *elbow tabs*

Berdasarkan diagram blok pada Gambar 4.1, tekanan yang masuk akan terukur oleh sensor MPX2010DP dimana sensor mengeluarkan *output* tegangan analog, sehingga diperlukan nilai konversi dari nilai tegangan (*V*) menjadi nilai *pressure* (kPa) dengan menggunakan mikrokontroller arduino. Karena nilai yang keluar dari sensor kecil, maka sebelum masuk ke mikrokontroller akan dikuatkan terlebih dahulu oleh amplifier LM324. Setelah mikrokontroller sudah membaca nilai sesuai yang diinginkan, maka nilai pengukuran dapat ditampilkan melalui *Visual Studio* 2013 yang berfungsi sebagai *interface*-nya. Berikut Gambar 4.2. merupakan hasil perancagan sistem monitoring laju aliran dengan metode *elbow tabs* secara *real time* berbasis Arduino dan tampilan *Microsoft Visual Studio 2013* :



Gambar 4.2. *Hardware* Sistem Monitoring Laju Aliran

Gambar 4.3. Desain Tampak Depan Rancang Bangun Laju Aliran

Gambar 4.4. Desain Tampak Belakang Rancang Bangun Laju Aliran

Rancang bangun laju aliran yang dibuat merupakan suatu sistem yang terdiri dari empat metode laju aliran yaitu metode *pitot tube*, metode *venturimeter*, metode *elbow tabs*, dan metode *orifice*, dimana keempat metode tersebut berintegritas dengan arduino, sebagai mikrokontroller dengan menggunakan komunikasi *Visual Studio 2013*. Pada tampilan *visual studio* yang ada ditampilkan setiap pembacaan data dan tampilan grafik yang mewakili bacaan *differential pressure* dan *flowrate* dari sensor MPX2010DP yang ada. Selain grafik tersebut, terdapat grafik yang menampilkan bacaan *differential pressure* terhadap *flowrate* yang ada. Bacaan *differential pressure* yang ada menunjukkan *delta pressure* yang ada pada *Elbow Tabs*. Pada pengukuran laju aliran dengan menggunakan metode *elbow tabs* besar dan kecilnya *flowrate* yang terbaca akan menyesuaikan dengan bacaan *differential pressure* yang ada, dimana pada *differential pressure* akan menyesuaikan dengan sudut belokan pada *elbow tabs*.

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. Sebelum mencari data pengujian dari *input* dan *output* alat, dilakukan perhitungan *Cv* pada *Elbow Tabs* dengan data-data pengukuran sebagai berikut :

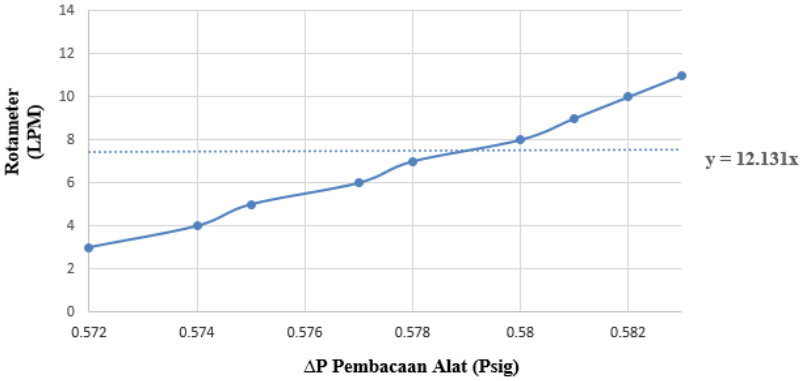
Tabel 4.1. Data Perhitungan *Cv* pada *Elbow Tabs*

No	Range Ukur (Rotameter) LPM	ΔP Pembacaan ALat (Psig)
1	3	0,572
2	4	0,574
3	5	0,575

Tabel 4.1. Lanjutan

No	Range Ukur (Rotameter) LPM	ΔP Pembacaan ALat (Psig)
4	6	0,577
5	7	0,578
6	8	0,580
7	9	0,581
8	10	0,582
9	11	0,583
10	12	0,584

Berdasarkan data perhitunga pada Tabel 4.1., dari hasil pengukuran ΔP menghasilkan grafik perhitungan *Cv* sebagai berikut :



Gambar 4.5. Grafik Perhitungan Nilai *Cv* Pada *Elbow Tabs*

Nilai *Cv* didapat dari hasil pengukuran pada pada Tabel 4.1, dimana hasil tersebut diolah ke 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 *elbow tabs*. Sehingga dari grafik yang dihasilkan pada Gambar 4.5. menunjukkan bahwa nilai *Cv* dari alat ukur *elbow tabs* adalah *a*= *Cv*= 12,131.

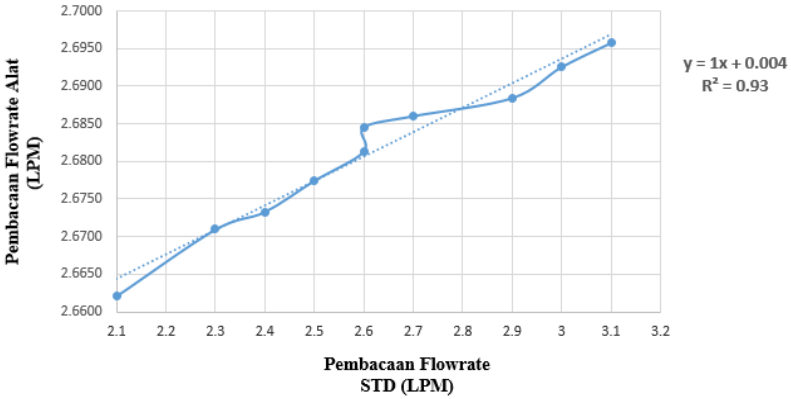
Untuk mencari nilai standar dari *flowrate*, digunakan alat ukur *flowmeter*. Berikut Tabel 4.2 merupakan data nilai standar dari pengukuran *flowmeter* yang dapat dijadikan acuan untuk pengukuran *flowrate* pada *elbow tabs*.

Tabel 4.2. Data Pengujian *Flowrate* Alat

No	Range Ukur (Rotameter) LPM	Pembacaan Flowmeter (m3/menit)		Pembacaan Standar (Flowmeter = f1-f2) m3/menit	Pembacaan STD Flowmeter (LPM)	Pembacaan Flowrate Alat (LPM)
		f1	f2			
1	3	1,3522	1,3501	0,0021	2,1	2,6621
2	4	1,3532	1,3509	0,0023	2,3	2,6710
3	5	1,3541	1,3517	0,0024	2,4	2,6733
4	6	1,3553	1,3528	0,0025	2,5	2,6774
5	7	1,3569	1,3543	0,0026	2,6	2,6813
6	8	1,3597	1,3571	0,0026	2,6	2,6845
7	9	1,3609	1,3582	0,0027	2,7	2,6861
8	10	1,3631	1,3602	0,0029	2,9	2,6884
9	11	1,3622	1,3592	0,003	3	2,6926
10	12	1,3633	1,3602	0,0031	3,1	2,6958

Tabel 4.2 menunjukkan nilai standar *flowrate* dari *flowmeter* yang dijadikan acuan untuk pengukuran *flowrate*. 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. Sehingga untuk mengetahui nilai *flowrate*-nya maka dapat dikurangkan antara f1 dan f2. Dari hasil pengukuran *flowmeter* tersebut, setara dengan standar *flowrate* yang terbaca dengan menggunakan sensor. Sehingga hasil *flowrate* yang terbaca tersebut yang dijadikan standar saat pengambilan data untuk pengukuran aliran *elbow tabs*. Dari data pengujian tersebut didapatkan grafik persamaan pengujian alat sebagai berikut :



Gambar 4.6. Grafik Pengujian *Flowrate* Alat

Dari Gambar 4.6. menunjukkan bahwa persamaan pengujian dari alat yang dibandingkan dengan alat ukur yang lebih standar, dimana persamaan yang muncul akan dijadikan acuan konversi keluaran dari sensor menjadi besaran yang telah sesuai dengan besaran fisis yang terukur. Persamaan grafik pengujian tegangan yaitu *y = 1x + 0,004*. Persamaan tersebut akan dimasukkan ke dalam perintah program mikrokontroller *Arduino Uno*, hal ini bertujuan sebagai nilai acuan konversi keluaran sensor yang sesuai dengan besaran fisis yang diukur.

4.1.3. Data Spesifikasi Alat

Data spesifikasi alat merupakan data data yang digunakan untuk mengetahui nilai nilai karakteristik suatu alat yaitu meliputi

karakteristik statik dan juga karakteristik dinamik dari suatu alat. Sehingga dari nilai-nilai karakteristik yang telah ada dapat diketahui keadaan fisis dari suatu alat ukur. Berdasarkan data yang telah didapatkan dari pengujian spesifikasi alat melalui data karakteristik statik dan juga karakteristik dinamik menghasilkan data sebagai berikut :

Tabel 4.3. Pengambilan Data Naik dan Turun *Flowrate* Alat

Range Ukur (Rotameter) LPM	STD LPM	Pembacaan Alat		Beda Hysteri sis	(STD-Alat)/STD LPM	Non-Linieritas
		Naik LPM	Turun LPM			
3	2,6358	2,6522	2,6719	0,0197	0,00623	0,0000
4	2,6388	2,6684	2,6735	0,0050	0,01123	0,0106
5	2,6411	2,6717	2,6749	0,0032	0,01159	0,0096
6	2,6457	2,6749	2,6800	0,0051	0,01104	0,0042
7	2,6480	2,6813	2,6813	0,0000	0,01259	0,0063
8	2,6525	2,6845	2,6846	0,0000	0,01206	0,0009
9	2,6548	2,6846	2,6876	0,0030	0,01120	-0,0033
10	2,6571	2,6878	2,6891	0,0014	0,01153	-0,0044
11	2,6584	2,6942	2,6910	-0,0032	0,01346	-0,0004
12	2,6599	2,6974	2,6942	-0,0032	0,01410	0,0000

Berikut ini hasil perhitungan nilai karakterisitik statik *flowrate* berdasarkan data pada table 4.3. :

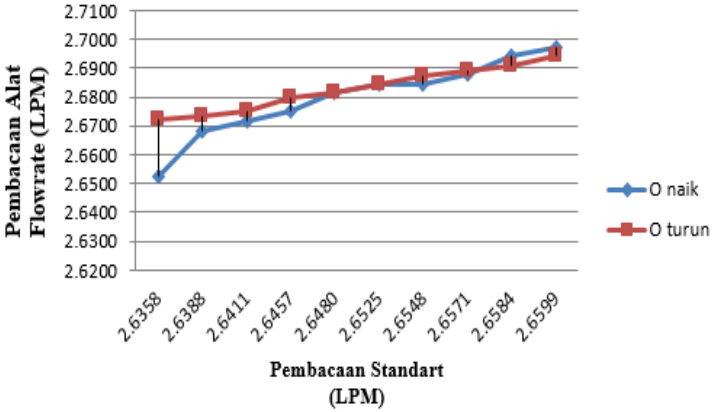
- sensitivitas $\frac{\Delta O}{\Delta I} = \frac{2,6974 - 2,6522}{2,6599 - 2,6358} = 1,875$ LPM
- Histerisis

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

$$\%maks.histerisis = \frac{\hat{H}}{O_{\max} - O_{\min}} x100\%$$

$$\%maks.histerisis = \frac{0{,}0197}{2{,}6974 - 2{,}6522} x100\% = 43{,}69\%$$

Berikut Gambar 4.7. merupakan grafik Histerisis dari hasil pengukuran laju aliran naik dan turun dengan menggunakan metode *elbow tabs*.



Gambar 4.7. Grafik Histeresis *Flowrate*

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

$$non-linieritas_{maks} = \frac{N}{O_{\max} - O_{\min}} x100\%$$

dimana diketahui nilai a = -2,2895 LPM dan nilai k = 1,875 dan nilai non-linieritas maksimum sebesar 0,0106 sehingga didapat nilai non linieritas maksimum per unit sebesar :

$$non-linieritas_{maks} = \frac{0{,}0233}{2{,}6974 - 2{,}6522} x100\%$$
$$non-linieritas_{maks} = 0{,}23\%$$

- Keakurasian

  $$A = 1 - \left| \frac{Yn - Yx}{Yn} \right| x100\%$$
  $$A = 1 - (0{,}11503) x100\%$$
  $$A = 99{,}12\%$$

- *Error*

  $$e = 1 - A$$
  $$e = 1 - 0{,}9912$$
  $$e = 0{,}0088\%$$

Sehingga menghasilkan nilai :

Range	:*Flowrate* 2,6358 LPM – 2,6599 LPM
Span	: *Flowrate* 0,0241 LPM
Resolusi	: 0,0001
Sensitivitas (K)	: 1,875 LPM
Non-Linieritas	: 0,23%
Histeresis	: 43,69%
Akurasi	: 99,12%
Kesalahan (e*rror)*	: 0,0088%

4.1.4. Data Kalibrasi Alat Ukur *Flowrate*

Data kalibrasi merupakan data yang didapat dari membandingkan nilai dari bacaan alat yaitu pada rancang bangun ini bacaan sensor MPX2010DP dengan nilai yang didapat dari data alat yang standar dan pada rancang bangun ini yang dijadikan sebagai bacaan standar adalah nilai dari *flowmeter*. Pada kalibrasi ini dilakukan dua kali pengambilan data yaitu uji alat naik dan juga uji alat turun. Dari pengambilan data kalibrasi akan

dicari nilai dari ketidakpastian alat uji dengan ketidakpastian alat standar yang ada. Berikut ini Tabel 4.4. merupakan hasil pengukuran kalibrasi untuk mencari nilai ketidakpastian alat ukur:

Tabel 4.4. Data kalibrasi *Flowrate*

Range Ukur (Rotameter) LPM	STD (LPM)	Rata-Rata Pemb. Alat (LPM)	Koreksi	Yreg	Residu (R)	Square Residual (SR)
3	2,6358	2,6621	-0,0263	-0,0296	0,0033	1,07286E-05
4	2,6388	2,6710	-0,0322	-0,0301	-0,0021	4,20673E-06
5	2,6411	2,6733	-0,0322	-0,0305	-0,0017	2,8002E-06
6	2,6457	2,6774	-0.0318	-0,0314	-0,0004	1,44524E-07
7	2,6480	2,6813	-0.0334	-0,0318	-0,0015	2,37034E-06
8	2,6525	2,6845	-0.0320	-0,0327	0,0007	4,28394E-07
9	2,6548	2,6861	-0.0312	-0,0331	0,0019	3,45241E-06
10	2,6571	2,6884	-0.0313	-0,0335	0,0022	4,70579E-06
11	2,6584	2,6926	-0.0342	-0,0337	-0,0004	1,90817E-07
12	2,6599	2,6958	-0.0359	-0,0340	-0,0019	3,52063E-06
Jumlah	26,4920	26,8124	-0,3204	**SSR -->**		3,a-05
Rata-Rata	2,6492	2,6812	-0,0320			

Dari data yang diperoleh, berdasarkan Tabel 4.4. maka dapat ditentukan nilai ketidakpastian alat ukur, berikut merupakan perhitungan dari nilai-nilai ketidakpastian yang terukur :

- Nilai ketidakpastian Tipe A

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

dimana σ = standar deviasi

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

$\sigma = 0{,}00248$, sehingga didapat nilai U_{A1} sebagai berikut :

$$UA1 = \frac{0{,}00248}{\sqrt{10}}$$

$$UA1 = 0{,}000828$$

Sedangkan nilai U_{A2} didapat sebagai berikut :

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

Dimana :

$$SSR = \sum SR$$

$$SR = R^2$$

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

$$Yreg = a + (bxti)$$

$$a = \overline{Yi} - (bxti)$$

$$b = \frac{n\sum ti.Yi - \sum Yi \sum ti}{n\sum ti^2 - (\sum ti)^2}$$

ti = Pembacaan standar
Yi = nilai koreksi
n = jumlah data

$$b = \frac{10(-0{,}84893) - (-8{,}488)}{10(70{,}184) - 701{,}8287}$$

$$b = -0{,}1850022$$

selanjutnya menentukan nilai *a* sebagai berikut :

$$a = 0{,}0320399 - (-0{,}490108757)$$
$$a = 0{,}458068$$

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

$$Y_{reg} = 0{,}458068 + (-0{,}1850022)ti$$

dari persamaan regresi tersebut didapat nilai *SSR* sebesar = 3,25485E-05, maka didapat nilai U_{A2} sebesar :

$$U_{A2} = \sqrt{\frac{3{,}25485E-05}{10-2}}$$
$$U_{A2} = 0{,}002017067$$

- 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} = 2,6598790E-02

- Nilai ketidakpastian kombinasi Uc

$$U_c = \sqrt{{U_{A1}}^2 + {U_{A2}}^2 + {U_{B1}}^2 + {U_{B2}}^2}$$
$$U_c = \sqrt{6{,}85861E-07 + 4{,}06856E-06 + 6{,}25E-10 + 7{,}0749563E-04}$$
$$U_c = 0{,}026688$$

selanjutnya ditentukan nilai *Veff*, dengan persamaan sebagai berikut :

$$Veff = \frac{Uc^4}{\frac{\sum Ui^4}{Vi}}$$

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

V = n -1, sehingga :

V1 = 9; *V2* = 9; *V3* =∞; *V4* = 60 (berdasarkan tabel T Student)

$$Veff = \frac{0{,}02668^4}{\frac{6{,}85861E-07}{9} + \frac{4{,}06856E-06}{9} + \frac{6{,}25E-10}{\infty} + \frac{7{,}0749563E-04}{60}}$$

$$Veff = 60{,}80$$

Hasil dari nilai *Veff* digunakan untuk menentukan nilai faktor cakupan *k* pada tabel T-student. Berdasarkan nilai *Veff* = 60,80 dan dengan tingkat kepercayaan 95 % maka didapat nilai *k* sebesar 1,9996. Dan didapat nilai ketidakpastian sebagai berikut :

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

$$U_{\exp} = 1{,}9996.0{,}026688$$

$$U_{\exp} = 0{,}0533654$$

Dengan hasil perhitungan nilai ketidakpastian diperluas sebesar ±0,0533654. Nilai ini merupakan acuan nilai ketidakpastian pembacaan alat dengan tingkat kepercayaan 95% berdasarkan tabel *T-Student*. Dan dari tingkat kepercayaan 95% tersebut diketahui bahwa nilai yang terhitung Uexp < standar 5% yaitu 0,0533654 < 0.1347885 sehingga alat ukur masih layak untuk digunakan.

4.1.5. Pengukuran Laju Aliran Dengan Menggunakan Metode Elbow Tabs

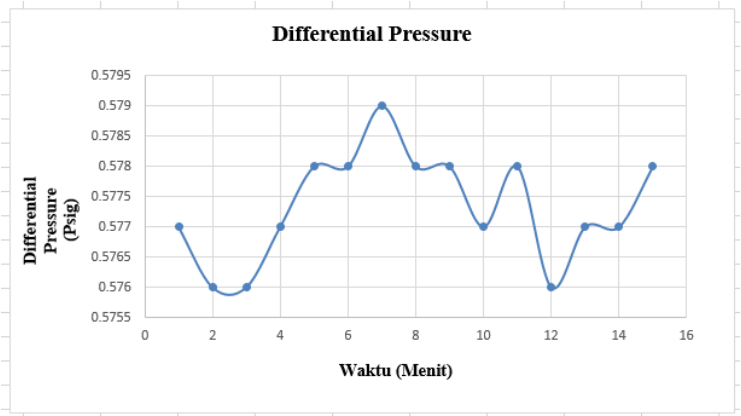
Dari pengukuran yang telah dilakukan, didapatkan hasil pengukuran dengan metode perbedaan tekanan pada Elbow Tabs, dari hasil data tersebut dapat diketahui range ukur dari metode pengukuran Elbow Tabs yaitu seperti pada Tabel 4.5 dibawah ini:

Tabel 4.5. Tabel Range Ukur *Flowrate* Pada *Elbow Tabs*

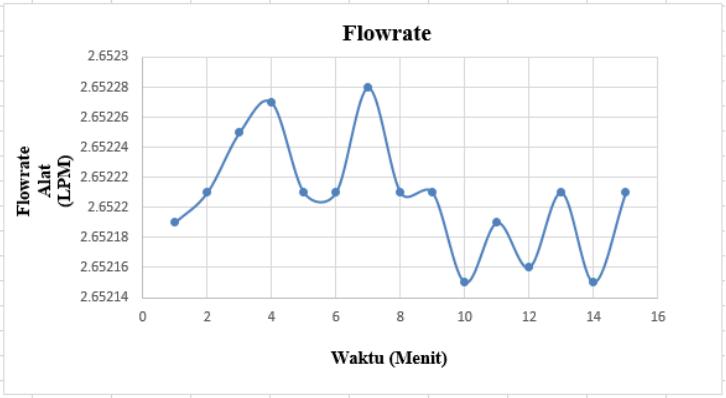
No	Range Ukur (Rotameter) LPM	Pembacaan Flowmeter (m3/menit)		Pembacaan Standar (Flowmeter = F1-F2) m3/menit	Pembacaan STD Flowmeter (LPM)	Pembacaan Flowrate Alat (LPM)
		F1	F2			
1	3	1,3522	1,3501	0,0021	2,1	2,6621
2	4	1,3532	1,3509	0,0023	2,3	2,6710
3	5	1,3541	1,3517	0,0024	2,4	2,6733
4	6	1,3553	1,3528	0,0025	2,5	2,6774
5	7	1,3569	1,3543	0,0026	2,6	2,6813
6	8	1,3597	1,3571	0,0026	2,6	2,6845
7	9	1,3609	1,3582	0,0027	2,7	2,6861
8	10	1,3631	1,3602	0,0029	2,9	2,6884
9	11	1,3622	1,3592	0,003	3	2,6926
10	12	1,3633	1,3602	0,0031	3,1	2,6958

Dari hasil pengukuran yang diambil secara rata-rata tersebut didapatkan grafik perbandingan antara *differential pressure* yang terbaca oleh sensor MPX2010DP dengan *flowrate* yang terbaca. Pada grafik monitoring *visual basic* 2013 akan ditampilkan grafik seperti grafik yang menampilkan *differential*

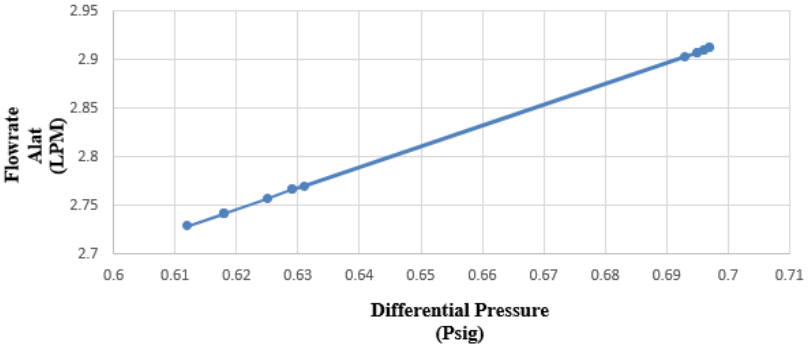
pressure, grafik *flowrate*, dan juga grafik *differential pressure* terhadap *flowrate*, berikut grafik monitoring dari pengukuran laju aliran dengan menggunakan metode *Elbow Tabs* berikut ini :



Gambar 4.8. Grafik *Differential Pressure* Ketika Tekanan Ditambahkan



Gambar 4.9. Grafik Monitoring *Flowrate* Pada Pengukuran *Elbow Tabs*



Gambar 4.10. Grafik *Differential Presssure* Terhadap *Flowrate*

4.1.6. Karakteristik Dinamik Pengukuran *Flowrate* dengan sampling waktu

Berikut ini merupakan data hasil uji flowrate berdasarkan sampling waktu dengan jarak pengukuran yang berbeda – beda. Pengujian sampling ini dilakukan untuk melihat respon data terhadap waktu.

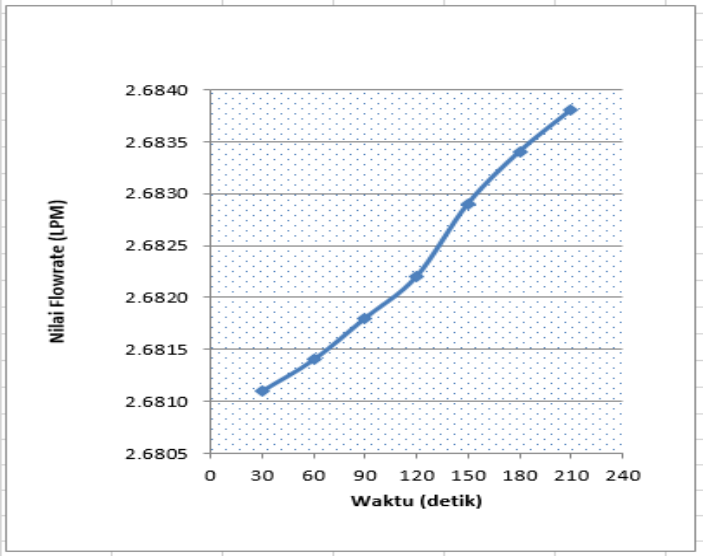
Tabel 4.6. Hasil Uji Sampling Data setiap 30 detik

Range Ukur (Rotameter) LPM	Sampling			Delay (detik)
	30 detik			
	Flowrate (LPM)	Tanggal	Waktu	
7 LPM	2,6811	16/07/2016	15:05:03	30 detik
	2,6814	16/07/2016	15:05:36	33 detik
	2,6818	16/07/2016	15:06:09	33 detik
	2,6822	16/07/2016	15:06:42	33 detik
	2,6829	16/07/2016	15:07:15	33 detik
	2,6834	16/07/2016	15:07:48	33 detik
	2,6838	16/07/2016	15:08:21	-
9 LPM	2,6846	16/07/2016	15:10:02	30 detik
	2,6848	16/07/2016	15:10:35	33 detik

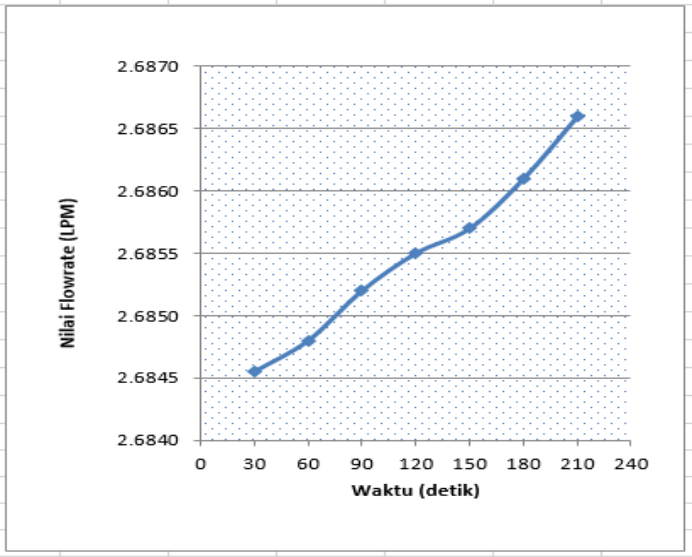
Tabel 4.6. Lanjutan

2	9 LPM	2,6852	16/07/2016	15:11:08	33 detik
		2,6855	16/07/2016	15:11:41	33 detik
		2,6857	16/07/2016	15:12:14	33 detik
		2,6861	16/07/2016	15:12:47	33 detik
		2,6866	16/07/2016	15:13:20	-
3	11 LPM	2,6942	16/07/2016	15:14:01	30 detik
		2,6945	16/07/2016	15:14:34	33 detik
		2,6951	16/07/2016	15:15:07	33 detik
		2,6956	16/07/2016	15:15:40	33 detik
		2,6962	16/07/2016	15:16:13	33 detik
		2,6965	16/07/2016	15:16:46	33 detik
		2,6969	16/07/2016	15:17:19	-

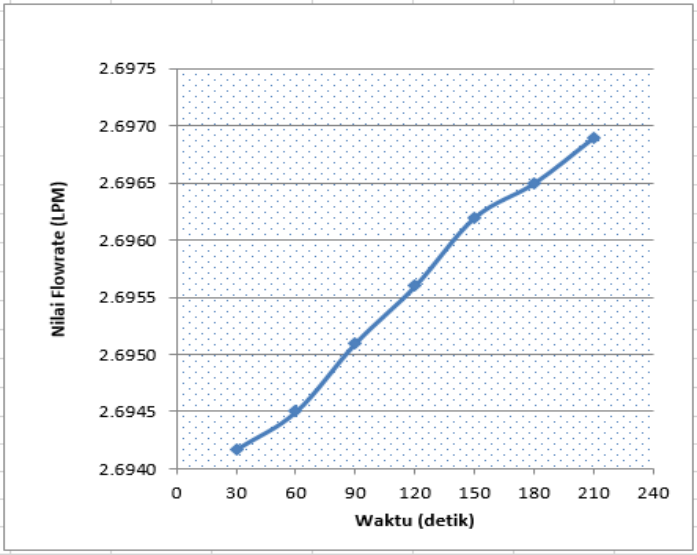
Berikut ini merupakan grafik sampling dari Tabel 4.6. diatas :



Gambar 4.11. Grafik sampling 30 detik pada range ukur 7 LPM



Gambar 4.12. Grafik sampling 30 detik pada range ukur 9 LPM

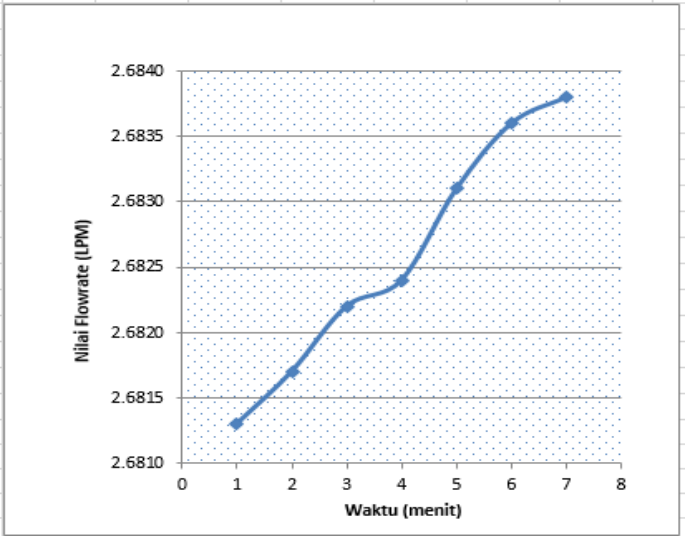


Gambar 4.13. Grafik sampling 30 detik pada range ukur 11 LPM

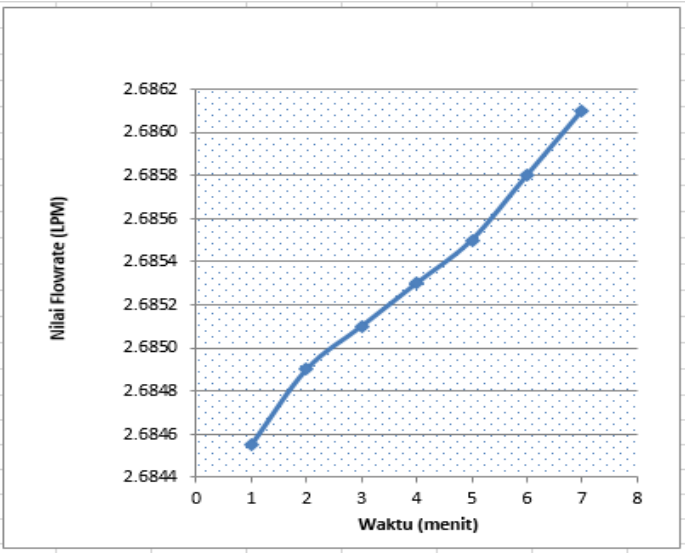
Tabel 4.7. Hasil Uji Sampling Data setiap 1 menit

Range Ukur (Rotameter) LPM	Sampling			Delay (m:d)
	1 menit			
	Flowrate (LPM)	Tanggal	Waktu	
7 LPM	2,6813	16/07/2016	16:05:21	1 m
	2,6817	16/07/2016	16:06:24	1m ,3 d
	2,6822	16/07/2016	16:07:27	1m ,3 d
	2,6824	16/07/2016	16:08:30	1m ,3 d
	2,6831	16/07/2016	16:09:33	1m ,3 d
	2,6836	16/07/2016	16:10:36	1m ,3 d
	2,6838	16/07/2016	16:11:39	-
9 LPM	2,6846	16/07/2016	16:15:11	1 m
	2,6849	16/07/2016	16:16:14	1 m ,3 d
	2,6851	16/07/2016	16:17:17	1 m ,3 d
	2,6853	16/07/2016	16:18:20	1 m ,3 d
	2,6855	16/07/2016	16:19:23	1 m ,3 d
	2,6858	16/07/2016	16:20:26	1 m ,3 d
	2,6861	16/07/2016	16:21:29	-
11 LPM	2,6942	16/07/2016	16:25:12	1 m
	2,6946	16/07/2016	16:26:15	1 m ,3 d
	2,6953	16/07/2016	16:27:18	1 m ,3 d
	2,6957	16/07/2016	16:28:21	1 m ,3 d
	2,6961	16/07/2016	16:29:24	1 m ,3 d
	2,6964	16/07/2016	16:30:27	1 m ,3 d
	2,6968	16/07/2016	16:31:30	-

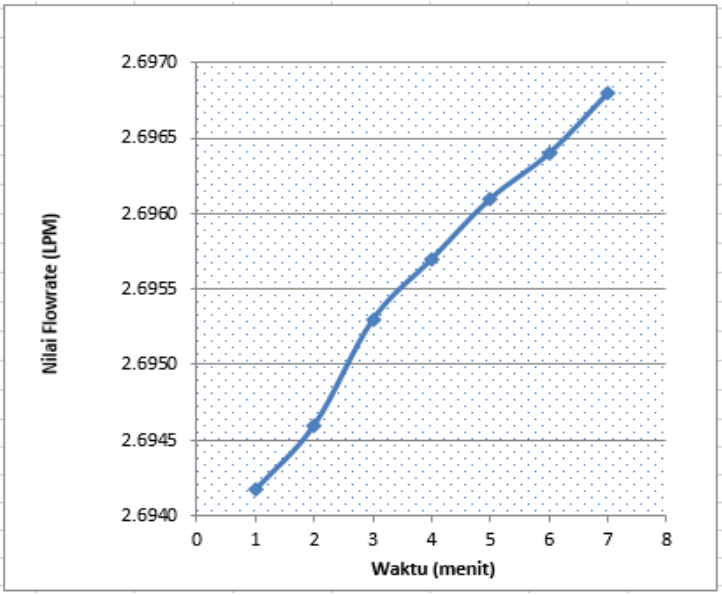
Berikut ini merupakan grafik sampling dari Tabel 4.7. diatas :



Gambar 4.14. Grafik sampling 1 menit pada range ukur 7 LPM



Gambar 4.15. Grafik sampling 1 menit pada range ukur 9 LPM



Gambar 4.16. Grafik sampling 1 menit pada range ukur 11 LPM

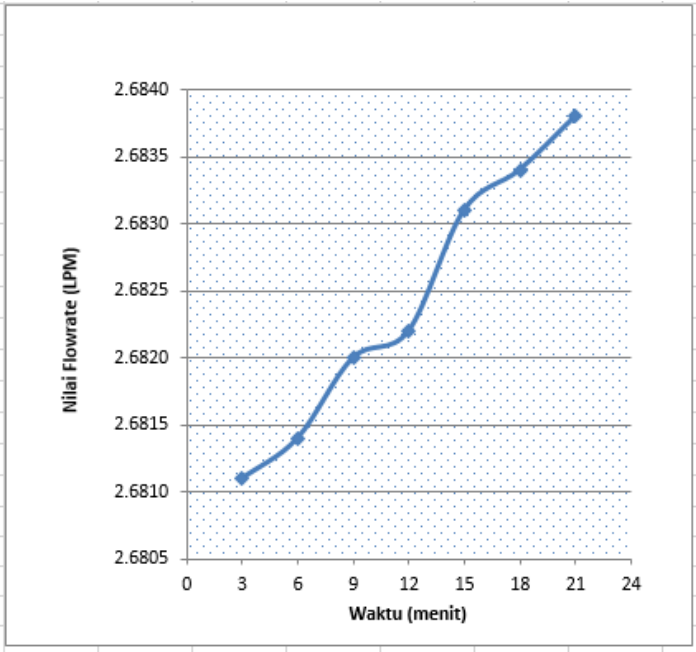
Tabel 4.8. Hasil Uji Sampling Data setiap 3 menit

No	Range Ukur (Rotameter) LPM	Sampling 3 menit			Delay (m:d)
		Flowrate (LPM)	Tanggal	Waktu	
1	7 LPM	2,6811	16/07/2016	16:35:11	3 m
		2,6814	16/07/2016	16:38:14	3m ,3 d
		2,682	16/07/2016	16:41:17	3m ,3 d
		2,6822	16/07/2016	16:44:20	3m ,3 d
		2,6831	16/07/2016	16:47:23	3m ,3 d
		2.6834	16/07/2016	16:50:26	3m ,3 d
		2,6838	16/07/2016	16:53:29	-
2	9 LPM	2,6845	16/07/2016	17:01:05	3 m
		2,6847	16/07/2016	17:04:08	3m ,3 d
		2,6849	16/07/2016	17:07:11	3m ,3 d
		2,6852	16/07/2016	17:10:14	3m ,3 d
		2,6856	16/07/2016	17:13:17	3m ,3 d
		2,6859	16/07/2016	17:16:20	3m ,3 d

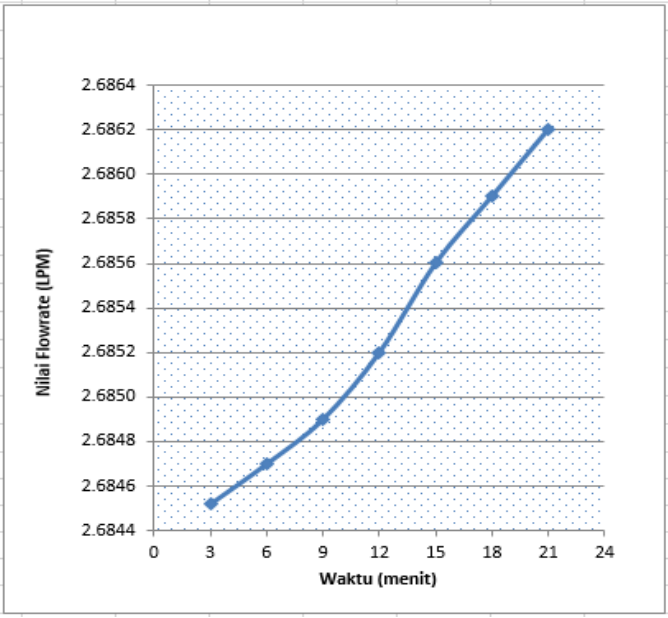
Tabel 4.8. Lanjutan

2	9 LPM	2,6862	16/07/2016	17:19:23	-
3	11 LPM	2,6943	16/07/2016	17:22:12	3 m
		2,6947	16/07/2016	17:25:15	3m ,3 d
		2,6952	16/07/2016	17:28:18	3m ,3 d
		2,6958	16/07/2016	17:31:21	3m ,3 d
		2,6962	16/07/2016	17:34:24	3m ,3 d
		2,6966	16/07/2016	17:37:27	3m ,3 d
		2,6969	16/07/2016	17:40:30	-

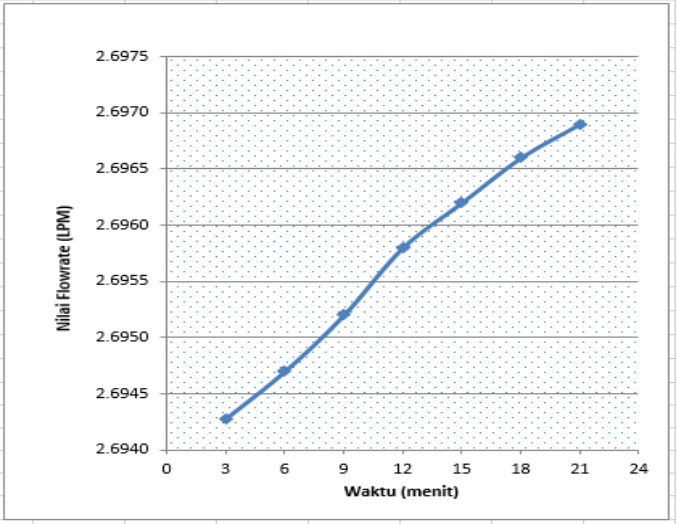
Berikut ini merupakan grafik sampling dari Tabel 4.8. diatas :



Gambar 4.17. Grafik sampling 3 menit pada range ukur 7 LPM



Gambar 4.18. Grafik sampling 3 menit pada range ukur 9 LPM

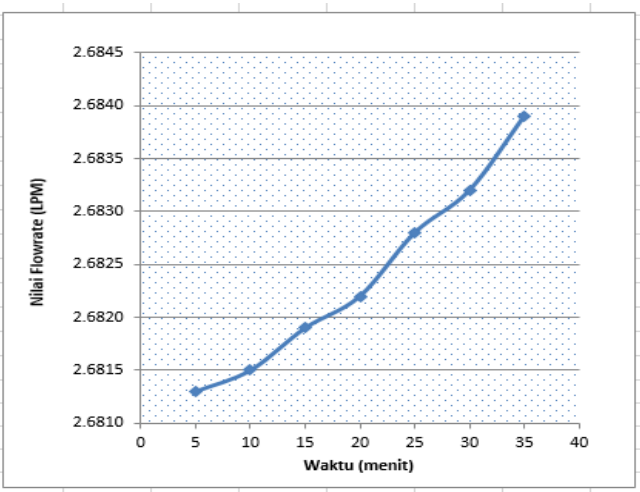


Gambar 4.19. Grafik sampling 3 menit pada range ukur 11 LPM

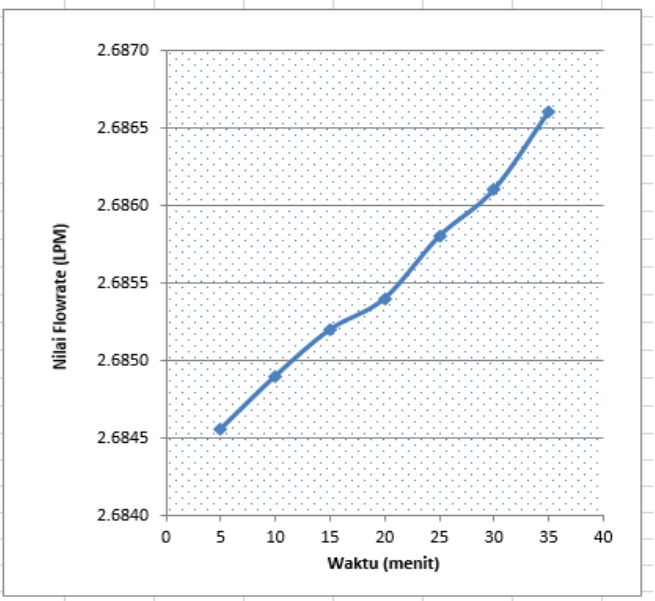
Tabel 4.9. Hasil Uji Sampling Data setiap 5 menit

No	Range Ukur (Rotameter) LPM	Sampling			Delay (m:d)
		5 menit			
		Flowrate (LPM)	Tanggal	Waktu	
1	7 LPM	2,6813	16/07/2016	19:01:05	5 m
		2,6815	16/07/2016	19:06:08	5m ,3 d
		2,6819	16/07/2016	19:11:11	5m ,3 d
		2,6822	16/07/2016	19:16:14	5m ,3 d
		2,6828	16/07/2016	19:21:17	5m ,3 d
		2,6832	16/07/2016	19:26:20	5m ,3 d
		2,6839	16/07/2016	19:31:23	-
2	9 LPM	2,6846	16/07/2016	19:35:01	5 m
		2,6849	16/07/2016	19:40:04	5 m ,3 d
		2,6852	16/07/2016	19:45:07	5 m ,3 d
		2,6854	16/07/2016	19:50:10	5 m ,3 d
		2,6858	16/07/2016	19:55:13	5 m ,3 d
		2,6861	16/07/2016	20:00:16	5 m ,3 d
		2,6866	16/07/2016	20:05:19	-
3	11 LPM	2,6941	16/07/2016	20:06:04	5 m
		2,6945	16/07/2016	20:11:07	5 m ,3 d
		2,6948	16/07/2016	20:16:10	5 m ,3 d
		2,6955	16/07/2016	20:21:13	5 m ,3 d
		2,6959	16/07/2016	20:26:16	5 m ,3 d
		2,6964	16/07/2016	20:31:19	5 m ,3 d
		2,6969	16/07/2016	20:36:22	-

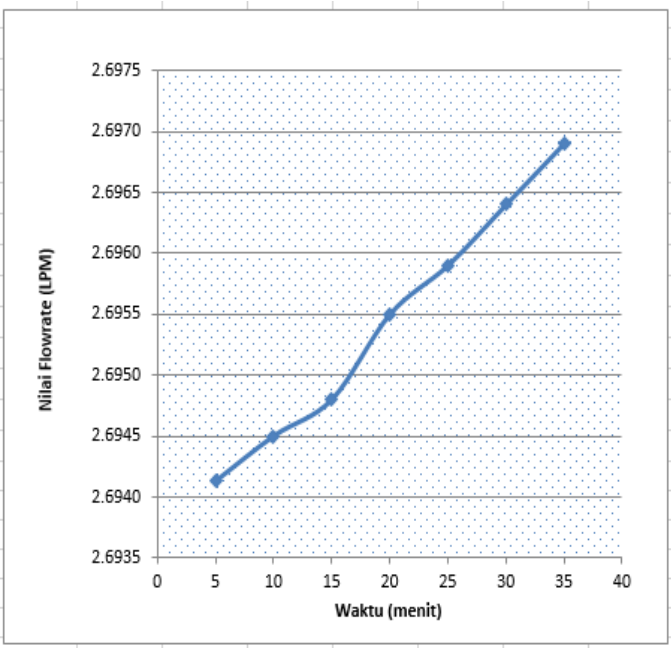
Berikut ini merupakan grafik sampling dari Tabel 4.9. diatas :



Gambar 4.20. Grafik sampling 5 menit pada range ukur 7 LPM



Gambar 4.21. Grafik sampling 5 menit pada range ukur 9 LPM



Gambar 4.22. Grafik sampling 5 menit pada range ukur 11 LPM

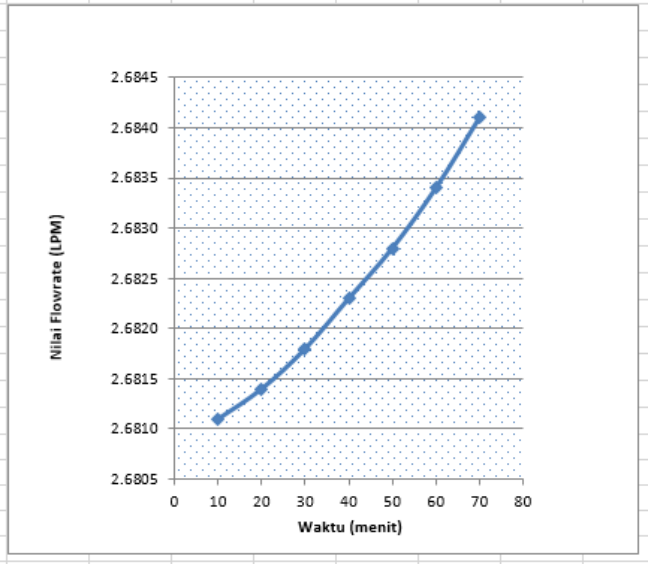
Tabel 4.10. Hasil Uji Sampling Data setiap 10 menit

No	Range Ukur (Rotameter) LPM	Sampling 10 menit			Delay (m:d)
		Flowrate (LPM)	Tanggal	Waktu	
1	7 LPM	2,6811	16/07/2016	20:37:07	10 m
		2,6814	16/07/2016	20:47:10	10m ,3 d
		2,6818	16/07/2016	20:57:13	10m ,3 d
		2,6823	16/07/2016	21:07:16	10m ,3 d
		2,6828	16/07/2016	21:17:19	10m ,3 d
		2,6834	16/07/2016	21:27:22	10m ,3 d
		2,6841	16/07/2016	21:37:25	-
2	9 LPM	2,6845	16/07/2016	21:38:01	10 m
		2,6847	16/07/2016	21:48:04	10 m,3 d

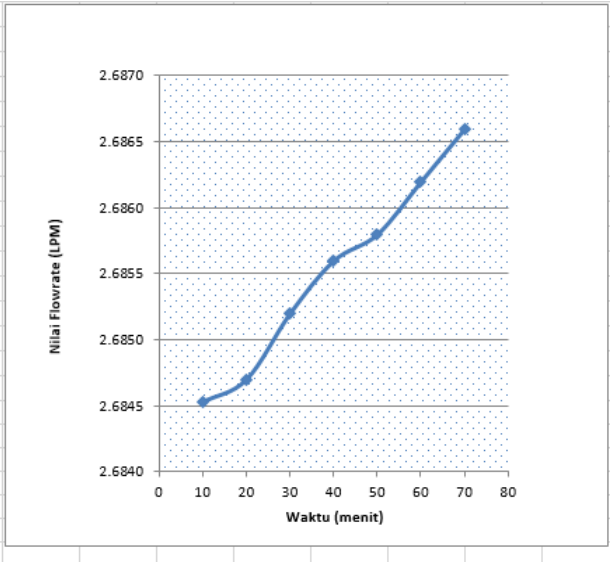
Tabel 4.10. Lanjutan

2	9 LPM	2,6852	16/07/2016	21:58:07	10 m ,3 d
		2,6856	16/07/2016	22:08:10	10 m ,3 d
		2,6858	16/07/2016	22:18:13	10 m ,3 d
		2,6862	16/07/2016	22:28:16	10 m ,3 d
		2,6866	16/07/2016	22:38:19	-
3	11 LPM	2,6942	16/07/2016	22:39:04	10 m
		2,6944	16/07/2016	22:49:07	10 m ,3 d
		2,6947	16/07/2016	22:59:10	10 m ,3 d
		2,6953	16/07/2016	23:09:13	10 m ,3 d
		2,6958	16/07/2016	23:19:16	10 m ,3 d
		2,6964	16/07/2016	23:29:19	10 m ,3 d
		2,6967	16/07/2016	23:39:22	-

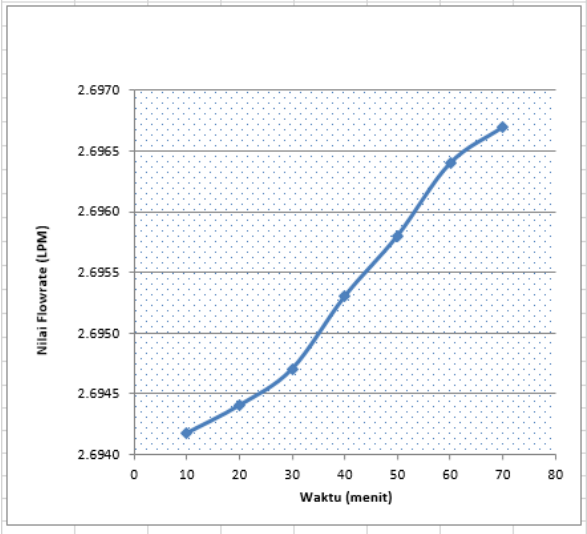
Berikut ini merupakan grafik sampling dari Tabel 4.10. diatas :



Gambar 4.23. Grafik sampling 10 menit pada range ukur 7 LPM



Gambar 4.24 .Grafik sampling 10 menit pada range ukur 9 LPM



Gambar 4.25. Grafik sampling 10 menit pada range ukur 11 LPM

Data-data sampling seperti pada Tabel 4.6. sampai dengan Tabel 4.10. diatas dapat dilihat bahwa data yang dihasilkan pada setiap sampling dan range ukur *flowrate* sesuai dengan data waktu dan *flowrate* yang ditetapkan.

4.1.7. Perbandingan Nilai Q Yang Terbaca Dengan Teori

Untuk menghitung nilai *flowrate* (Q) pada rancang bangun pengukuran laju aliran dengan metode *elbow tabs* dengan perhitungan rumus dengan mengacu pada Hukum Bernouli yaitu

$$Q=(\sqrt{cv}.\Delta P) \quad (4.1)$$

Berikut adalah Tabel 4.11. yang merupakan data-data perbandingan nilai Q teori dengan nilai Q yang terbaca oleh sensor MPX2010DP pada rancang bangun laju aliran dengan metode *elbow tabs*.

Tabel 4.11. Data Perbandingan Pengukuran Sensor Dengan Perhitungan Teori

No	Rotameter (LPM)	Nilai *Cv*	*ΔP* (Psig)	Q Teori (LPM)	Pembacaan Sensor (LPM)
				Q=(√cv.ΔP)	
1	3	12,131	0,577	2,6457	2,6459
2	4	12,131	0,578	2,6480	2,6479
3	5	12,131	0,585	2,6640	2,6641
4	6	12,131	0,587	2,6685	2,6687
5	7	12,131	0,588	2,6708	2,6705
6	8	12,131	0,589	2,6730	2,6728
7	9	12,131	0,591	2,6776	2,6776
8	10	12,131	0,611	2,7225	2,7227
9	11	12,131	0,658	2,8253	2,8254
10	12	12,131	0,686	2,8848	2,8848

Dari hasil data perbandingan pengukuran sensor dengan perhitungan teori yang diperoleh pada Tabel 4.11 dapat diketahui bahwa nilai yang terbaca pada sensor memiliki sedikit perbedaan dengan nilai pengukuran berdasarkan teori, hal tersebut dikarenakan setiap sensor memiliki nilai *error,* dan factor lingkungan yang juga dapat mempengaruhi nilai pengukuran.

4.2 Pembahasan

Sistem pengukuran dan monitoring laju aliran dengan menggunakan metode *elbow tabs* ini adalah mengukur *flowrate* dan memonitoring *flowrate* dengan menggunakan metode *differential pressure* pada *elbow tabs*. *Flowrate* yang dimonitoring adalah *flowrate* yang ada pada rancang bangun *elbow tabs* dengan menggunakan *sensing element* MPX2010DP, arduino uno sebagai mikrokontrollernya dan hasil dari pengukuran *flowrate* ini akan dimonitoring dengan menggunakan *visual studio 2013*.

Prinsip kerja alat ukur dari *elbow tabs* ini yaitu dapat membaca *flowrate* yang ada dengan menerapkan perbedaan tekanan yang ada. Pada rancang bangun digunakan *elbow tabs* jenis *long elbow* dengan diameter 1 ½ inch. Pada setiap pengukuran *flowrate* yang ada pada belokan *elbow* akan mempengaruhi besarnya tekanan yang ada sehingga akan mempengaruhi *flowrate* yang melewati elbow tabs tersebut. Pada pengukuran *elbow tabs* ini digunakan sensor MPX2010DP dengan mengubah nilai tegangan sensor menjadi nilai perbedaan tekanan yang dikonversi pada psig. Keluaran dari sensor Mpx2010DP ini berdasarkan data *sheet* yang ada diketahui sebesar 24 mv, diketahui bahwa inputan arduino uno membutuhkan supply 5 volt sehingga pada sensor diberi rangkaian penguat atau *amplifier* yang diintegrasikan dengan arduino uno sebagai mikrokontroller dan ditampilkan pada *visual studio 2013* dengan penyimpanan data menggunakan *Microsoft excel 2013*.

Pada tabel 4.3. didapat informasi bahwa alat ukur memiliki karakteristik statis *hysterisis* sebesar 0,4369%, *non-linieritas* = 0,023%, dan *error* = 0,0088. Dari tabel 4.4. tabel kalibrasi alat ukur *flowrate* diketahui bahwa ketidakpastian diperluas (*Uexpand*) = 0,0533654. Nilai ketidakpastian tersebut menunjukkan bahwa ketika kita mendapatkan nilai pengukuran *flowrate* sebesar 2,2661 LPM maka dapat dituliskan (34,4 ± 0,0533654) LPM. Ketidakpastian diperluas tersebut didapatkan dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95% yang terdapat di dalam tabel *T-Student*. Dari hasil kalibrasi yang ada dapat disimpulkan yaitu nilai *Uexpand* memiliki nilai yang lebih kecil dari bacaan standar 5 % sehingga alat ukur *flowrate* ini masih layak untuk diguankan. Sedangkan pada pengukuran dinamik didapatkan data sampling yaitu selama 30 detik, 1 menit, 3 menit, 5 menit, dan juga 10 menit. Dari data-data sampling tersebut didapatkan grafik sehingga dari grafik sampling tersebut dapat diketahui nilai linear dari masing masing grafik *flowrate* terhadap fungsi waktu yang ada.

Pada pengukuran *elbow tabs* ini terdapat pengaruh belokan yang terjadi sehingga menyebabkan gesekan pipa saat aliran melewati *elbow tabs* ini sehingga hasil pengukuran dengan menggunakan metode *elbow* ini memiliki keakurasian lebih baik dari 5%. Oleh sebab itu hasil *range* ukur *elbow tabs* pada rancang bangun yang ada, perbedaan tekanan yang ada dapat dibaca oleh sensor dengan perbedaan tekanan yang kecil. Dan dari pengukuran laju aliran dengan mengguanakan *elbow tabs* ini *range* ukurnya yaitu antara 2,6358 – 2,6599 LPM. Dari *range* ini *Elbow tabs* dapat mengukur laju aliran dengan tingkat keakurasian sebesar 99,12 %.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

LAMPIRAN A (DATA PENGUJIAN ALAT DAN KALIBRASI)

Tabel A.1. Data Perhitungan Nilai *Cv Elbow Tabs*

No	Range Ukur (Rotameter) LPM	ΔP Pembacaan ALat (Psig)	*Cv*	Pembacaan Alat (Flowrate) LPM
1	3	0,572	12,131	2,6342
2	4	0,574	12,131	2,6388
3	5	0,575	12,131	2,6411
4	6	0,577	12,131	2,6457
5	7	0,578	12,131	2,6480
6	8	0,580	12,131	2,6525
7	9	0,581	12,131	2,6548
8	10	0,582	12,131	2,6571
9	11	0,583	12,131	2,6594
10	12	0,584	12,131	2,6617

Tabel A.2. Data Pengujian *Flowrate* Alat

Range Ukur LPM LPM	ΔP (Psig) Naik					ΔP (Psig) Turun					Rata - Rata ΔP (Psig)	Pem.Alat LPM
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
3	0,571	0,571	0,571	0,571	0,571	0,571	0,571	0,57	0,57	0,57	0,572	3,6820
4	0,572	0,572	0,572	0,573	0,573	0,573	0,573	0,574	0,574	0,574	0,574	4,4900
5	0,575	0,575	0,575	0,575	0,575	0,575	0,575	0,575	0,574	0,574	0,575	5,6820
6	0,577	0,577	0,581	0,577	0,577	0,578	0,578	0,577	0,578	0,578	0,577	6,1039
7	0,578	0,578	0,578	0,578	0,578	0,578	0,578	0,577	0,577	0,577	0,578	6,9098
8	0,579	0,579	0,579	0,579	0,579	0,579	0,579	0,58	0,58	0,58	0,580	8,5195
9	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,581	0,581	0,581	0,581	8,9233
10	0,581	0,581	0,581	0,581	0,581	0,581	0,581	0,581	0,581	0,585	0,582	10,1264
11	0,583	0,583	0,583	0,583	0,583	0,583	0,583	0,583	0,583	0,584	0,583	10,4264
12	0,585	0,585	0,585	0,584	0,584	0,584	0,584	0,584	0,584	0,584	0,584	12,3419

Tabel A.3. Data Kalibrasi *Flowrate*

Range ukur Rotameter (LPM)	Pembacaan Standart LPM (t)	Pembacaan Alat (LPM)		Pembacaan Alat LPM	Koreksi (y)
		NAIK	Turun		
3	2,6358	2,6522	2,6719	2,6621	-0,0263
4	2,6388	2,6684	2,6735	2,6710	-0,0322
5	2,6411	2,6717	2,6749	2,6733	-0,0322
6	2,6457	2,6749	2,6800	2,6774	-0,0318
7	2,6480	2,6813	2,6813	2,6813	-0,0334
8	2,6525	2,6845	2,6846	2,6845	-0,0320
9	2,6548	2,6846	2,6876	2,6861	-0,0312
10	2,6571	2,6878	2,6891	2,6884	-0,0313
11	2,6584	2,6942	2,6910	2,6926	-0,0342
12	2,6599	2,6974	2,6942	2,6958	-0,0359
Jumlah	26,4920491				-0,320399396
Rata-Rata	2,64920491				-0,03203994

“Halaman ini memang dikosongkan”

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

B.1. Listing Program Arduino

```
float voltage =0, kpa =0;
float psig =0;
void setup() {
// membaca tekanan sensor dalam kpa
Serial.begin(9600);

}
void loop() {
int sensorValue = analogRead(A0); //output sensor MPX2010DP
float voltage = sensorValue*(5.0/1023.0) ;
float kpa=((voltage/5.0)*10.0);
float psig= kpa*0.145308; // 1 kpa= 0.145 psig
float nilai =12.131*psig;
float flow =sqrt(nilai);
float flowkalibrasi =((1*flow)+0.004);
// Serial Print Flow
Serial.print (psig, 3);
Serial.print ("|");
Serial.print (flowkalibrasi,5);
Serial.println ("");
delay(3000);

}
```

B2. Listing Program *Mocrosoft Visual Studio 2013*

```
Imports System.IO.Ports.SerialPort
Imports System.Data.OleDb
Imports System.Data
Public Class Form2
    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\Vcom\Documents\simpandata.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}
'sampling
    Private timeSampling As Integer
'sampling
    Private ss, mm, sst, mmt As Integer
'sampling
    Private selecsemua() As Boolean = {False, False,
False}     'tiimesampling
    Private bukabuka As Boolean                  'time
sampling

    Private Sub Form2_Load(sender As Object, e As
EventArgs) Handles MyBase.Load
        ComboBox4.Items.AddRange(timeSamplingList)
'sampling
        timeSampling = 0
'ssampling
        ComboBox4.SelectedIndex = 0
'sampling
        Label1.Text = Date.Now.ToShortDateString
        Label2.Text = Date.Now.ToShortTimeString
        findPort()
        If (myPortList.Count >= 1) Then
            ComboBox3.Items.AddRange(myPortList)
            ComboBox3.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 ComboBox3_SelectedIndexChanged(sender
As Object, e As EventArgs) Handles ComboBox3.Click
        findPort()
        ComboBox3.Items.Clear()
        If (Not myPortlist Is Nothing) Then
            ComboBox3.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)
'sampling
            sst = (Now.ToString("ss"))
'sampling
            mmt = (Now.ToString("mm") + timeSampling)
Mod 10        'sampling
        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 ComboBox1.Text <> "" Then
```

```
            timer += 1
            Label4.Text = timer.ToString
            Label1.Text = Date.Now.ToShortDateString
            Label2.Text = Date.Now.ToShortTimeString
            Select Case ComboBox1.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
'sampling
        ss = CInt(Now.ToString("ss"))
'sampling
        If mm = mmt And ss >= sst Then
'sampling
            sst = (Now.ToString("ss"))
'sampling
            mmt = (Now.ToString("mm") + timeSampling)
Mod 10      'sampling
            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)

Chart2.Series("Series1").Points.AddXY(counter, flow)

Chart3.Series("Series1").Points.AddXY(pressure, flow)
            If recording = True Then
                simpan_data(pressure, flow)
            End If
        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()
        recording = False
        timer = 0
        myserial.PortName = ComboBox3.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
'sampling
            recording = False           'sampling
            RichTextBox1.Clear()            'sampling
            Chart1.Series("Series1").Points.Clear()
'sampling
            Chart2.Series("Series1").Points.Clear()
'sampling
            Chart3.Series("Series1").Points.Clear()
'sampling
            timeSampling = CInt(ComboBox4.Text)
'sampling
            sst = (Now.ToString("ss"))
'sampling
            mmt = (Now.ToString("mm") + timeSampling)
Mod 10    'sampling
        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.

MPX2010 Series
0 to 10 kPa (0 to 1.45 psi)
25 mV Full Scale
(Typical)

Features

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

Application Examples

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

ORDERING INFORMATION

Device Name	Package Options	Case No.	# of Ports			Pressure Type			Device Marking
			None	Single	Dual	Gauge	Differential	Absolute	
Small Outline Package (MPXV2010 Series)									
MPXV2010GP	Tray	1369		•		•			MPXV2010GP
MPXV2010DP	Tray	1351			•		•		MPXV2010DP
Unibody Package (MPX2010 Series)									
MPX2010D	Tray	344	•				•		MPX2010D
MPX2010DP	Tray	344C			•		•		MPX2010DP
MPX2010GP	Tray	344B		•		•			MPX2010GP
MPX2010GS	Tray	344E		•		•			MPX2010D
MPX2010GSX	Tray	344F		•		•			MPX2010D
MPAK Package (MPXM2010 Series)									
MPXM2010D	Rail	1320	•				•		MPXM2010D
MPXM2010DT1	Tape and Reel	1320	•				•		MPXM2010D
MPXM2010GS	Rail	1320A		•		•			MPXM2010GS
MPXM2010GST1	Tape and Reel	1320A		•		•			MPXM2010GS

SMALL OUTLINE PACKAGES

MPXV2010GP
CASE 1369-01

MPXV2010DP
CASE 1351-01

MPAK PACKAGES

MPXM2010D/DT1
CASE 1320-02

MPXM2010GS/GST1
CASE 1320A-02

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

Operating Characteristics

Table 1. Operating Characteristics (V_S = 10 V_{DC}, T_A = 25°C unless otherwise noted, P1 > P2)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Units
Pressure Range[1]	P_{OP}	0	—	10	kPa
Supply Voltage[2]	V_S	—	10	16	V_{DC}
Supply Current	I_O	—	6.0	—	mAdc
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	—	2550	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 (P1 > P2)	P_{MAX}	75	kPa
Burst Pressure (P1 > P2)	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 (P1) relative to the vacuum side (P2). Similarly, output voltage increases as increasing vacuum is applied to the vacuum side (P2) relative to the pressure side (P1).

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

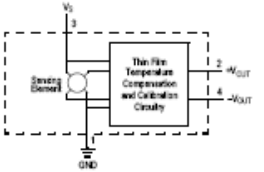


Figure 1. Temperature Compensated and Calibrated Pressure Sensor Schematic

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 performance over temperature is achieved by having both the shear stress strain gauge and the 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: $V_{out} = V_{off} + sensitivity \times P$ 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 linearities are based on the end point straight line method measured at the midrange pressure.

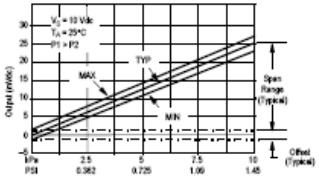


Figure 2. Output vs. Pressure Differential

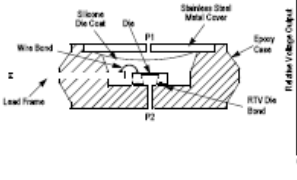


Figure 3. Unibody Package: Cross Sectional Diagram (not to scale)

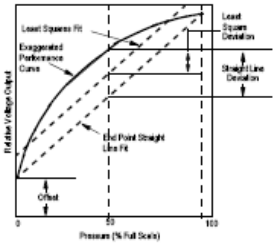


Figure 4. Linearity Specification Comparison

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

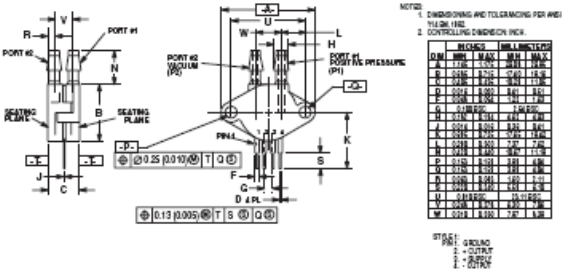
Freescale designates the two sides of the pressure sensor as the Pressure (P1) side and the Vacuum (P2) side. The Pressure (P1) side is the side containing silicone gel which isolates the die from the environment. The pressure sensor is designed to operate with positive differential pressure applied,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

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

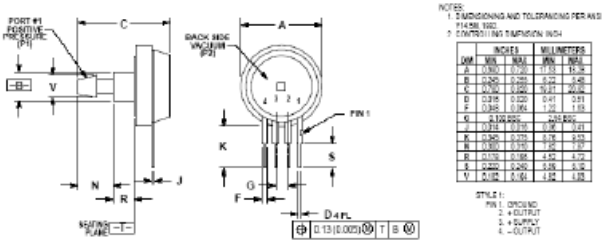
Table 3. Pressure (P1) Side Delineation

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
MPX2010GS	344E	Side with Port Attached
MPX2010GSX	344F	Side with Port Attached
MPXV2010GP	1369	Side with Port Attached
MPXV2010DP	1351	Side with Part Marking
MPXM2010D/DTI	1320	Side with Part Marking
MPXM2010GSK0STI	1320A	Side with Port Attached

PACKAGE DIMENSIONS



CASE 344C-01
ISSUE B
UNIBODY PACKAGE



CASE 344E-01
ISSUE B
UNIBODY PACKAGE

LAMPIRAN D
(Data Monitoring Laju Aliran Pada *Elbow Tabs*)

Tabel D.1. Data Monitoring Laju Aliran
Tanggal 26-06-2016
Range Rotameter menunjukkan 3 LPM

Tanggal	Waktu	ΔP (Psig)	Flowrate (LPM)
26/06/2016	03:05	0,577	2,64895
26/06/2016	03:05	0,578	2,65221
26/06/2016	03:05	0,578	2,65221
26/06/2016	03:05	0,578	2,65221
26/06/2016	03:05	0,578	2,65221
26/06/2016	03:05	0,578	2,65221
26/06/2016	03:05	0,578	2,65221
26/06/2016	03:05	0,578	2,65221
26/06/2016	03:05	0,578	2,65221
26/06/2016	03:06	0,577	2,64895
26/06/2016	03:06	0,578	2,65221
26/06/2016	03:06	0,577	2,64895
26/06/2016	03:06	0,577	2,64895
26/06/2016	03:06	0,577	2,64895
26/06/2016	03:06	0,578	2,65221
26/06/2016	03:06	0,578	2,65221
26/06/2016	03:06	0,578	2,65221
26/06/2016	03:06	0,577	2,64895
26/06/2016	03:06	0,578	2,65221
26/06/2016	06:00	0,587	2,67166
26/06/2016	06:00	0,587	2,67166
26/06/2016	06:00	0,585	2,66843
26/06/2016	06:00	0,589	2,67811

Tabel D1. Lanjutan

Range Rotameter menunjukkan 4 LPM

Tanggal	Waktu	ΔP (Psig)	Flowrate (LPM)
26/06/2016	06:01	0,589	2,67811
26/06/2016	06:01	0,587	2,67166
26/06/2016	06:01	0,587	2,67166
26/06/2016	06:01	0,585	2,66843
26/06/2016	06:01	0,587	2,67166
26/06/2016	06:01	0,588	2,67489
26/06/2016	06:01	0,588	2,67489
26/06/2016	06:01	0,585	2,66843
26/06/2016	06:01	0,585	2,66843
26/06/2016	06:01	0,587	2,67166
26/06/2016	06:01	0,585	2,66843
26/06/2016	06:01	0,587	2,67166
26/06/2016	06:01	0,587	2,67166
26/06/2016	06:01	0,587	2,67166
26/06/2016	06:01	0,587	2,67166
26/06/2016	06:01	0,585	2,66843
26/06/2016	06:03	0,591	2,68133
26/06/2016	06:03	0,591	2,68133
26/06/2016	06:03	0,686	2,88889
26/06/2016	06:03	0,658	2,82853
26/06/2016	06:03	0,612	2,72917
26/06/2016	06:03	0,611	2,72601
26/06/2016	06:03	0,702	2,92155
26/06/2016	06:03	0,675	2,8649

Tabel D1. Lanjutan

Range Rotameter menunjukkan 5 LPM

Tanggal	Waktu	ΔP (Psig)	Flowrate (LPM)
26/06/2016	06:04	0,601	2,70376
26/06/2016	06:04	0,601	2,70376
26/06/2016	06:04	0,601	2,70376
26/06/2016	06:04	0,598	2,69737
26/06/2016	06:04	0,601	2,70376
26/06/2016	06:04	0,601	2,70376
26/06/2016	06:04	0,605	2,71332
26/06/2016	06:04	0,604	2,71014
26/06/2016	06:04	0,601	2,70376
26/06/2016	06:04	0,599	2,70057
26/06/2016	06:04	0,604	2,71014
26/06/2016	06:05	0,629	2,76685
26/06/2016	06:05	0,631	2,76997
26/06/2016	06:05	0,695	2,90675
26/06/2016	06:05	0,697	2,91268
26/06/2016	06:05	0,696	2,90972
26/06/2016	06:06	0,697	2,91268
26/06/2016	06:06	0,696	2,90972
26/06/2016	06:06	0,695	2,90675
26/06/2016	06:06	0,693	2,90378
26/06/2016	06:06	0,629	2,76685
26/06/2016	06:06	0,625	2,75748
26/06/2016	06:06	0,612	2,72917
26/06/2016	06:06	0,618	2,74179

Tabel D1. Lanjutan

Range Rotameter menunjukkan 6 LPM

Tanggal	Waktu	ΔP (Psig)	Flowrate (LPM)
26/06/2016	06:06	0.618	2,74179
26/06/2016	06:06	0.604	2,71014
26/06/2016	06:06	0.604	2,71014
26/06/2016	06:06	0.601	2,70376
26/06/2016	06:06	0.614	2,73233
26/06/2016	06:06	0.615	2,73549
26/06/2016	06:08	0.591	2,68133
26/06/2016	06:08	0.592	2,68455
26/06/2016	06:08	0.589	2,67811
26/06/2016	06:09	0.591	2,68133
26/06/2016	06:09	0.591	2,68133
26/06/2016	06:09	0.591	2,68133
26/06/2016	06:09	0.588	2,67489
26/06/2016	06:09	0.589	2,67811
26/06/2016	06:09	0.587	2,67166
26/06/2016	06:09	0.598	2,69737
26/06/2016	06:09	0.592	2,68455
26/06/2016	06:09	0.598	2,69737
26/06/2016	06:09	0.591	2,68133
26/06/2016	06:09	0.592	2,68455
26/06/2016	06:09	0.591	2,68133
26/06/2016	06:09	0.592	2,68455
26/06/2016	06:09	0.588	2,67489
26/06/2016	06:09	0.587	2,67166

Tabel D1. Lanjutan

Range Rotameter menunjukkan 7 LPM

Tanggal	Waktu	ΔP (Psig)	Flowrate (LPM)
26/06/2016	06:09	0,591	2,68133
26/06/2016	06:10	0,584	2,66519
26/06/2016	06:11	0,591	2,68133
26/06/2016	06:11	0,591	2,68133
26/06/2016	06:11	0,589	2,67811
26/06/2016	06:11	0,584	2,66519
26/06/2016	06:11	0,594	2,68776
26/06/2016	06:11	0,588	2,67489
26/06/2016	06:11	0,594	2,68776
26/06/2016	06:11	0,591	2,68133
26/06/2016	06:11	0,588	2,67489
26/06/2016	06:11	0,589	2,67811
26/06/2016	06:11	0,594	2,68776
26/06/2016	06:11	0,585	2,66843
26/06/2016	06:11	0,592	2,68455
26/06/2016	06:11	0,587	2,67166
26/06/2016	06:11	0,589	2,67811
26/06/2016	06:11	0,587	2,67166
26/06/2016	06:11	0,587	2,67166
26/06/2016	06:11	0,587	2,67166
26/06/2016	06:11	0,588	2,67489
26/06/2016	06:12	0,588	2,67489
26/06/2016	06:13	0,587	2,67166
26/06/2016	06:13	0,587	2,67166

Tabel D1. Lanjutan

Range Rotameter menunjukkan 8 LPM

Tanggal	Waktu	ΔP (Psig)	Flowrate (LPM)
26/06/2016	06:13	0,592	2,68455
26/06/2016	06:13	0,591	2,68133
26/06/2016	06:13	0,585	2,66843
26/06/2016	06:13	0,589	2,67811
26/06/2016	06:13	0,585	2,66843
26/06/2016	06:13	0,582	2,66195
26/06/2016	06:13	0,587	2,67166
26/06/2016	06:13	0,591	2,68133
26/06/2016	06:13	0,587	2,67166
26/06/2016	06:13	0,589	2,67811
26/06/2016	06:13	0,589	2,67811
26/06/2016	06:13	0,591	2,68133
26/06/2016	06:13	0,591	2,68133
26/06/2016	06:13	0,597	2,69417
26/06/2016	06:13	0,588	2,67489
26/06/2016	06:13	0,588	2,67489
26/06/2016	06:15	0,589	2,67811
26/06/2016	06:15	0,587	2,67166
26/06/2016	06:15	0,584	2,66519
26/06/2016	06:15	0,584	2,66519
26/06/2016	06:15	0,592	2,68455
26/06/2016	06:15	0,584	2,66519
26/06/2016	06:15	0,582	2,66195
26/06/2016	06:15	0,584	2,66519

Tabel D1. Lanjutan

Range Rotameter menunjukkan 9 LPM

Tanggal	Waktu	ΔP (Psig)	Flowrate (LPM)
26/06/2016	06:15	0,587	2,67166
26/06/2016	06:15	0,585	2,66843
26/06/2016	06:15	0,582	2,66195
26/06/2016	06:15	0,591	2,68133
26/06/2016	06:15	0,587	2,67166
26/06/2016	06:15	0,588	2,67489
26/06/2016	06:15	0,591	2,68133
26/06/2016	06:15	0,584	2,66519
26/06/2016	06:15	0,592	2,68455
26/06/2016	06:16	0,587	2,67166
26/06/2016	06:16	0,592	2,68455
26/06/2016	06:16	0,582	2,66195
26/06/2016	06:17	0.589	2,67811
26/06/2016	06:17	0,58	2,65546
26/06/2016	06:17	0,587	2,67166
26/06/2016	06:17	0,588	2,67489
26/06/2016	06:17	0,598	2,69737
26/06/2016	06:17	0,575	2,6457
26/06/2016	06:17	0,585	2,66843
26/06/2016	06:17	0.587	2,67166
26/06/2016	06:17	0,589	2,67811
26/06/2016	06:17	0,582	2,66195
26/06/2016	06:17	0,588	2,67489
26/06/2016	06:18	0,585	2,66843

Tabel D1. Lanjutan

Range Rotameter menunjukkan 10 LPM

Tanggal	Waktu	ΔP (Psig)	Flowrate (LPM)
26/06/2016	06:18	0,587	2,67166
26/06/2016	06:18	0,587	2,67166
26/06/2016	06:18	0,588	2,67489
26/06/2016	06:18	0,582	2,66195
26/06/2016	06:18	0,581	2,65871
26/06/2016	06:18	0,581	2,65871
26/06/2016	06:19	0,587	2,67166
26/06/2016	06:19	0,589	2,67811
26/06/2016	06:20	0,589	2,67811
26/06/2016	06:20	0,592	2,68455
26/06/2016	06:20	0,581	2,65871
26/06/2016	06:20	0,582	2,66195
26/06/2016	06:20	0,588	2,67489
26/06/2016	06:20	0,591	2,68133
26/06/2016	06:20	0,58	2,65546
26/06/2016	06:20	0,582	2,66195
26/06/2016	06:20	0,585	2,66843
26/06/2016	06:20	0,587	2,67166
26/06/2016	06:20	0,58	2,65546
26/06/2016	06:20	0,58	2,65546
26/06/2016	06:20	0,575	2,6457
26/06/2016	06:20	0,588	2,67489
26/06/2016	06:20	0,585	2,66843
26/06/2016	06:20	0,581	2,65871
26/06/2016	06:20	0,582	2,66195

Tabel D1. Lanjutan

Range Rotameter menunjukkan 11 LPM

Tanggal	Waktu	ΔP (Psig)	Flowrate (LPM)
26/06/2016	06:20	0,582	2,66195
26/06/2016	06:20	0,591	2,68133
26/06/2016	06:21	0,587	2,67166
26/06/2016	06:21	0,585	2,66843
26/06/2016	06:21	0,585	2,66843
26/06/2016	06:21	0,58	2,65546
26/06/2016	06:21	0,58	2,65546
26/06/2016	06:21	0,582	2,66195
26/06/2016	06:22	0,584	2,66519
26/06/2016	06:22	0,588	2,67489
26/06/2016	06:22	0,585	2,66843
26/06/2016	06:22	0,581	2,65871
26/06/2016	06:22	0,581	2,65871
26/06/2016	06:22	0,582	2,66195
26/06/2016	06:22	0,584	2,66519
26/06/2016	06:22	0,589	2,67811
26/06/2016	06:22	0,58	2,65546
26/06/2016	06:22	0,585	2,66843
26/06/2016	06:22	0,588	2,67489
26/06/2016	06:22	0,584	2,66519
26/06/2016	06:22	0,584	2,66519
26/06/2016	06:22	0,581	2,65871
26/06/2016	06:25	0,581	2,65871
26/06/2016	06:25	0,585	2,66843

Tabel D1. Lanjutan

Range Rotameter menunjukkan 12 LPM

Tanggal	Waktu	ΔP (Psig)	Flowrate (LPM)
26/06/2016	06:25	0,581	2,65871
26/06/2016	06:25	0,588	2,67489
26/06/2016	06:25	0,587	2,67166
26/06/2016	06:25	0,582	2,66195
26/06/2016	06:25	0,58	2,65546
26/06/2016	06:25	0,584	2,66519
26/06/2016	06:26	0,58	2,65546
26/06/2016	06:26	0,584	2,66519
26/06/2016	06:26	0,584	2,66519
26/06/2016	06:26	0,584	2,66519
26/06/2016	06:26	0,584	2,66519
26/06/2016	06:26	0,584	2,66519
26/06/2016	06:26	0,585	2,66843
26/06/2016	06:26	0,584	2,66519
26/06/2016	06:26	0,584	2,66519
26/06/2016	06:26	0,581	2,65871
26/06/2016	06:26	0,582	2,66195
26/06/2016	06:26	0,581	2,65871
26/06/2016	06:27	0,582	2,66195
26/06/2016	06:27	0,574	2,64243
26/06/2016	06:27	0,588	2,67489
26/06/2016	06:27	0,585	2,66843
26/06/2016	06:27	0,589	2,67811
26/06/2016	06:27	0,589	2,67811

BAB V
PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian sistem monitoring laju aliran (*flowrate*) pada rancang bangun sistem laju aliran dengan metode ukur *elbow tabs*, dapat disimpulkan, yaitu :

a. Pada sistem monitoring *flowrate* memiliki sensitivitas hingga 1,878485 LPM dengan prosentase akurasi mencapai 99,12%.
b. Sistem monitoring *flowrate* dari rancang bangun laju aliran dengan metode *elbow tabs* memiliki nilai ketidakpastian pengukuran sebesar ± 0,0533 dengan tingkat kepercayaan 95%.
c. Sistem monitoring laju aliran dengan metode *elbow tabs* memiliki *range* ukur antara 2,6621 LPM sampai 2,6958 LPM

5.2. Saran

Adapun saran untuk penelitian sistem pengukuran dan monitoring laju aliran dengan menggunakan metode *Elbow Tabs* ini adalah sebagai berikut :

a. Pembuatan mekanik untuk rancang bangun aliran ini dapat diperbaiki dengan diberikan diameter pipa yang sama untuk menghindari adanya loss pada setiap pergantian antara orifice, venturimeter, elbow tabs, maupun pitot tubes.
b. Pada penelitian ini, sistem akuisisi data menggunakan *database*, hal tersebut mempunyai kekurangan yaitu harus terhubung dengan pc. Maka, untuk mempermudahkan akuisisi data, dapat digunakan *data logger for microcontroller*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

[1] Septriani Dwie Saputri. 2009. "Rancang Bangun Venturimeter berbasis mikrokontroller". **Skripsi** Universitas Indonesia. Jakarta.

[2] Munson, Donald F.Young, Theodore H.Okiishi. 2003. "***Mekanika Fluida* 1st *Edition***". Jakarta : Erlangga.

[3] Michael Anthony Crabtree. 2009. "*Industrial Flow Measurement*". ***Journal*** The University of Huddersfield. Inggris

[4] Raswari. 1986. "**Teknologi dan Perencanaan Sistem Perpipaan**". Jakarta:Penerbit Universitas Indonesia.

[5] McCabe L Warren, Smith C Julian, and Herriot Peter, 1985. "**Operasi Teknik Kimia Jilid 1 Edisi Keempat".**Jakarta: Erlangga.

[6] Brater, E.F. and H.W.King. 1976. "***Handbook of Hydraulics* 4th *edition***".Inggris :McGraw-Hill.

[7] M. White, Frank dan Hariandja, Manahan. 1988. "***Mekanika Fluida* 4th *edition*** ". Jakarta :Erlangga.

[8] **DataSheet**. MPX2010. Rev13. 10/2008. http://www.freescale.com/support

[9] Bentley, John P. 2005. "***Principles of Measurement System 4th Edition****". London : Prentice Hall.*

[10] KAN. 2013. "Pedoman Evaluasi dan Pelaporan Ketidakpastian Pengukuran". **Pedoman KAN DP.01.23**. Jakarta.

[11] Arduino. 2016. **Arduino Uno**, <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>

[12]Hidayatullah, Syarif. 2013. "**Pemrograman *Visual* Pengenalan *Visual Basic***". Politeknik Negeri Semarang.

BIODATA PENULIS

Nama lengkap penulis Yurike Suwartika yang dilahirkan di Magetan pada tanggal 18 November 1994 dari ayah bernama Sukarno dan ibu bernama Suwarti. Penulis merupakan anak sulung dari tiga bersaudara. Saat ini penulis tinggal di Jalan Bulak Rukem Timur 1 no 50 Surabaya. Pada tahun 2006, penulis menyelesaikan pendidikan tingkat dasar di SDN 258 Surabaya. Pada tahun 2009 penulis menyelesaikan pendidikan tingkat menengah pertama di SMPN 15 Surabaya. Tahun 2013 berhasil menyelesaikan pendidikan tingkat menengah atas di SMKN 5 Surabaya. 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 PADA ELBOW TABS 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 yurikesuwartika@gmail.com.