



***HEAD LOSSES PADA DUA ELBOW 90° (LENGKUNGAN S)
DENGAN VARIASI JARAK ANTARA ELBOW DAN ARAH KELUARAN***

SKRIPSI

Oleh :

**CHAIRIL GHOZALI
NIM 091910101049**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**



***HEAD LOSSES PADA DUA ELBOW 90° (LENGKUNGAN S)
DENGAN VARIASI JARAK ANTARA ELBOW DAN ARAH KELUARAN***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh :

**CHAIRIL GHOZALI
NIM 091910101049**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**

PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah SWT dan segala puji bagi Allah SWT serta shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Saya persembahkan skripsi ini kepada :

1. Keluargaku, Ayahanda Achmad dan Ibunda Soleha atas segala do'a, dukungan yang tak pernah surut dan materil. Tidak lupa kakakku Nia dan adikku Ghuftron yang tak henti-hentinya memberi semangat.
2. Staf pengajar semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan bimbingan kepada saya terutama Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc., selaku dosen pembimbing utama, Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T., selaku dosen pembimbing anggota, Bapak Hari Arbiantara, S.T., M.T., selaku dosen penguji I, dan Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T., selaku dosen penguji II.
3. Semua guruku mulai dari TK sampai SMA dan dosen-dosenku di Perguruan Tinggi yang saya hormati, yang telah memberikan ilmu, mendidik, dan membimbingku dengan sabar.
4. Teman-temanku yang telah membantu penelitian ini terselesaikan yaitu Latif J.A.A., Itong, Mr. Fakhri, Rio H., Afan, Hidayat Duro, Sugleng, dan teman-teman N-Gine Teknik Mesin Universitas Jember angkatan tahun 2009.
5. Serta seluruh pihak yang telah mendukung yang tak bias disebutkan satu-persatu.

MOTTO

*Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya
(QS. Al- Baqarah; 286)*

*Barang siapa keluar mencari ilmu maka ia berada di jalan Allah sampai ia kembali
(H.R. Tirmidzi dari Anas Bin Malik r.a)*

*Banyak kegagalan dalam hidup ini dikarenakan orang-orang tidak menyadari betapa
dekatnya mereka dengan keberhasilan saat mereka menyerah
(Thomas Alva Edison)*

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Chairil Ghozali

NIM : 091910101049

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “*Head Losses pada Dua Elbow 90° (Lengkungan S) dengan Variasi Jarak antara Elbow dan Arah Keluaran*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 18 Juni 2015

Yang menyatakan,

Chairil Ghozali

NIM 091910101049

***HEAD LOSSES PADA DUA ELBOW 90° (LENGKUNGAN S)
DENGAN VARIASI JARAK ANTARA ELBOW DAN ARAH KELUARAN***

SKRIPSI

Oleh :

Chairil Ghozali
NIM 091910101049

Dosen Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Ahmad Syuhri, M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “*Head Losses* pada Dua *Elbow* 90° (Lengkungan S) dengan Variasi Jarak antara *Elbow* dan Arah Keluaran” telah diuji dan disahkan pada :

Hari, tanggal : Kamis, 18 Juni 2015

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua

Sekretaris

Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.
NIP 19680617 199501 1 001

Ir. Ahmad Syuhri, M.T.
NIP 19670123 199702 1 001

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II

Hari Arbiantara, S.T., M.T.
NIP 19670924 199412 1 001

Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.
NIP 19681207 199512 1 002

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP 196104141989021001

RINGKASAN

***Head Losses* pada Dua *Elbow* 90° (Lengkungan S) dengan Variasi Jarak antara *Elbow* dan Arah Keluaran;** Chairil Ghozali, 091910101049; 105 Halaman; Program Studi Strata Satu (S1); Jurusan Teknik Mesin; Fakultas Teknik; Universitas Jember.

Sistem perpipaan merupakan salah satu cara untuk mendistribusikan fluida dari suatu tempat ke tempat lain. Terdapat banyak variasi sistem perpipaan mulai dari sistem pipa tunggal yang sederhana sampai sistem pipa bercabang yang sangat kompleks. Salah satu bagian dari instalasi perpipaan adalah adanya lengkungan berbentuk S. Lengkungan S sendiri digunakan untuk meningkatkan fleksibilitas yang terjadi akibat adanya pemanasan dan pendinginan pada sistem perpipaan. Sehingga dengan adanya lengkungan S pada sistem perpipaan akan menimbulkan permasalahan yang akan sering kita temukan pada sistem tersebut. Salah satu permasalahan tersebut adalah terjadinya *head losses* pada lengkungan S yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan (*pressure drop*). Dari permasalahan tersebut perlu diketahui nilai *head losses* yang terjadi sebagai referensi penggunaan lengkungan S yang akan digunakan. Tujuan dari penelitian untuk mengetahui variasi lengkungan S terhadap: 1) mengetahui seberapa besar kecepatan dan tekanan yang terjadi akibat penambahan panjang dan arah keluaran pada lengkungan S, 2) mengetahui pola aliran pada lengkungan S, 3) mengetahui nilai *head losses* total pada lengkungan S.

Penelitian ini dilaksanakan dalam 9 tahap pengujian yaitu pengujian pada lengkungan S dengan menggunakan variasi jarak antara *elbow* 90° sebesar 3D dan arah keluaran 0° (lurus), variasi jarak antara *elbow* 90° sebesar 3D dan arah keluaran belok 45°, jarak antara *elbow* 90° sebesar 3D dan arah keluaran belok 90°, jarak antara *elbow* 90° sebesar 5D dan arah keluaran 0° (lurus), jarak antara *elbow* 90° sebesar 5D dan arah keluaran belok 45°, jarak antara *elbow* 90° sebesar 5D dan arah keluaran belok

45°, jarak antara *elbow* 90° sebesar 7D dan arah keluaran belok 0° (lurus), jarak antara *elbow* 90° sebesar 7D dan arah keluaran belok 45°, dan jarak antara *elbow* 90° sebesar 7D dan arah keluaran belok 90°. Setiap pengujian menggunakan kecepatan maksimal blower serta pada setiap titik pengukuran terdapat 5 posisi alat ukur sehingga dapat mengetahui pola aliran yang terjadi di setiap titik.

Dari hasil penelitian ini didapat bahwa pengaruh variasi lengkungan S dengan variasi jarak antara *elbow* dan arah keluaran akan mempengaruhi kecepatan, tekanan, dan *head losses*. Posisi alat ukur dalam pipa cenderung mempengaruhi kecepatan dan tekanan, di mana kecepatan tertinggi pada titik pengukuran I berada di tengah-tengah pipa atau pada posisi alat ukur 3 dan kecepatan terendah terjadi di tepi dinding pipa atau pada posisi alat ukur 1 dan 5, sedangkan tekanan sebaliknya. Pada titik pengukuran II kecepatan tertinggi terjadi pada posisi alat ukur 5 dan kecepatan terendah terjadi pada posisi alat ukur 2, sedangkan tekanan tertinggi terjadi pada posisi alat ukur 5 dan tekanan terendah terjadi pada posisi alat ukur 5. Dan pada titik pengukuran III kecepatan tertinggi terjadi pada posisi alat ukur 1 dan kecepatan terendah terjadi pada posisi alat ukur 4, sedangkan tekanan tertinggi terjadi pada posisi alat ukur 5 dan tekanan terendah terjadi pada posisi alat ukur 1. Kecepatan rata-rata fluida keluaran tertinggi terjadi pada variasi 5D arah keluaran 45° sebesar 16,67 m/s pada titik pengukuran III, sedangkan tekanan terendah terjadi pada variasi 3D arah keluaran 45° sebesar 79,21 N/m² pada titik pengukuran III. *Head losses* total yang paling tinggi terjadi pada variasi 7D dan arah keluaran 90° sebesar 16,09 m.

SUMMARY

Head Losses in the Two 90° Elbow (S – Arch) with a Variation of the Distance Between the Elbow and the Direction of Output; Chairil Ghozali, 091910101049; 105 Pages; Course One Strata (S1); Mechanical Engineering; Faculty Of Engineering; University Of Jember.

The piping system is one way to distribute fluids from one place to another. There are many variations of piping systems ranging from single-pipe systems are simple to branched pipe systems are very complex. One part of the installation of the piping is the arch-shaped S. S - arch used to increase flexibility that occurs due to the heating and cooling system piping. So the presence of S - arch on the system piping will cause problems that will often be found on the system. One of these problems is the occurrence of head losses in the pipe S - arch which led to a decrease in pressure (pressure drop). Of these problems need to be known to head losses that occurred as a reference the use of S - arch to be used. The goal of the research is to know the variations of S - arch against: 1) know how big the speed and pressure that results from adding the length and direction of the exodus on the arch's, 2) know the flow pattern on S - arch, 3) knowing the value of head losses total at arch S.

This research was carried out in 9 stages of testing on S - arch by using a variation of the distance between 90° elbow 3D output and output direction of 0° (straight), variations in the distance between 90° elbow 3D and output direction of turn 45°, distance between 90° elbow 3D and output direction of turn 90°, variations in the distance between 90° elbow 5D and output direction of 0° (straight), the distance between 90° elbow 5D and output direction of turn 45°, the distance between 90° elbow 5D and output direction of turn 90°, the distance between 90° elbow 7D and output direction of 0° (straight), the distance between 90° elbow 7D and output direction of turn 45°, and the distance between 90° elbow 7D and output direction of

turn 90° . Each test using a maximum speed of blower and at each measurement point there are 5 position measuring instrument so that it can know the flow pattern that occurs at every point.

From the results of this research were obtained that the influence of the variation of S - arch with the variation of the distance between the elbow and the direction of output will affect speed, pressure, and head losses. The position of the measuring instrument in the pipeline are likely to affect the speed and pressure, where the highest speed at the point of measurement I was in the middle of the pipe or in the position of gauge 3 and lowest speed occurs at the edge of the wall pipe or on the position of gauge 1 and 5, whereas the pressure otherwise. At the point of measurement II the highest speed occurs at the 5 position of the measuring instrument and the lowest speed occurs at position gauge 2, while the highest pressure occurs at the 5 position of the measuring instrument and the lowest pressure occurs at position gauge 5. And at the point of measurement III highest speed occurs at position measuring instrument 1 and the lowest speed occurs at position 4 gauge, while the highest pressure occurs at the 5 position of the measuring instrument and the lowest pressure occurs at position measuring instrument 1. The average speed of the fluid occurs at the highest output variation 5D and 45° output direction of 16.67 m/s at the point of measurement III, while the lowest pressure occurs output variation 3D and 45° output direction of 79,21 N/m² at measurement point III. The head of the most high total losses occurred in variation 7D and 90° output direction of 16,09 m.

PRAKATA

Dengan menyebut nama Allah SWT, Alhamdulillah atas segala rahmat, hidayah serta karunia-Nya sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Head Losses* pada Dua *Elbow* 90° (Lengkungan S) dengan Variasi Jarak antara *Elbow* dan Arah Keluaran”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk dapat menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Ibu dan bapak yang senantiasa memberikan doa dan kasih sayang yang tiada henti-hentinya.
2. Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang selalu memberikan saran dan arahan yang sangat membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak Hari Arbiantara, S.T., M.T. dan Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T. selaku dosen penguji 1 dan 2 yang telah banyak memberikan saran dan berbagai pertimbangan menuju ke arah yang benar dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Semua Dosen Teknik Mesin Universitas Jember.
5. Guru-guru mulai dari TK sampai dengan SMK yang tidak kenal lelah memberikan ilmunya.
6. Kakak dan Adikku yang tercinta yang selalu memberikan dorongan dan semangat sehingga terselesaikannya skripsi ini.
7. Semua keluargaku yang selalu memberikan dukungan dan doa sehingga kelancaran yang tercipta memberikan dampak yang positif terhadap proses penyelesaian skripsi ini
8. Teman-temanku N-Gine seperjuangan, salam “*Solidarity forever*”

9. Adik-adik angkatanku tercinta yang telah banyak membantu dan memotivasi agar terselesaikannya skripsi ini.
10. Mbak Halimah selaku staf administrasi Jurusan Teknik Mesin, terima kasih atas bantuannya selama ini.
11. Staf Fakultas Teknik Universitas Jember
12. Serta semua pihak yang membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis sadar bahwa dalam menyusun skripsi ini masih banyak kekurangan, penulis menampung segala saran dan kritik pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat.

Jember, 16 Juni 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN	iv
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR SIMBOL	xxiii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian	4
1.4.1 Tujuan	4
1.4.2 Manfaat	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pengertian Fluida	6
2.1.1 Sifat Dasar Fluida	7
2.1.2 Jenis dan Karakteristik Fluida.....	9
2.1.3 Aliran dalam Tabung	12
2.2 Sistem Perpipaan	15
2.3 Daerah Masuk dan Daerah Berkembang Penuh	16
2.4 Kehilangan Energi (<i>Head Losses</i>)	17

2.4.1 <i>Head Losses Mayor</i>	18
2.4.1 <i>Head Losses Minor</i>	19
2.5 Penurunan Tekanan (<i>Pressure Drop</i>)	21
2.6 Lengkungan S	21
2.7 Tabung Pitot	23
2.8 Blower	24
2.8.1 <i>Sentrifugal Blower</i>	24
2.8.2 <i>Positive Displacement Blower</i>	25
2.9 Penelitian Dahulu	26
2.9 Hipotesis Penelitian	28
BAB 3. METODELOGI PENELITIAN	29
3.1 Metode Penelitian	29
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	29
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	29
3.3.1 Alat.....	29
3.3.2 Bahan	30
3.4 Variabel Penelitian	30
3.4.1 Variabel Bebas	30
3.4.2 Variabel Terikat	30
3.5 Prosedur Penelitian	30
3.5.1 Penyusunan Alat Penelitian	30
3.5.2 Tahapan Penelitian.....	31
3.5.3 Pengolahan Data	33
3.6 Skema Alat Uji	34
3.7 Diagram Alir Penelitian	35
3.8 Jadwal Rencana Penelitian	36
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Hasil Penelitian	37
4.2 Pembahasan Hasil Penelitian	42

4.2.1 Pembahasan Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° pada Arah Keluaran 0°	42
4.2.2 Pembahasan Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° pada Arah Keluaran 45°	48
4.2.3 Pembahasan Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° pada Arah Keluaran 90°	54
4.2.4 Pembahasan Arah Keluaran <i>Elbow</i> 90° pada Variasi 3D	60
4.2.5 Pembahasan Arah Keluaran <i>Elbow</i> 90° pada Variasi 5D	66
4.2.6 Pembahasan Arah Keluaran <i>Elbow</i> 90° pada Variasi 7D	72
4.2.7 Pembahasan <i>Head Losses</i> Total.....	78
BAB 5. PENUTUP	80
5.1 Kesimpulan	80
5.2 Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN	
LAMPIRAN 2 TABEL	
LAMPIRAN 3 GAMBAR	

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1 Pengambilan Data pada Lengkungan S	33
3.2 Jadwal Rencana Penelitian	36
4.1 Hasil Penelitian dari Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 3D dan Arah Keluaran 0°	37
4.2 Hasil Penelitian dari Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 3D dan Arah Keluaran 45°	38
4.3 Hasil Penelitian dari Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 3D dan Arah Keluaran 90°	38
4.4 Hasil Penelitian dari Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 5D dan Arah Keluaran 0°	39
4.5 Hasil Penelitian dari Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 5D dan Arah Keluaran 45°	39
4.6 Hasil Penelitian dari Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 5D dan Arah Keluaran 90°	40
4.7 Hasil Penelitian dari Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 7D dan Arah Keluaran 0°	40
4.8 Hasil Penelitian dari Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 7D dan Arah Keluaran 45°	41
4.9 Hasil Penelitian dari Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 7D dan Arah Keluaran 90°	41
L1.1 Hasil Penelitian pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 3D dan Arah Keluaran 0°	84
L1.2 Hasil Perhitungan Kecepatan Rata-rata pada Dua Buah <i>Elbow</i> 90° (Lengkungan S)	86
L2.1 Hasil Perhitungan Kecepatan dan Tekanan pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 3D dan Arah Keluaran 0°	90

L2.2 Hasil Perhitungan Kecepatan dan Tekanan pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 3D dan Arah Keluaran 45°	90
L2.3 Hasil Perhitungan Kecepatan dan Tekanan pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 3D dan Arah Keluaran 90°	91
L2.4 Hasil Perhitungan Kecepatan dan Tekanan pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 5D dan Arah Keluaran 0°	91
L2.5 Hasil Perhitungan Kecepatan dan Tekanan pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 5D dan Arah Keluaran 45°	92
L2.6 Hasil Perhitungan Kecepatan dan Tekanan pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 5D dan Arah Keluaran 90°	92
L2.7 Hasil Perhitungan Kecepatan dan Tekanan pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 7D dan Arah Keluaran 0°	93
L2.8 Hasil Perhitungan Kecepatan dan Tekanan pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 7D dan Arah Keluaran 45°	93
L2.9 Hasil Perhitungan Kecepatan dan Tekanan pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 7D dan Arah Keluaran 90°	94
L2.10 Hasil Perhitungan <i>Head Losses</i> Total pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 3D dan Arah Keluaran 0°	94
L2.11 Hasil Perhitungan <i>Head Losses</i> Total pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 3D dan Arah Keluaran 45°	94
L2.12 Hasil Perhitungan <i>Head Losses</i> Total pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 3D dan Arah Keluaran 90°	94
L2.13 Hasil Perhitungan <i>Head Losses</i> Total pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 5D dan Arah Keluaran 0°	95
L2.14 Hasil Perhitungan <i>Head Losses</i> Total pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 5D dan Arah Keluaran 45°	95
L2.15 Hasil Perhitungan <i>Head Losses</i> Total pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 5D dan Arah Keluaran 90°	95

L2.16 Hasil Perhitungan <i>Head Losses</i> Total pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 7D dan Arah Keluaran 0°	95
L2.17 Hasil Perhitungan <i>Head Losses</i> Total pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 7D dan Arah Keluaran 45°	95
L2.18 Hasil Perhitungan <i>Head Losses</i> Total pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 7D dan Arah Keluaran 90°	95
L2.19 Hasil Perhitungan Bilangan <i>Reynolds</i> pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 3D dan Arah Keluaran 0°	96
L2.20 Hasil Perhitungan Bilangan <i>Reynolds</i> pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 3D dan Arah Keluaran 45°	96
L2.21 Hasil Perhitungan Bilangan <i>Reynolds</i> pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 3D dan Arah Keluaran 90°	96
L2.22 Hasil Perhitungan Bilangan <i>Reynolds</i> pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 5D dan Arah Keluaran 0°	97
L2.23 Hasil Perhitungan Bilangan <i>Reynolds</i> pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 5D dan Arah Keluaran 45°	97
L2.24 Hasil Perhitungan Bilangan <i>Reynolds</i> pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 5D dan Arah Keluaran 90°	97
L2.25 Hasil Perhitungan Bilangan <i>Reynolds</i> pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 7D dan Arah Keluaran 0°	98
L2.26 Hasil Perhitungan Bilangan <i>Reynolds</i> pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 7D dan Arah Keluaran 45°	98
L2.27 Hasil Perhitungan Bilangan <i>Reynolds</i> pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° 7D dan Arah Keluaran 90°	98

DAFTAR GAMBAR


Gambar	Halaman
2.1 Penentuan Kekentalan	8
2.2 Proses Berkembangnya Aliran di Atas Plat.....	10
2.3 Alat Percobaan Osborn Reynolds	10
2.4 (a) Aliran Laminer, (b) Aliran Transisi, dan (c) Aliran Turbulen	11
2.5 Tabung Aliran Membuktikan Persamaan Kontinuitas	12
2.6 Tabung Aliran Fluida.....	14
2.7 Daerah Masuk Aliran Sedang Berkembang dan Aliran Berkembang Penuh pada Sistem Pipa.....	16
2.8 Diagram Moody.....	19
2.9 Koefisien Kerugian pada Belokan	20
2.10 Lengkungan S	22
2.11 Bentuk dan Penempatan Tabung Pitot dan Pipa U.....	23
2.12 <i>Forward Curved Blade</i>	25
2.13 <i>Backward Curved Blade</i>	26
3.1 Skema Alat Uji	34
3.2 Diagram Alir Penelitian.....	35
4.1 Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 0° pada Titik Pengukuran I.....	42
4.2 Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 0° pada Titik Pengukuran I.....	43
4.3 Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 0° pada Titik Pengukuran II.....	44
4.4 Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 0° pada Titik Pengukuran II	45
4.5 Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 0°pada Titik Pengukuran III	46

4.6	Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 0° pada Titik Pengukuran III.....	47
4.7	Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 45° pada Titik Pengukuran I.....	48
4.8	Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 45° pada Titik Pengukuran I.....	49
4.9	Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 45° pada Titik Pengukuran II.....	50
4.10	Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 45° pada Titik Pengukuran II.....	51
4.11	Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 45° pada Titik Pengukuran III.....	52
4.12	Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 45° pada Titik Pengukuran III.....	53
4.13	Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 90° pada Titik Pengukuran I.....	54
4.14	Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 90° pada Titik Pengukuran I.....	55
4.15	Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 90° pada Titik Pengukuran II.....	56
4.16	Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 90° pada Titik Pengukuran II.....	57
4.17	Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 90° pada Titik Pengukuran III.....	58
4.18	Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 90° pada Titik Pengukuran III.....	59
4.19	Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran I.....	60
4.20	Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 3D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran I.....	61

4.21	Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran II	62
4.22	Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 3D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran II	63
4.23	Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran III.....	64
4.24	Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 3D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran III.....	65
4.25	Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 5D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran I.....	66
4.26	Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 5D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran I.....	67
4.27	Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 5D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran II	68
4.28	Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 5D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran II	69
4.29	Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 5D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran III.....	70
4.30	Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 5D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran III.....	71
4.31	Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 7D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran I.....	72
4.32	Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 7D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran I.....	73
4.33	Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 7D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran II	74
4.34	Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 7D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran II	75
4.35	Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 7D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran III.....	76

4.36	Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 7D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran III.....	77
4.37	Grafik <i>Head Losses</i> Total Terhadap Jarak Antara <i>Elbow</i> 90° pada Arah Keluaran.....	78
4.38	Grafik <i>Head Losses</i> terhadap Arah Keluaran pada Variasi Jarak Antara <i>Elbow</i> 90°	79
L3.1	Profil Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 0° (a) Kecepatan dan (b) Tekanan.....	99
L3.2	Profil Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 45° (a) Kecepatan dan (b) Tekanan.....	99
L3.3	Profil Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 90° (a) Kecepatan dan (b) Tekanan.....	100
L3.4	Profil Fluida Udara Variasi 3D Arah Keluaran 0° , 45° , dan 90° (a) Kecepatan dan (b) Tekanan	100
L3.5	Profil Fluida Udara Variasi 5D Arah Keluaran 0° , 45° , dan 90° (a) Kecepatan dan (b) Tekanan	101
L3.6	Profil Fluida Udara Variasi 6D Arah Keluaran 0° , 45° , dan 90° (a) Kecepatan dan (b) Tekanan	101
L3.7	Tabung Pitot.....	102
L3.8	Manometer U	102
L3.9	Anemometer	102
L3.10	Pengatur Tegangan	103
L3.11	<i>Hand Blower</i>	103
L3.12	<i>Flow Conditioner</i>	103
L3.13	Lengkungan S Variasi 3D.....	104
L3.14	Lengkungan S Variasi 5D.....	104
L3.15	Lengkungan S Variasi 7D.....	104
L3.16	Lengkungan S Variasi Arah Keluaran 0°	105
L3.17	Lengkungan S Variasi Arah Keluaran 45°	105
L3.18	Lengkungan S Variasi Arah Keluaran 90°	105

DAFTAR SIMBOL



A	= luas penampang (m^2)
D	= diameter (m)
F	= gaya (N)
f	= faktor gesekan (diagram Moody)
g	= gravitasi bumi ($9,80665 m/s^2$)
h_f	= <i>head losses</i> mayor (m)
h_m	= <i>head losses</i> minor (m)
h_t	= <i>head losses</i> total (m)
k_{kb}	= koefisien kerugian
m	= massa (kg)
P	= tekanan (N/m^2)
ρ	= massa jenis (kg/m^3)
Q	= debit (m^3/s)
Re	= bilangan Reynold
τ	= tegangan geser (kg/m^2)
μ	= viskositas fluida ($N/m^2.s$)
V	= volume (m^3)
v	= kecepatan (m/s^2)
ν	= viskositas kinematik (m^2/s)

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem perpipaan merupakan salah satu cara untuk mendistribusikan fluida dari suatu tempat ke tempat lain. Menurut (Zainudin dkk, 2012) sistem perpipaan dapat ditemukan hampir pada semua jenis industri, baik di industri yang membutuhkan saluran pipa untuk mengalirkan fluida, di perusahaan air minum, dan industri perminyakan. Terdapat banyak variasi sistem perpipaan mulai dari sistem pipa tunggal yang sederhana sampai sistem pipa bercabang yang sangat kompleks. Antara lain, saringan (*strainer*), katup atau kran, sambungan, *reducer*, *clamp saddle*, *nozel*, *expansion loop*, dan sebagainya. Sambungan dapat berupa penampang berubah (*reducer*), belokan (*elbow/bend*) 30° , 45° , 60° , 90° , 180° , *knie*, *double neple*, *klame saddle*, *gible joint* dan sambungan T (*tee*). Sehingga dengan adanya berbagai macam sambungan pada sistem perpipaan akan menimbulkan permasalahan yang akan sering kita temukan pada sistem tersebut.

Salah satu bagian dari instalasi perpipaan adalah adanya lengkungan berbentuk S. Lengkungan S sendiri digunakan untuk meningkatkan fleksibilitas yang terjadi akibat adanya pemanasan dan pendinginan pada sistem perpipaan. Dengan adanya lengkungan S pada sistem perpipaan akan mengakibatkan penurunan tekanan pada suatu aliran. Penurunan tekanan ini terjadi akibat adanya turbulensi aliran yang akan menimbulkan gesekan besar pada dinding pipa. Penerapan lengkungan S sebenarnya sudah banyak kita jumpai baik di industri maupun dalam kehidupan sehari-hari misalkan dalam pipa air, pada saluran udara (*ducting*), dan (saluran masuk bahan bakar) *intake manifold*.

Salah satu permasalahan yang sering terjadi pada aliran fluida adalah terjadinya *head losses* pada sambungan yang mengakibatkan terjadinya penurunan tekanan (*pressure drop*). *Pressure drop* adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan penurunan tekanan dari satu titik di dalam pipa aliran fluida.

Penurunan tekanan adalah hasil dari gaya gesek pada fluida seperti yang mengalir pada tabung. Penurunan tekanan dalam pipa ini sangat penting untuk diketahui guna merancang sistem perpipaan. *Head losses* dapat dibagi menjadi 2 macam yaitu, *major losses* dan *minor losses*. *Major losses* adalah kerugian pada sistem perpipaan akibat adanya gesekan fluida dengan dinding memanjang. *Minor losses* adalah kerugian pada sistem perpipaan akibat adanya sambungan pipa (*fitting*) dan perubahan luas penampang pada pipa (White, 1994).

Menurut (Zainudin dkk, 2012) tentang analisa pengaruh variasi sudut sambungan belokan terhadap *head losses* aliran pipa, dengan variasi sudut sambungan 30° , 45° , 60° dan 90° . Hasil pengujian menunjukkan pemakaian variasi sudut belokan menyebabkan perubahan pada *head losses* dan *pressure drop*. Semakin besar sudut belokan, nilai *head losses* dan *pressure drop* yang dihasilkan semakin besar. *Head losses* dan *pressure drop* paling kecil terjadi pada sudut 30° yaitu 73,23 mm dan $907,606 \text{ N/m}^2$, sedangkan *head losses* dan *pressure drop* paling besar terjadi pada sudut 90° yaitu 74,80 mm dan $1278,899 \text{ N/m}^2$ dan dimana pemakaian sudut belokan yang semakin besar menyebabkan hubungan kecepatan air berbanding terbalik dengan *head losses*. Semakin kecil kecepatan yang dihasilkan, maka nilai *head losses* semakin besar.

Menurut (Bagus, 2014) tentang analisis penurunan *head losses* pada simpul pipa *expansion loops* vertikal dengan variasi tinggi dan lebar simpul. Dari hasil penelitian ini didapat bahwa pengaruh variasi simpul pipa *expansion loops* vertikal dengan variasi tinggi dan lebar simpul akan mempengaruhi kecepatan, tekanan, dan *head losses* minor. Nilai penurunan *head losses* paling tinggi terjadi pada variasi simpul pipa *expansion loop* 3H 3W dengan nilai *head losses* terendah adalah 2,987 m pada kecepatan fluida 9,269 m/s dan nilai *head losses* tertinggi adalah 9,559 m pada kecepatan 16,581 m/s serta tekanan keluar $19,53 \text{ N/m}^2$. Nilai penurunan *head losses* paling rendah terjadi pada simpul pipa *expansion loop* 2H 2W dengan nilai *head losses* terendah adalah 1,792 m pada kecepatan 7,18 m/s dan nilai *head losses*

tertinggi adalah 8,962 m pada kecepatan 16,054 m/s serta tekanan keluar 58,591 N/m². Pada pembahasan variasi simpul pipa *expansion loops* ini jika dilihat dari variasi kecepatan kemampuan maksimal blower maka yang memiliki nilai *head losses* minor paling rendah adalah pada variasi simpul pipa *expansion loop 2H 1W* dengan nilai *head losses* 8,066 m pada kecepatan 15,23 m/s dan tekanan keluar 63,473 N/m².

Menurut (Eka, 2014) tentang pengaruh variasi sudut *elbow intake manifold* terhadap emisi gas buang pada sepeda motor Supra X tahun 2002. Penelitian ini menggunakan variasi kelompok standar dengan sudut 0°, dan kelompok eksperimen, variasi 1 sudut *elbow* 180°, variasi 2 sudut *elbow* 225°, dan variasi 3 sudut *elbow* 270°. Dari penelitian tersebut didapat penurunan CO optimal terjadi pada variasi 1 yaitu sebesar 0,34% vol dengan persentase penurunan 85,89% pada putaran 4000 rpm. Penurunan HC optimal terjadi pada variasi 3 yaitu sebesar 111 ppmVol dengan persentase penurunan 28,39% pada putaran 8000 rpm. Peningkatan CO₂ optimal terjadi pada variasi 1 yaitu sebesar 13,7% vol dengan persentase peningkatan 24,55% pada putaran 5500 rpm. Peningkatan O₂ optimal terjadi pada variasi 1 yaitu sebesar 1,17% vol dengan persentase peningkatan 74,63% pada putaran 4000 rpm. Penurunan konsumsi bahan bakar terjadi pada variasi 3 yaitu sebesar 0,31 ltr/jam dengan persentase penurunan 35,42% pada putaran 3000 rpm. Dari variasi 1, 2 dan 3 yang paling baik untuk mereduksi emisi gas buang dibandingkan dengan *intake manifold* standar pada sepeda motor Honda Supra X tahun 2002 adalah variasi 1, karena variasi 1 membentuk sudut *elbow* 180° serta variasi 1 lebih pendek dari variasi 2 dan 3, sehingga kerugiannya kecil.

Dari penelitian tersebut, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai analisa *head losses* pada dua buah *elbow* 90° (lengkungan S) dengan variasi jarak antara *elbow* 90° dan arah keluarannya. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar *head losses* pada dua buah *elbow* 90° (lengkungan S) dengan variasi jarak antara *elbow* 90° dan arah keluarannya.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah seberapa besar perbandingan penurunan *head losses* yang terjadi pada dua buah sambungan *elbow* 90° (lengkungan S) dengan variasi jarak antara *elbow* 90° dan arah keluaran sambungan *elbow* 90° pada lengkungan S.

1.3 Batasan Masalah

Karena banyaknya kemungkinan variabel yang dapat mempengaruhi dalam analisa ini, maka dalam penulisan ini dibatasi agar dapat memperoleh hasil penelitian yang lebih terarah dan terfokus pada keadaan tertentu. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- Dalam penelitian ini nilai kebocoran pada sistem perpipaan diabaikan.
- Suhu udara dalam pipa dianggap sama
- Tidak menghitung kekasaran permukaan pada dinding pipa.
- Tidak menghitung analisis tegangan pada lengkungan pipa.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Mengetahui profil kecepatan dan tekanan pada sumbu Y yang terjadi akibat adanya pemasangan dua buah sambungan *elbow* 90° (lengkungan S) secara vertikal dengan variasi ketinggian 3D, 5D, dan 7D dan posisi arah keluaran sambungan *elbow* 90° dengan variasi sudut 0°, 45°, dan 90°.
- Mengetahui *head losses* total yang terjadi akibat adanya pemasangan dua buah sambungan *elbow* 90° (lengkungan S) secara vertikal dengan variasi ketinggian 3D, 5D, dan 7D dan posisi arah keluaran sambungan *elbow* 90° dengan variasi sudut 0°, 45°, dan 90°.

1.4.2 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah:

- a. Mencegah kerusakan pada sistem perpipaan.
- b. Mengurangi penurunan tekanan (*pressure drop*) yang terlalu besar.
- c. Mengatasi penurunan energi yang hilang akibat *head losses* pada lengkungan S.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Fluida

Fluida adalah zat yang tidak dapat menahan perubahan bentuk (distorsi) secara permanen. Bila kita mencoba mengubah bentuk suatu massa fluida, maka di dalam fluida tersebut akan terbentuk lapisan-lapisan dimana lapisan yang satu akan mengalir di atas lapisan yang lain, sehingga tercapai bentuk baru. Menurut Raswari (1986), fluida merupakan suatu zat atau bahan yang dalam keadaan setimbang tak dapat menahan gaya atau tegangan geser (*shear force*). Selama perubahan bentuk tersebut, terdapat tegangan geser (*shear stress*) yang besarnya bergantung pada viskositas fluida dan laju alir fluida relatif terhadap arah tertentu. Bila fluida telah mendapatkan bentuk akhirnya, semua tegangan geser tersebut akan hilang sehingga fluida berada dalam keadaan kesetimbangan. Pada temperatur dan tekanan tertentu, setiap fluida mempunyai densitas tertentu. Jika densitas hanya sedikit terpengaruh oleh perubahan suhu dan tekanan yang relatif besar, fluida tersebut bersifat *incompressible*. Tetapi jika densitasnya peka terhadap perubahan variabel temperatur dan tekanan, fluida tersebut digolongkan *compressible*. Zat cair biasanya dianggap zat yang *incompressible*, sedangkan gas umumnya dikenal sebagai zat yang *compressible* (Modul ITB, 2001).

Pada aliran fluida dikenal 2 istilah yaitu fluida statis dan fluida dinamis. Fluida statis adalah fluida yang tidak bergerak atau dalam keadaan diam, misalnya air dalam gelas. Dalam fluida statis kita mempelajari hukum-hukum dasar antara lain mengenai tekanan hidrostatis, hukum Archimedes, tegangan permukaan dan kapilaritas. Fluida dinamis adalah fluida bergerak terutama cairan dan gas. Penyelesaian dari masalah dinamika fluida biasanya melibatkan perhitungan banyak properti dari fluida, seperti kecepatan, kepadatan, tekanan, dan suhu sebagai fungsi ruang dan waktu. Dinamika fluida memiliki aplikasi yang luas. Contohnya digunakan dalam menghitung gaya dan momen pada pesawat, *mass flow rate* dari petroleum dalam jalur pipa, perkiraan pola cuaca, dan bahkan teknik lalu lintas, dimana lalu lintas diperlakukan sebagai fluida

yang berkelanjutan. Dinamika fluida menawarkan struktur matematika yang membawahi disiplin praktis tersebut yang juga seringkali memerlukan hukum empirik dan semi-empirik, diturunkan dari pengukuran arus, untuk menyelesaikan masalah praktikal.

2.1.1 Sifat Dasar Fluida

Cairan dan gas disebut fluida, sebab zat cair tersebut dapat mengalir. Untuk mengerti aliran fluida maka harus mengetahui beberapa sifat dasar fluida. Adapun sifat-sifat dasar fluida yaitu; kerapatan (*density*), tekanan (*pressure*), dan kekentalan (*viscosity*).

a. Kerapatan (*density*)

Kerapatan adalah suatu sifat karakteristik setiap bahan murni. Benda tersusun atas bahan murni, misalnya emas murni, yang dapat memiliki berbagai ukuran ataupun massa, tetapi kerapatannya akan sama untuk semuanya. Kerapatan atau *density* dinyatakan dengan ρ (*rho*) yang dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara massa per satuan volume, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\rho = m/V \text{ [Kg/m}^3\text{]} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana : ρ = kerapatan (Kg/m³)

m = massa (Kg)

V = Volume (m³) .

Besar nilai rapat jenis dipengaruhi oleh temperatur, semakin tinggi temperatur maka kerapatan fluida akan berkurang dikarenakan gaya kohesi dari molekul-molekul fluida menjadi berkurang.

b. Tekanan (*Pressure*)

Tekanan didefinisikan sebagai gaya per satuan luas, dengan gaya F dianggap bekerja secara tegak lurus terhadap luas permukaan A (Malau, 2012), maka:

$$P = \frac{F}{A} \text{ [N/m}^2\text{]} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana : P = Tekanan (N/m²)

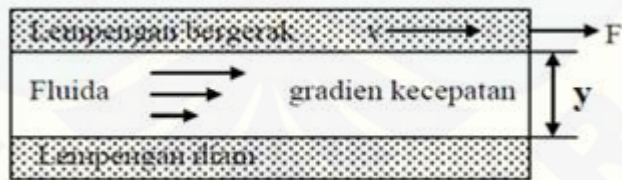
F = Gaya (N)

A = Luas Permukaan (m²)

c. Kekentalan (*viscosity*)

Menurut Olson dan Wrihgt (1993:21) kekentalan merupakan ukuran ketahanan sebuah fluida terhadap deformasi atau perubahan bentuk. Viskositas suatu gas bertambah dengan naiknya temperatur karena makin besarnya aktivitas molekuler ketika temperatur meningkat.

Kekentalan fluida yang berbeda dapat dinyatakan secara kuantitatif dengan koefisien kekentalan, μ yang didefinisikan dengan cara fluida diletakkan di antara dua lempengan datar. Salah satu lempengan diam dan yang lain dibuat bergerak. Fluida yang secara langsung bersinggungan dengan masing-masing lempengan ditarik pada permukaannya oleh gaya rekat di antara molekul-molekul cairan dengan kedua lempengan tersebut. Dengan demikian permukaan fluida sebelah atas bergerak dengan laju v yang seperti lempengan atas, sedangkan fluida yang bersinggungan dengan lempengan diam bertahan diam (Chapter 2, 2011). Kecepatan bervariasi secara linear dari 0 hingga v seperti ditunjukkan Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Penentuan Kekentalan (Chapter 2, 2011)

$$\mu = \frac{F/A}{v/y} \text{ [Pa.s]} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana: μ = kekentalan fluida (Pa.s)

F = gaya (kg)

A = luas lempengan bergerak (m^2)

v = kecepatan fluida (m/s)

y = ketinggian fluida (m)

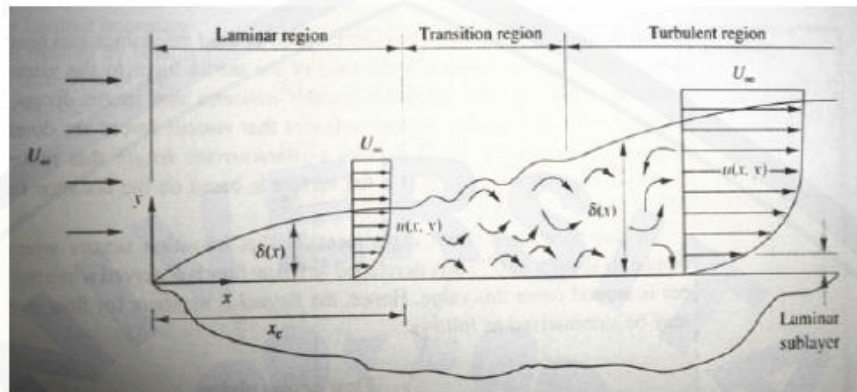
2.1.2 Jenis dan Karakteristik Fluida

Hal yang berhubungan dengan jenis dan karakteristik aliran fluida yang dimaksudkan di sini adalah profil aliran dalam wadah tertutup (pipa umumnya). Profil aliran dari fluida yang melalui pipa, akan dipengaruhi oleh gaya momentum fluida yang membuat fluida bergerak di dalam pipa, gaya *viscous*/gaya gesek yang menahan aliran pada dinding pipa dan fluidanya sendiri (gesekan internal) dan juga dipengaruhi oleh belokan pipa, *valve*, dan sebagainya. Jenis aliran fluida terbagi dalam 2 bagian yaitu aliran laminar dan aliran turbulen.

Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar pada lapisan yang bersebelahan dengan saling bertukar momentum secara molekuler saja. Kecenderungan ke arah ketidakstabilan dan turbulensi diredam habis oleh gaya-gaya geser viskos yang memberikan tahanan terhadap gerakan relatif lapisan-lapisan fluida yang bersebelahan.

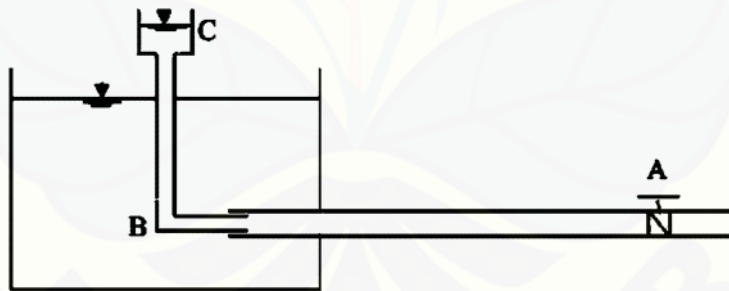
Dalam aliran turbulen, partikel-partikel fluida bergerak dalam lintasan-lintasan yang sangat tidak teratur, dengan mengakibatkan pertukaran momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain. Aliran turbulen dapat berskala kecil yang terdiri dari sejumlah besar pusaran-pusaran kecil yang cepat yang mengubah energi mekanik menjadi ketidakmampubalikan melalui kerja viskos, atau dapat berskala besar seperti pusaran-pusaran besar yang berada di sungai atau hampasan udara. Pusaran-pusaran besar membangkitkan pusaran-pusaran yang kecil yang pada gilirannya menciptakan turbulensi berskala kecil. Aliran turbulen berskala kecil mempunyai fluktuasi-fluktuasi kecil kecepatan yang terjadi dengan frekuensi yang tinggi. Pada umumnya, intensitas turbulensi meningkat dengan meningkatnya bilangan Reynolds. Aliran akan mengalami proses transisi dari aliran laminar ke aliran turbulen sebelum

aliran tersebut turbulen. Pada aliran internal, aliran transisi dari aliran laminer ke aliran turbulen seperti pada Gambar 2.2.



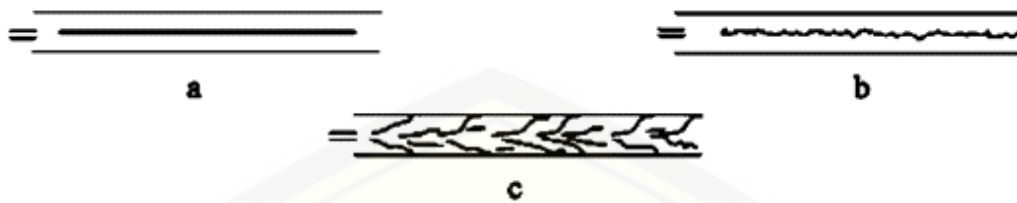
Gambar 2.2 Proses Berkembangnya Aliran di Atas Plat (White, 1986)

Pada tahun 1884 Osborn Reynolds (Triatmojo, 1996 : 3) melakukan percobaan untuk menunjukkan sifat-sifat aliran laminer dan aliran turbulen. Alat yang digunakan terdiri dari pipa kaca yang dapat melewati air dengan berbagai kecepatan seperti Gambar 2.3. Aliran tersebut diatur oleh katub A. Pipa kecil B yang berasal dari tabung berisi zat berwarna C. Ujung yang lain berada pada lubang masuk pipa kaca.



Gambar 2.3 Alat Percobaan Osborn Reynolds (Triatmojo, 1996)

Reynolds menunjukkan bahwa untuk kecepatan aliran yang kecil di dalam aliran kaca, zat berwarna akan mengalir dalam suatu garis lurus seperti benang yang sejajar dengan sumbu pipa. Apabila katub dibuka sedikit demi sedikit, kecepatan akan bertambah besar dan benang warna mulai berlubang yang akhirnya pecah dan menyebar pada seluruh aliran dalam pipa seperti Gambar 2.4.



Gambar 2.4 (a) Aliran Laminer, (b) Aliran Transisi, dan (c) Aliran Turbulen
(Triatmojo, 1996)

Kecepatan rata-rata pada benang berwarna mulai pecah disebut kecepatan transisi. Penyebaran dari benang berwarna disebabkan oleh pencampuran dari partikel-partikel zat cair selama pengaliran. Dari percobaan tersebut dapat disimpulkan bahwa pada kecepatan kecil, pencampuran tidak terjadi dan partikel-partikel zat cair bergerak dalam lapisan-lapisan yang sejajar, keadaan ini disebut aliran laminer. Pada kecepatan yang lebih besar, benang berwarna menyebar pada seluruh penampang pipa, dan terlihat bahwa pencampuran dari partikel-partikel zat cair terjadi, keadaan ini disebut aliran turbulen. Untuk mengetahui jenis aliran fluida dilakukan dengan apa yang disebut dengan bilangan Reynolds (Re) dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana : Re = bilangan Reynolds

ρ = massa zat cair (kg/m^3)

v = kecepatan aliran fluida (m/s)

D = diameter (m)

μ = kekentalan zat cair (kg/m.s)

Besarnya bilangan Reynold yang terjadi pada suatu aliran dalam pipa dapat menunjukkan apakah profil aliran tersebut laminer atau turbulen. Biasanya angka $Re < 2000$ merupakan batas aliran laminer dan angka lebih besar dari $Re > 4000$ dikatakan aliran turbulen. Sedangkan Re di antara keduanya dinyatakan sebagai aliran transisi. Karakteristik lain yang mempengaruhi pengukuran laju aliran adalah temperatur dan tekanan fluida tersebut, khususnya bila fluida tersebut adalah fluida gas. Hal ini

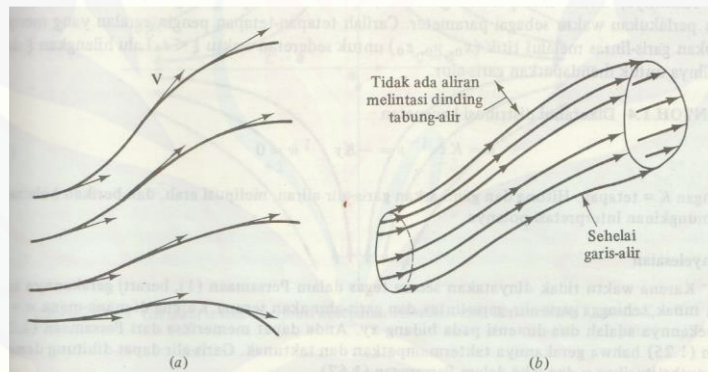
disebabkan karena massa jenis (ρ) fluida gas sangat dipengaruhi oleh kedua besaran yang disebutkan di atas.

2.1.3 Aliran dalam Tabung

Jika fluida tidak mempunyai kekentalan, fluida dapat mengalir melalui tabung atau pipa mendatar tanpa memerlukan gaya. Oleh karena itu adanya kekentalan, perbedaan tekanan antara kedua ujung tabung diperlukan untuk aliran mantap setiap fluida nyata, misalnya air atau minyak di dalam pipa. Laju alir dalam tabung bulat bergantung pada kekentalan fluida, perbedaan tekanan, dan dimensi tabung.

a. Persamaan kontinuitas

Gerak fluida di dalam suatu tabung aliran haruslah sejajar dengan dinding tabung. Meskipun besar kecepatan fluida dapat berbeda dari suatu titik ke titik lain di dalam tabung. Pada Gambar 2.5 menunjukkan tabung aliran untuk membuktikan persamaan kontinuitas (White, 1986:39).



Gambar 2.5 Tabung Aliran Membuktikan Persamaan Kontinuitas (White, 1986)

Pada Gambar 2.5, misalkan pada titik P besar kecepatan adalah v_1 , dan pada titik Q adalah v_2 . Kemudian A_1 dan A_2 adalah luas penampang tabung aliran tegak lurus pada titik Q. Di dalam interval waktu Δt sebuah elemen fluida mengalir kira-kira sejauh $v\Delta t$. Maka massa fluida Δm_1 yang menyeberangi A_1 selama interval waktu Δt adalah:

$$\Delta m = \rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1 \cdot \Delta t \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan kata lain massa $\Delta m_1/\Delta t$ adalah kira-kira sama dengan $\rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1$. Kita harus mengambil Δt cukup kecil sehingga di dalam interval waktu ini baik v maupun A tidak berubah banyak pada jarak yang dijalani fluida, sehingga dapat ditulis massa di titik P adalah $\rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1$ dan massa di titik Q adalah $\rho_2 \cdot A_2 \cdot v_2$, dimana ρ_1 dan ρ_2 berturut-turut adalah kerapatan fluida di P dan Q.

Karena tidak ada fluida yang berkurang dan bertambah maka massa yang menyeberangi setiap bagian tabung per satuan waktu haruslah konstan. Maka massa di titik P haruslah sama dengan massa di titik Q, sehingga dapat ditulis sebagai berikut.

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot V_2 \quad , \text{ dimana } \rho_1 = \rho_2 \dots\dots\dots (2.6)$$

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \dots\dots\dots (2.7)$$

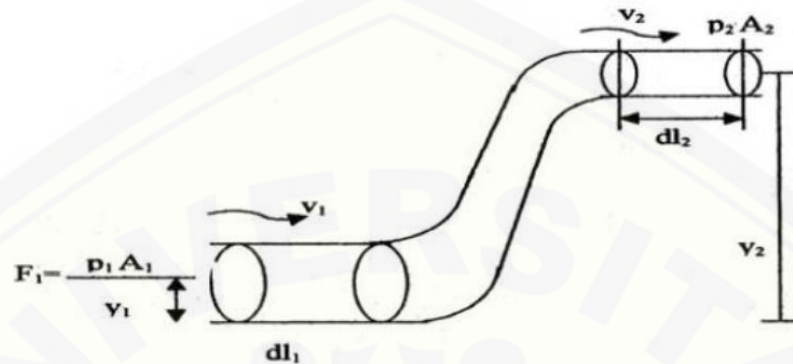
Sehingga persamaan (2.7) dikenal dengan persamaan kontinuitas.

b. Persamaan Bernoulli

Prinsip Bernoulli adalah sebuah istilah di dalam mekanika fluida yang menyatakan bahwa pada suatu aliran fluida, peningkatan pada kecepatan fluida akan menimbulkan penurunan tekanan pada aliran tersebut. Prinsip ini sebenarnya merupakan penyederhanaan dari Persamaan Bernoulli yang menyatakan bahwa jumlah energi pada suatu titik di dalam suatu aliran tertutup sama besarnya dengan jumlah energi di titik lain pada jalur aliran yang sama (Andhy, 2013). Azas Bernoulli menyatakan bahwa pada pipa mendatar, tekanan fluida paling besar adalah pada bagian yang kelajuan alirannya paling kecil. Sebaliknya, tekanan paling kecil adalah pada bagian yang kelajuan alirannya paling besar.

Suatu persamaan yang banyak dipakai, yang menghubungkan tekanan, kecepatan, dan elevasi bermula di masa Daniel Bernoulli dan Leonhard Euler dalam abad ke-18. Persamaan Bernoulli merupakan persamaan dasar dari dinamika fluida di mana berhubungan dengan tekanan (p), kecepatan aliran (v) dan ketinggian (h), dari suatu pipa yang fluidanya bersifat tak kompresibel dan tak

kental, yang mengalir dengan aliran yang tak turbulen. Tinjau aliran fluida pada pipa dengan ketinggian yang berbeda seperti Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Tabung Aliran Fluida (Dilah, 2009)

Bagian sebelah kiri pipa mempunyai luas penampang A_1 dan sebelah kanan pipa mempunyai luas penampang A_2 . Fluida mengalir disebabkan oleh perbedaan tekanan yang terjadi padanya. Pada bagian kiri fluida terdorong sepanjang dl_1 akibat adanya gaya $F_1 = A_1 p_1$ sedangkan pada bagian kanan dalam selang waktu yang sama akan berpindah sepanjang dl_2 (Dilah, 2009).

Usaha yang dilakukan oleh gaya F_1 adalah $dW_1 = A_1 \cdot p_1 \cdot dl_1$ sedangkan pada bagian kanan usahanya $dW_2 = -A_2 \cdot p_2 \cdot dl_2$, dimana:

$$dW_1 + dW_2 = A_1 \cdot p_1 \cdot dl_1 - A_2 \cdot p_2 \cdot dl_2 \dots\dots\dots (2.8)$$

Sehingga usaha totalnya adalah:

$$W_1 + W_2 = A_1 \cdot p_1 \cdot l_1 - A_2 \cdot p_2 \cdot l_2 \dots\dots\dots (2.9)$$

Bila massa fluida yang berpindah adalah m dan rapat massa fluida adalah ρ , maka diperoleh persamaan:

$$W = (\rho_1 - \rho_2) \frac{m}{\rho} \dots\dots\dots (2.10)$$

Persamaan di atas merupakan usaha total yang dilakukan oleh fluida. Bila fluida bersifat tak kental, maka tak ada gaya gesek sehingga kerja total tersebut merupakan perubahan energi mekanik total pada fluida yang bermassa m . besarnya tambahan energi mekanik total adalah:

$$E = \left(\frac{1}{2} m.v_2^2 - \frac{1}{2} m.v_1^2 \right) + (mgh_2 - mgh_1) \dots\dots\dots (2.11)$$

Maka

$$(p_1 - p_2) \frac{m}{\rho} = \left(\frac{1}{2} m.v_2^2 - \frac{1}{2} m.v_1^2 \right) + (mgh_2 - mgh_1)$$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho gh_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho gh_2 \dots\dots\dots (2.12)$$

Sehingga dapat disimpulkan:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho gh_1 = \text{konstan} \dots\dots\dots (2.13)$$

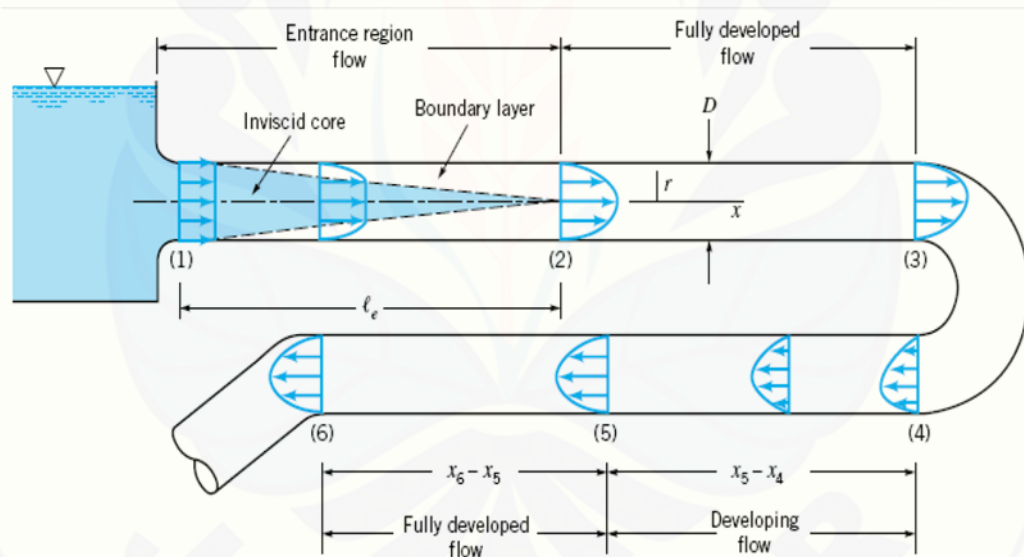
2.2 Sistem Perpipaan

Pipa adalah saluran tertutup yang biasanya berpenampang lingkaran yang digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh (Triatmojo, 1996: 25). Fluida yang dialirkan melalui pipa bisa berupa zat cair atau gas dan tekanan bisa lebih besar atau lebih kecil dari tekanan atmosfer. Apabila zat cair di dalam pipa tidak penuh maka aliran termasuk dalam aliran saluran terbuka karena tekanan di dalam pipa sama dengan tekanan atmosfer (zat cair di dalam pipa tidak penuh), aliran termasuk dalam pengaliran terbuka. Karena mempunyai permukaan bebas, maka fluida yang dialirkan adalah zat cair. Tekanan di permukaan zat cair sepanjang saluran terbuka adalah tekanan atmosfer.

Aliran viskos dapat dibedakan menjadi 2 (dua) macam. Apabila pengaruh kekentalan (viskositas) adalah cukup dominan sehingga partikel-partikel zat cair bergerak secara teratur menurut lintasan lurus maka aliran disebut laminer. Aliran laminer terjadi apabila kekentalan besar dan kecepatan aliran kecil. Dengan berkurangnya pengaruh kekentalan atau bertambahnya kecepatan maka aliran akan berubah dari laminer menjadi turbulen. Pada aliran turbulen partikel-partikel zat cair bergerak secara tidak teratur.

2.3 Daerah Masuk dan Daerah Berkembang Penuh

Setiap fluida yang mengalir dalam sebuah pipa harus memasuki pipa pada suatu lokasi. Daerah aliran di dekat lokasi fluida memasuki pipa disebut sebagai daerah masuk (*entrance region*) seperti diilustrasikan pada Gambar 2.7. Fluida biasanya memasuki pipa dengan profil kecepatan yang hampir seragam pada bagian (1). Sewaktu fluida bergerak melewati pipa, efek viskos menyebabkannya tetap menempel pada dinding pipa (kondisi lapisan batas tanpa slip). Hal ini berlaku baik jika fluidanya adalah udara yang relatif *inviscid* ataupun minyak yang sangat viskos. Jadi, sebuah lapisan batas (*boundary layer*) di mana efek viskos menjadi penting timbul di sepanjang dinding pipa hingga profil kecepatan awal berubah menurut jarak sepanjang pipa x , sampai fluida mencapai ujung akhir dari panjang daerah masuk, bagian (2), di mana setelah di luar itu profil kecepatan tidak berubah lagi menurut x .



Gambar 2.7 Daerah Masuk Aliran Sedang Berkembang dan Aliran Berkembang Penuh pada Sistem Pipa (Munson., et al, 2002)

Lapisan batas semakin tebal sehingga memenuhi pipa secara menyeluruh. Efek viskos sangat penting di dalam lapisan batas. Untuk fluida di luar lapisan batas [di dalam inti *inviscid/inviscid core* yang mengelilingi garis sumbu dari (1) ke (2)], efek viskos dapat diabaikan. Medan aliran di mana tegangan geser diasumsikan dapat

diabaikan dikatakan sebagai *inviscid*, *nonviskos* atau tanpa gesekan. Bentuk dari profil kecepatan di dalam pipa tergantung pada apakah aliran laminar atau turbulen, sebagaimana pula panjang daerah masuk, l_e . Seperti pada banyak sifat lainnya dari aliran pipa, panjang masuk tak berdimensi, l_e/D , berkorelasi cukup baik dengan bilangan Reynolds. Panjang masuk pada umumnya diberikan oleh hubungan:

$$\frac{l_e}{D} = 0,06 Re \quad \text{untuk aliran laminar} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dan

$$\frac{l_e}{D} = 4,4 (Re)^{1/6} \quad \text{untuk aliran turbulen} \dots\dots\dots (2.15)$$

Untuk aliran-aliran dengan bilangan Reynolds sangat rendah panjang masuk dapat sangat pendek ($l_e = 0,6 D$ jika $Re = 10$), sementara untuk aliran-aliran dengan bilangan Reynolds besar daerah masuk tersebut dapat sepanjang berkali-kali diameter pipa sebelum ujung akhir dari daerah masuk dicapai ($l_e = 120 D$ untuk $Re = 2000$). Untuk banyak masalah-masalah teknik praktis $104 < Re < 105$ sehingga $20 D < l_e < 30 D$. Aliran antara (2) dan (3) disebut berkembang penuh (*fully developed*). Setelah gangguan atas aliran berkembang penuh pada bagian (4), aliran secara bertahap mulai kembali ke sifat berkembang penuh (5) dan terus dengan profil ini sampai komponen pipa berikutnya dicapai (6).

2.4 Kehilangan Energi (*Head Losses*)

Adanya kekentalan pada fluida akan menyebabkan terjadinya tegangan geser pada waktu bergerak. Tegangan geser ini akan merubah sebagian energi aliran menjadi bentuk energi lain seperti panas, suara dan sebagainya. Pengubahan bentuk energi tersebut menyebabkan terjadinya kehilangan energi. *Head losses* adalah *head* atau kerugian-kerugian dalam aliran pipa yang terdiri atas *head losses mayor* dan *head losses minor* (Sularso, 2000).

$$H = h_f + h_m \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana : $H = \text{head losses (m)}$

$h_f = \text{head losses mayor (m)}$

$h_m = \text{head losses minor (m)}$

2.4.1 Head Losses Mayor

Head losses mayor adalah kehilangan tekanan akibat gesekan aliran fluida pada sistem aliran dengan luas penampang tetap atau konstan. Aliran fluida yang melalui pipa akan selalu mengalami kerugian *head*. Hal ini disebabkan gesekan yang terjadi antara fluida dengan dinding pipa atau perubahan kecepatan yang dialami oleh fluida. Kerugian *head* akibat gesekan fluida dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Darcy-Weisbach (White, 1988) yaitu:

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana : $h_f = \text{head losses mayor (m)}$

$f = \text{faktor gesekan (Diagram Moody)}$

$L = \text{panjang pipa (m)}$

$D = \text{diameter pipa (m)}$

$v = \text{kecepatan (m/s)}$

$g = \text{gravitasi bumi (m/s}^2\text{)}$

Diagram Moody telah digunakan untuk menyelesaikan permasalahan aliran fluida dalam pipa dengan menggunakan faktor gesekan pipa (f) dari rumus Darcy-Weisbach. Untuk aliran laminar dimana bilangan Reynold kurang dari 2300 ($Re < 2300$), faktor gesekan pada persamaan 2.18 dihubungkan dengan bilangan Reynold, dengan rumus:

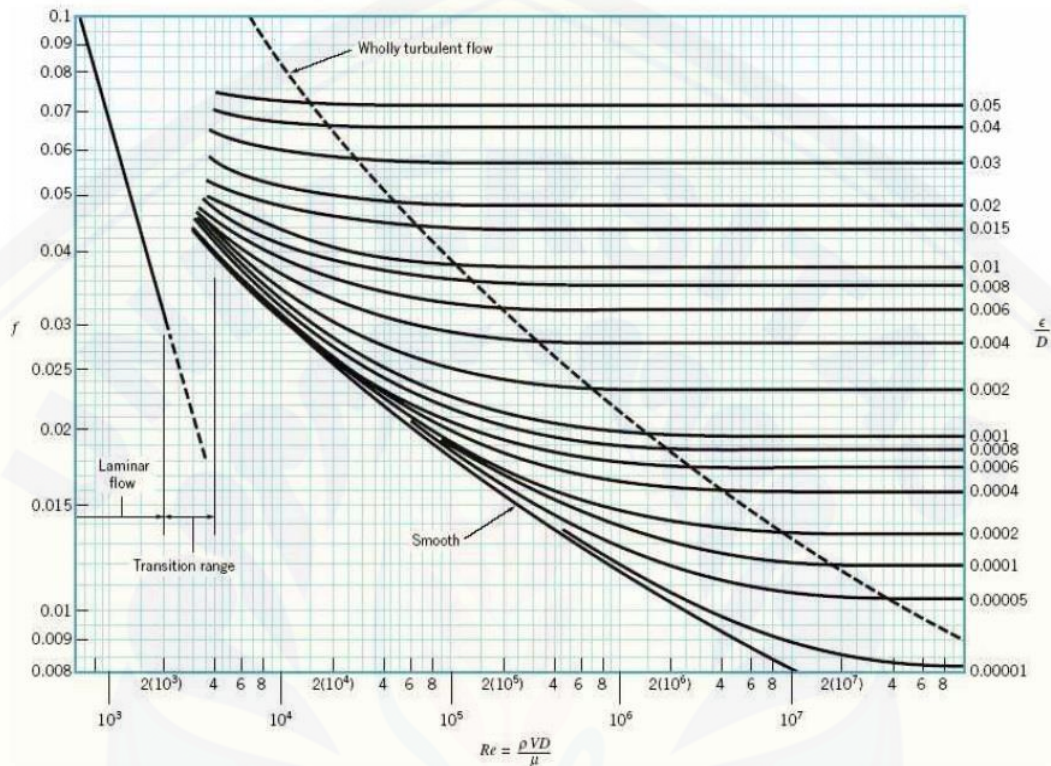
$$f = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana : $f = \text{faktor gesekan pipa}$

$Re = \text{bilangan Reynold}$

Untuk aliran turbulen dimana bilangan Reynold lebih besar dari 4000 ($Re > 4000$), maka fungsional dari faktor gesekan (f) pada persamaan 2.18 tergantung pada

bilangan Reynold dan kekasaran relatif, $f = \phi(Re, \epsilon/D)$. nilai ϵ untuk pipa PVC adalah 0,0015–0,007 mm.



Gambar 2.8 Diagram Moody (Munson., *et al*, 2002)

2.4.2 Head Losses Minor

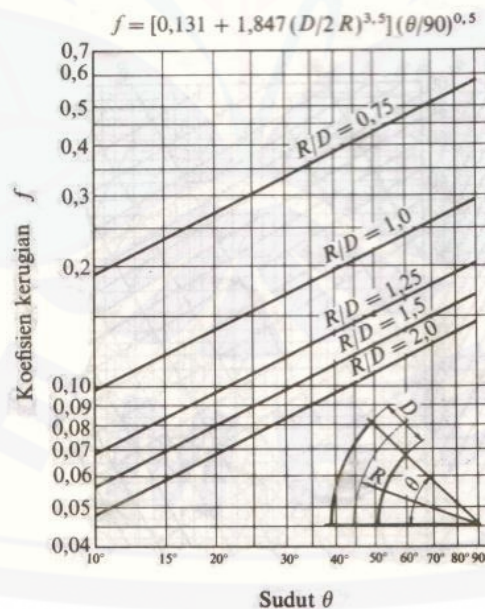
Untuk setiap sistem pipa, selain kerugian tipe Moody yang dihitung untuk seluruh panjang pipa, ada pula yang dinamakan kerugian kecil (*head losses minor*). *Head losses minor* adalah kehilangan tekanan akibat gesekan yang terjadi pada katup, sambungan T (*tee*), belokan, dan luas penampang yang tidak konstan. Karena pola aliran dalam katup maupun sambungan cukup rumit, teorinya sangat lemah. Kerugian ini biasanya diukur secara eksperimental dan dikorelasikan dengan parameter-parameter aliran dalam pipa. Kerugian kecil terukur biasanya diberikan sebagai nisbah kerugian hulu. Belokan pada pipa menghasilkan kerugian *head* yang lebih besar dari pada jika pipa lurus. Kerugian-kerugian tersebut disebabkan daerah-daerah aliran yang

terpisah di dekat sisi dalam belokan (khususnya jika belokan tajam) dan aliran sekunder yang berpusar karena ketidakseimbangan gaya-gaya sentripetal akibat kelengkungan sumbu pipa. Ada dua macam belokan pipa, yaitu belokan lengkung atau belokan patah (*mitter* atau *multi-piece bend*). Untuk belokan lengkung sering dipakai rumus Fuller (Sularso, 2000), dimana nilai dari koefisien kerugian dinyatakan sebagai:

$$k_{kb} = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2R} \right)^{3,5} \right] \left(\frac{\theta}{90} \right)^{0,5} \dots\dots\dots (2.19)$$

- Dimana :
- k_{kb} = koefisien kerugian belokan
 - D = diameter pipa(m)
 - R = jari – jari belokan pipa (m)
 - θ = sudut belokan (derajat)

Berikut adalah gambar rerugi kelokan tambahan, dimana terjadi variasi koefisien kerugian karena pengaruh perubahan bilangan Reynoldnya. Sebagaimana terlihat pada Gambar 2.9, perbandingan jari-jari kelokan dengan diameter (r/d) juga mempengaruhi besar kerugiannya.



Gambar 2.9 Koefisien Kerugian pada Belokan (Sularso, Haruo Tahara, 2000)

Kemudian untuk mengetahui *head losses minor* dapat menggunakan persamaan di bawah ini (White, 1988)

$$h_m = k_{kb} \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana : $h_m = \text{head losses minor (m)}$

$k_{kb} = \text{koefisien kerugian belokan (m)}$

$v = \text{kecepatan (m/s)}$

$g = \text{gravitasi bumi (m/s}^2\text{)}$

2.5 Pressure Drop (Penurunan Tekanan)

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 berlawanan sedikit (kurang tekanan). Pada aliran satu fase, *pressure drop* dipengaruhi oleh bilangan Reynold yang merupakan fungsi dari viskositas, densitas fluida, dan diameter pipa.

Secara matematis *pressure drop* pada pipa horizontal adalah sebagai berikut:

$$\Delta P = \rho g \Delta h \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana : $\Delta P = \text{pressure drop (N/m}^2\text{)}$

$\rho = \text{massa jenis fluida (kg/m}^3\text{)}$

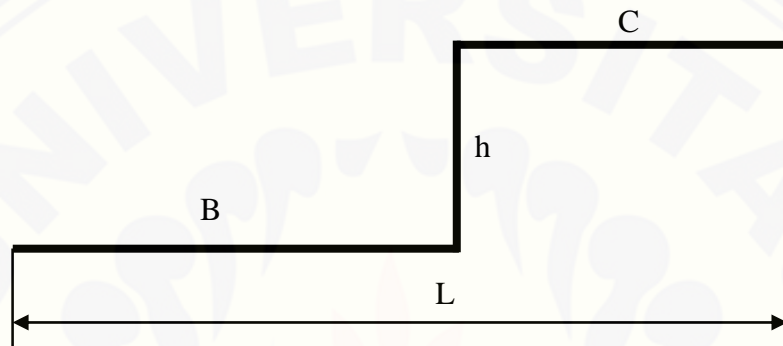
$g = \text{gravitasi (m/s}^2\text{)}$

$\Delta h = \text{selisih ketinggian pada manometer (m)}$

2.6 Lengkungan S

Menurut (Raswari, 1986) pemanasan pipa tentu akan menimbulkan perpanjangan begitu pula dengan pendinginan pipa akan menimbulkan perpendekan.

Perpanjangan dan perpendekan inilah yang akan menimbulkan masalah fleksibilitas dan tegangan dalam sistem perpipaan. Dalam meningkatkan fleksibilitas pipa yang cukup, maka di dalam sistem perpipaan akan digunakan *loops* atau bentuk lengkungan-lengkungan pipa. Tipe lengkungan atau *loops* pada sistem perpipaan salah satunya adalah lengkungan S seperti pada dalam Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Lengkungan S

Dimana dalam merancang fleksibilitas pada lengkungan S dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$h_{\min}^2 = \frac{0,762}{1000} DoLT \dots\dots\dots (2.22)$$

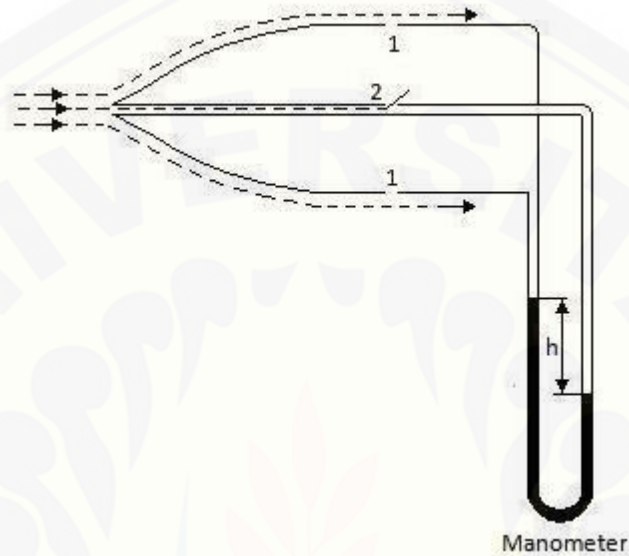
$$L_{maks} = \frac{400(h^2)}{0,3048 DoT} \dots\dots\dots (2.23)$$

Dengan syarat : $B/C \geq 4$ dan $L = B + C$

- Dimana :
- Do = Diameter (inci)
 - L = panjang (m)
 - T = suhu (°F)
 - h = tinggi (m)

2.7 Tabung Pitot (Pitot Tube)

Tabung pitot adalah alat ukur yang kita gunakan untuk mengukur kelajuan gas/udara. Seperti pada Gambar 2.11 di bawah ini :



Gambar 2.11 Bentuk dan Penempatan Tabung Pitot dan Pipa U (Agriethra, 2011)

Lubang pada titik 1 sejajar dengan aliran udara. Posisi kedua lubang ini dibuat cukup jauh dari ujung tabung pitot, sehingga laju dan tekanan udara di luar lubang sama seperti laju dan tekanan udara yang mengalir bebas. Dalam hal ini, v_1 = laju aliran udara yang mengalir bebas (ini yang akan kita ukur), dan tekanan pada kaki kiri manometer (pipa bagian kiri) = tekanan udara yang mengalir bebas (P_1). Lubang yang menuju ke kaki kanan manometer, tegak lurus dengan aliran udara. Karenanya, laju aliran udara yang melewati lubang ini (bagian tengah) berkurang dan udara berhenti ketika tiba di titik 2. Dalam hal ini, $v_2 = 0$. Tekanan pada kaki kanan manometer sama dengan tekanan udara di titik 2 (P_2) (Agriethra, 2011).

$$P_1 + \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad , \text{dimana } v_2 = 0 \dots\dots\dots (2.24)$$

$$P_1 + \rho v_1^2 = P_2 \quad \text{Persamaan 1} \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana : ρ = massa jenis udara (kg/m^3)

Perbedaan tekanan ($P_2 - P_1$) = tekanan hidrostatis zat cair dalam manometer (warna hitam dalam manometer adalah zat cair). Secara matematis bisa ditulis sebagai berikut:

$$P_1 - P_2 = \rho'gh \quad \text{Persamaan 2..... (2.26)}$$

Dimana : ρ' = massa jenis zat cair dalam manometer (kg/m^3)

Maka dapat dijadikan persamaan seperti di bawah ini :

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 = \rho'gh \quad \text{..... (2.27)}$$

$$v_1^2 = \frac{2\rho'gh}{\rho} \quad \text{..... (2.28)}$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2\rho'gh}{\rho}} \quad \text{..... (2.29)}$$

2.8 Blower

Blower adalah mesin atau alat yang digunakan untuk menaikkan atau memperbesar tekanan udara atau gas yang akan dialirkan dalam suatu ruangan tertentu juga sebagai pengisapan atau pemvakuman udara atau gas tertentu. Bila untuk keperluan khusus, blower kadang-kadang diberi nama lain misalnya untuk keperluan gas dari dalam *oven kokas* disebut dengan nama *exhouter*. Di industri-industri kimia alat ini biasanya digunakan untuk mensirkulasikan gas-gas tertentu di dalam tahap proses-proses secara kimiawi dikenal dengan nama *booster* atau *circulator* (Chapter 2, 2010). Secara umum blower dapat diklasifikasikan menjadi dua macam yaitu :

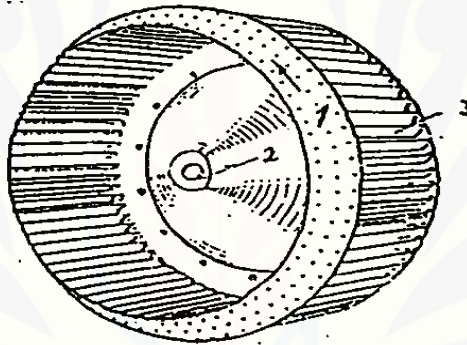
2.8.1 Sentrifugal Blower

Blower sentrifugal pada dasarnya terdiri dari satu *impeller* atau lebih yang dilengkapi dengan sudu-sudu yang dipasang pada poros yang berputar yang diselubungi oleh sebuah rumah (*casing*). Udara memasuki ruang *casing* secara

horizontal akibat perputaran poros maka ruang pipa masuk menjadi vakum lalu udara dihembuskan keluar. Dari bentuk sudut (*blade*) *impeller* ada 2 jenis yaitu :

a. *Forward Curved Blade*

Forward Curved adalah bentuk *blade* yang arah lengkungan bagian ujung terpasang di atas searah dengan putaran roda. Pada *forward curved* terdapat susunan *blade* secara paralel (*multi blade*) keliling *shroud*. Karena bentuknya, maka pada jenis ini udara atau gas meninggalkan *blade* dengan kecepatan yang tinggi sehingga mempunyai *discharge velocity* yang tinggi dan setelah melalui *housing scroll* sehingga diperoleh energi potensial yang besar. Bagan konstruksi alat ini diperlihatkan pada Gambar 2.12



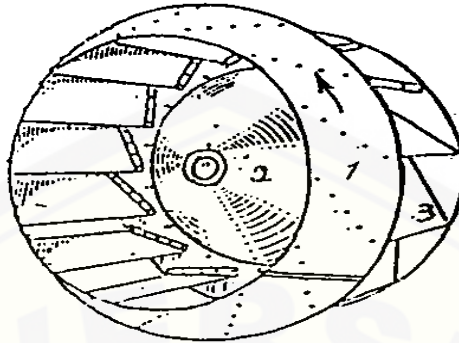
Gambar 2.12 *Forward Curved Blade* (Manurung B.H., 2012)

Keterangan Gambar 2.12 :

1. *Shroud*
2. *Hub* (pusat)
3. *Blade* (bilah/pisau)

b. *Backward Curved Blade*

Tipe ini mempunyai susunan *blade* yang sama dengan *forward curved blade*, hanya arah dan *sudu blade* akan mempunyai sudut yang optimum dan merubah energi kinetik ke energi potensial (tekanan secara langsung). Blower ini didasarkan pada kecepatan sedang, akan tetapi memiliki *range* tekanan dan volume yang lebar sehingga membuat jenis ini sangat efisien untuk *ventilator*. Untuk jelasna dapat diperlihatkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 *Backward Curved Blade* (Manurung B.H., 2012)

Keterangan gambar 2.13 :

1. *Shroud*
2. *Hub* (pusat)
3. *Blade* (bilah / pisau)

Di dalam pemakaiannya dirancang untuk tekanan statis yang tinggi pada kapasitas yang kecil. Namun demikian perkembangan saat ini jenis bentuk *radial blade* dibuat pelayanan tekanan dan kecepatan putaran tinggi.

2.8.2 *Positive Displacement Blower*

Pada dasarnya blower jenis ini udara atau gas dipindahkan volume per volume dalam ruangan yang disebabkan adanya pergerakan elemen *impeller* yang berputar karena adanya penambahan massa udara atau gas yang dipindahkan. Yang termasuk dalam *positive displacement blower* adalah *vane blower*.

2.9 Penelitian Terdahulu

Menurut (Eka W. H., 2014) banyak cara yang telah ditempuh dalam rangka meminimalisir kadar emisi gas buang kendaraan bermotor. Agar kadar emisi gas buang rendah, maka pembakaran campuran udara dan bahan bakar di dalam mesin harus sempurna. Pembakaran sempurna, dapat terjadi apabila campuran udara dan bahan bakar homogen. *Intake manifold* (saluran masuk) merupakan saluran tempat masuknya udara dan bahan bakar sebelum masuk ke ruang bakar. Bentuk *intake manifold* ini sedikit banyak juga mempengaruhi homogenitas campuran udara dan bahan bakar.

Oleh karena itu penelitian ini bertujuan mengetahui seberapa besar pengaruh variasi sudut *elbow intake manifold* dengan sudut *elbow* 180°, sudut *elbow* 225° dan sudut *elbow* 270° terhadap emisi gas buang dan konsumsi bahan bakar pada sepeda motor Honda Supra X tahun 2002.

Dari studi hasil penelitian, analisa dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *intake manifold* dengan variasi sudut *elbow* lebih baik dibandingkan dengan *intake manifold* standar dari segi emisi gas buang yang dihasilkan serta konsumsi bahan bakar (*fc*) sepeda motor Honda Supra X tahun 2002 dimana Konsumsi bahan bakar pada *intake manifold* variasi mengalami penurunan dibandingkan *intake manifold* standar. Penurunan *intake manifold* variasi 1, 2, dan 3 masing-masing sebesar 13,33 %, 2,68 %, dan 16,99 % dan dari ketiga variasi sudut *elbow* yaitu variasi 1, 2 dan 3 yang paling baik mereduksi emisi gas buang dibandingkan dengan *intake manifold* standar pada sepeda motor Honda Supra X tahun 2002 yaitu *intake manifold* variasi 1. Hal ini disebabkan pada *intake manifold* variasi 1 membentuk sudut *elbow* 180° sehingga aliran yang dihasilkan lebih turbulen dibandingkan *intake manifold* standar, serta *intake manifold* variasi 1 lebih pendek dari variasi 2 dan 3, sehingga kerugiannya kecil dibandingkan dengan variasi 2 dan 3.

Menurut (Bayu, 2014) *Intake manifold* merupakan bagian kendaraan tempat mengalirnya udara dan bahan bakar dari karburator menuju ruang pembakaran melalui katup masuk. Untuk mendapatkan aliran turbulen diperlukan adanya modifikasi pada bagian mesin, salah satunya modifikasi pada *intake manifold*. Apabila aliran bahan bakar menjadi turbulen maka campuran bahan bakar menjadi homogen atau sempurna. Untuk itu dilakukan penelitian dengan mengubah lengkungan *intake manifold* dengan tujuan mengetahui seberapa besar pengaruh terhadap torsi, daya, konsumsi bahan bakar, dan tekanan efektif rata-rata. Penelitian yang dilakukan meliputi kelompok standar dengan sudut lengkung 0°, kelompok eksperimen meliputi variasi 1 dengan sudut lengkung 180°, variasi 2 dengan sudut lengkung 225° dan variasi 3 dengan sudut lengkung 270°. Standar pengujian performa mesin adalah SAE J1349 dengan katup terbuka penuh. Pengujian menggunakan *chasis dynamometer*, *fuel meter*, *rpm couter*,

oil temperature meter, dan *4 in 1 multi function enviroment meter*. Analisa data dilakukan dengan metode deskriptif dengan rpm 3000 – 9000 pada beban penuh untuk mengetahui torsi, daya, konsumsi bahan bakar dan tekanan efektif rata-rata. Data hasil penelitian yang diperoleh dimasukkan dalam tabel dan ditampilkan dalam bentuk grafik selanjutnya dideskripsikan dengan kalimat sederhana. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa menggunakan *intake manifold* variasi 1 meningkatkan performa mesin Supra X tahun 2002, sedangkan menggunakan variasi 2 dan 3 terjadi penurunan performa mesin. Peningkatan torsi rata-rata menggunakan variasi 1 (sudut kelengkungan 180°) sebesar 1,32%. Daya efektif rata-rata meningkat pada variasi 1 dengan persentase sebesar 1,56%. Tekanan efektif rata-rata meningkat pada variasi 1 dengan persentase peningkatan sebesar 1,56%. Konsumsi bahan bakar rata-rata pada variasi 1 menurun sebesar 6,81%..

2.10 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan tinjauan pustaka di atas, maka hipotesis dari penelitian ini adalah jika semakin panjang jarak antara *elbow* 90° dan semakin besar sudut arah keluaran pipa maka nilai *head losses* total yang terjadi pada lengkungan S akan semakin tinggi, hal ini didasarkan karena aliran dalam pipa akan mengalami peningkatan nilai *head losses* seiring dengan bertambahnya panjang pipa dan besar sudut belokan.

BAB 3. METODELOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yaitu metode yang digunakan untuk menguji pengaruh jarak antara kedua *elbow* 90° (lengkungan S) dan arah keluaran *elbow* 90° terhadap penurunan *head losses* pada aliran udara.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, dan waktu penelitian berlangsung selama 3 bulan Mulai bulan Februari s/d April.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut :

1. Blower dengan spesifikasi sebagai berikut :
 - a. Kecepatan : 16000 rpm
 - b. Voltase : 220 V/50 Hz
 - c. *Air Flow* : 2,8 m³/min
 - d. *Air Pressure* : 5,5 KPa
2. *Pitot tube*
3. Manometer U
4. Anemometer
5. Regulator tegangan
6. Penggaris
7. Busur

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut :

1. Memakai fluida udara
2. Menggunakan Pipa PVC 1,75 inci
3. *Elbow* 90°

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas yaitu variabel yang ketentuan nilainya bisa divariasikan sesuai dengan tujuan peneliti. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah jarak antara *elbow* sebesar 3D, 5D, dan 7D serta arah keluaran lengkung S yaitu sudut 0°, 45°, dan 90°.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Penelitian ini mempunyai variabel terikat yang diperoleh dari pengujian *head losses* pada lengkung S dan arah keluaran adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan udara (v)
2. Debit udara (Q)
3. Penurunan tekanan (ΔP)
4. Nilai *head losses* (h)
5. Bilangan Reynold (Re)

3.5 Prosedur Pengujian

3.5.1 Penyusunan Alat Penelitian

Sebelum penelitian ini dilaksanakan terlebih dahulu mempersiapkan dan mengontrol alat dan bahan penelitian. Alat dan bahan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan tempat dudukan alat uji;
2. Memasang blower sesuai dengan tempat yang diinginkan;
3. Mempersiapkan tabung pitot dan manometer U yang akan digunakan untuk mengukur perbedaan ketinggian (Δh) pada manometer U;
4. Mempersiapkan pipa 1,75 inci yang telah divariasi jarak antara kedua *elbow* 90° dan arah keluarannya sesuai skema alat uji;
5. Memasang instalasi alat uji dengan variasi jarak antara kedua *elbow* 90° sebesar 3D dan arah keluaran 0° (lurus) sesuai dengan yang direncanakan;
6. Memasang tabung pitot dan manometer U pada alat uji sesuai dengan titik pengukuran P_1 , P_2 , dan P_3 ;
7. Mengecek semua alat yang dipergunakan pada instalasi seperti blower, manometer U, dan pengatur tegangan voltase blower;
8. Menjalankan dan mengatur tegangan voltase blower dan mencatat beda ketinggian (Δh) yang keluar pada alat ukur manometer U;
9. Mematikan blower;
10. Melepas instalasi alat uji, dan;
11. Mengulang langkah 5 – 10 dengan variasi jarak antara *elbow* sebesar 3D dan arah keluaran belok 45° , jarak antara *elbow* sebesar 3D dan arah keluaran belok 90° , jarak antara *elbow* sebesar 5D dan arah keluaran 0° (lurus), jarak antara *elbow* sebesar 5D dan arah keluaran belok 45° , jarak antara *elbow* sebesar 5D dan arah keluaran belok 90° , jarak antara *elbow* sebesar 7D dan arah keluaran belok 0° (lurus), jarak antara *elbow* sebesar 7D dan arah keluaran belok 45° , dan jarak antara *elbow* sebesar 7D dan arah keluaran belok 90° dengan prosedur yang sama.

3.5.2 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini pengujian dilakukan sebanyak 9 kali yaitu sebagai berikut:

- a. Pengujian *head losses* pada lengkung S dengan menggunakan variasi jarak antara *elbow* sebesar 3D dan arah keluaran searah lurus;

- b. Pengujian *head losses* pada lengkung S dengan menggunakan variasi jarak antara *elbow* sebesar 3D dan arah keluaran belok 45°;
- c. Pengujian *head losses* pada lengkung S dengan menggunakan variasi jarak antara *elbow* sebesar 3D dan arah keluaran belok 90°;
- d. Pengujian *head losses* pada lengkung S dengan menggunakan variasi jarak antara *elbow* sebesar 5D dan arah keluaran searah lurus;
- e. Pengujian *head losses* pada lengkung S dengan menggunakan variasi jarak antara *elbow* sebesar 5D dan arah keluaran belok 45°;
- f. Pengujian *head losses* pada lengkung S dengan menggunakan variasi jarak antara *elbow* sebesar 5D dan arah keluaran belok 90°;
- g. Pengujian *head losses* pada lengkung S dengan menggunakan variasi jarak antara *elbow* sebesar 7D dan arah keluaran searah lurus;
- h. Pengujian *head losses* pada lengkung S dengan menggunakan variasi jarak antara *elbow* sebesar 7D dan arah keluaran belok 45° dan;
- i. Pengujian *head losses* pada lengkung S dengan menggunakan variasi jarak antara *elbow* sebesar 7D dan arah keluaran belok 90°.

1. Tahap persiapan pengambilan data

Setelah proses penyusunan rangkaian alat uji sistem perpipaan sudah selesai, maka dilakukan percobaan atau pengecekan alat uji terlebih dahulu. Pengecekan ini dilakukan agar alat uji bekerja sesuai dengan prosedur yang diinginkan.

2. Tahap Pengambilan Data

Tahapan proses pengambilan data ini adalah sebagai berikut: mengatur blower dengan kecepatan 16000 rpm, mencatat beda ketinggian (Δh) manometer U pada setiap titik yang pengujian, menghitung kecepatan aliran udara, menghitung debit fluida, dan menghitung penurunan tekanan.

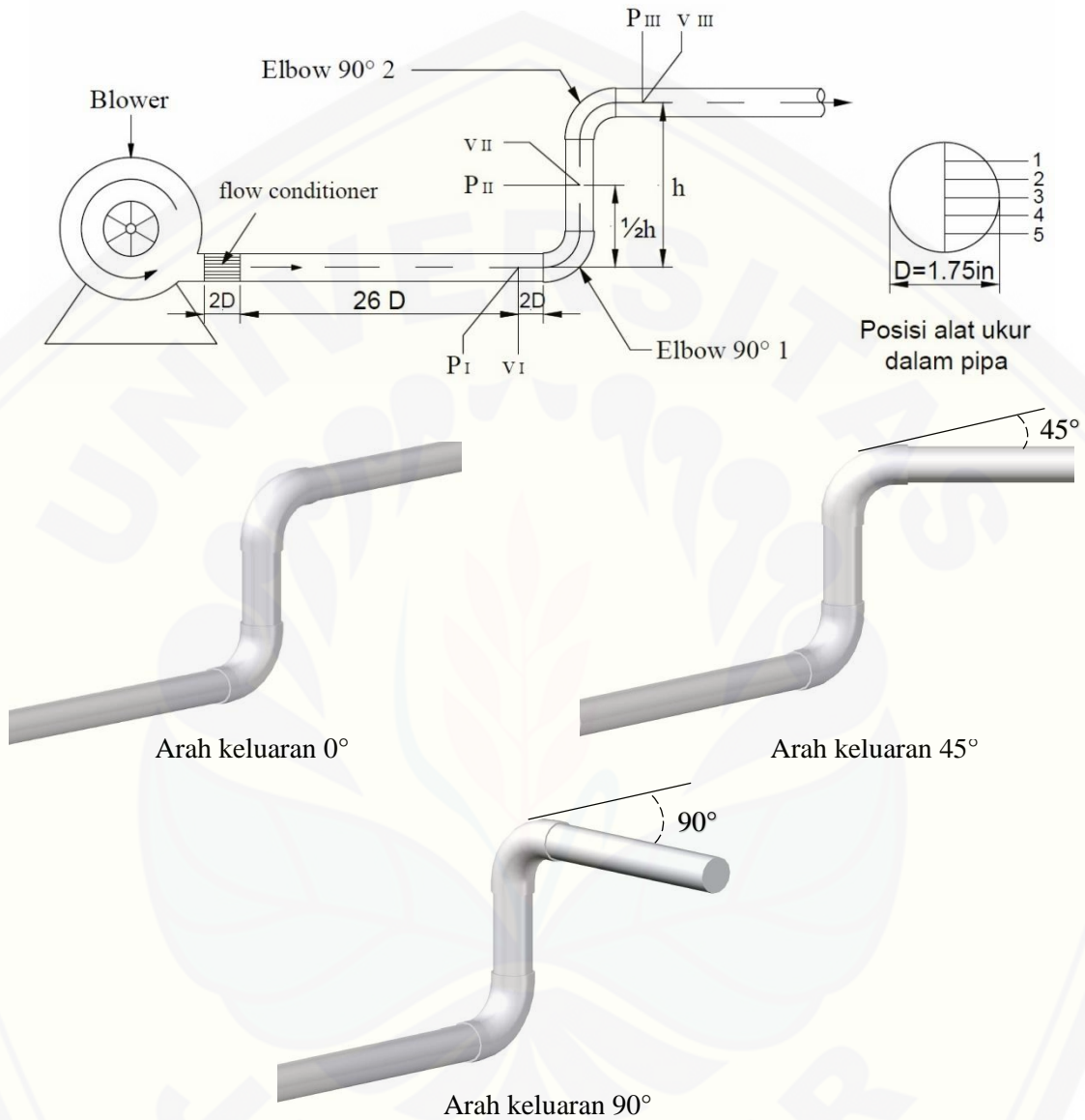
3.5.3 Pengolahan Data

Dari hasil penelitian diperoleh nilai beda ketinggian (Δh) untuk kecepatan dan beda ketinggian (Δh) untuk tekanan pada manometer U dan kemudian dicatat dalam Tabel 3.1. Dari hasil penelitian yang diperoleh tersebut dapat dijadikan sebagai dasar untuk menghitung kecepatan aliran fluida (v), debit fluida (Q), penurunan tekanan (P), dan *head losses* (h) sesuai dengan rumus yang telah ditentukan. Setelah diperoleh hasil perhitungan tersebut akan dibandingkan variasi jarak antara *elbow* 90° dan arah keluarannya pada lengkungan S.

Tabel 3.1 Pengambilan Data pada Lengkungan S

Variasi Jarak antara <i>Elbow</i> 90° dan Arah Keluarannya pada Lengkungan S			
Δh Kecepatan			
P	I	II	III
1			
2			
3			
4			
5			
Δh Tekanan			
P	I	II	III
1			
2			
3			
4			
5			

3.6 Skema Alat Uji



Gambar 3.1 Skema Alat Uji

Keterangan Gambar 3.1 :

P_I = Tekanan I

v_I = Kecepatan I

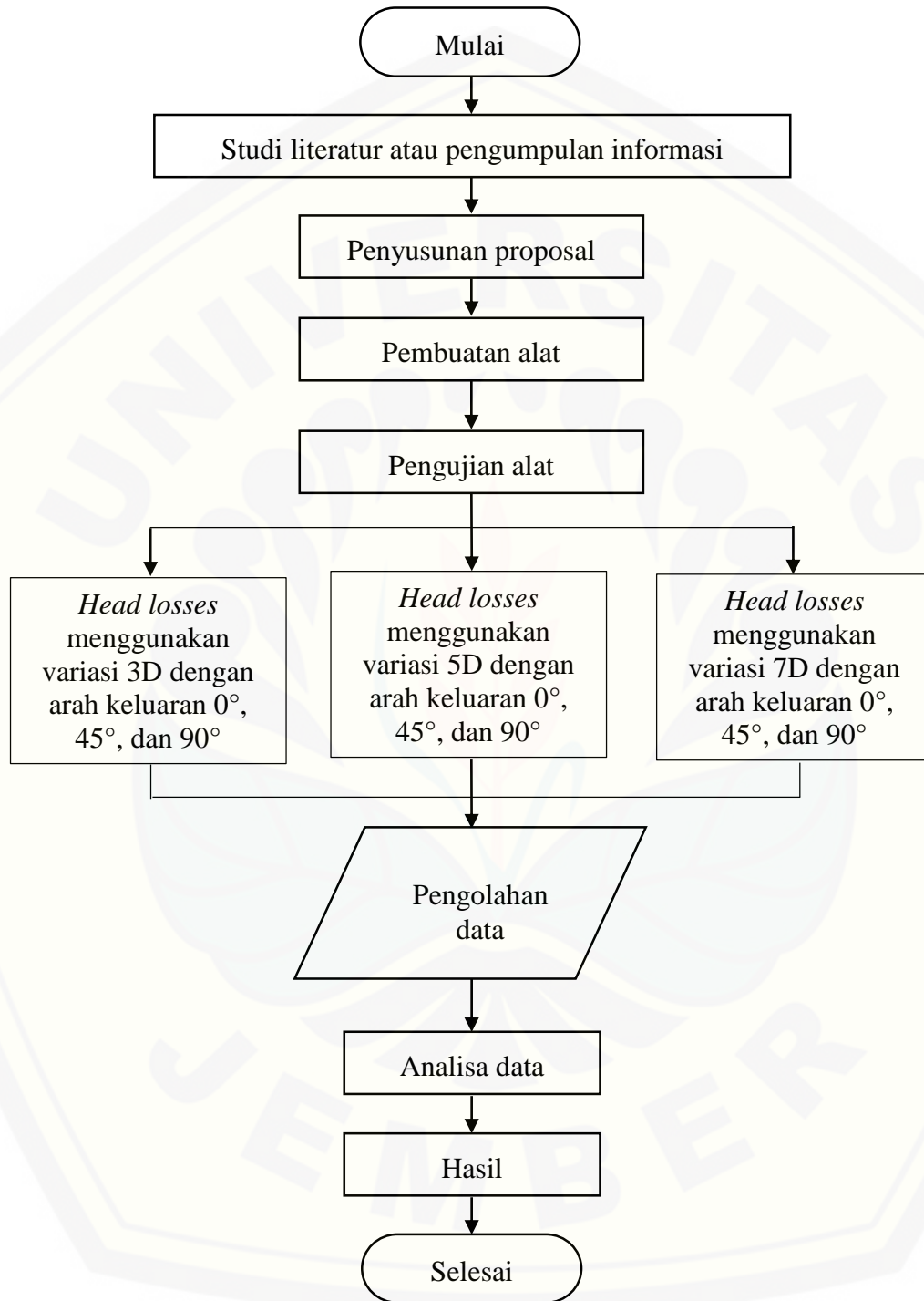
P_{II} = Tekanan II

v_{II} = Kecepatan II

P_{III} = Tekanan III

v_{III} = Kecepatan III

Variasi $h = 3D, 5D, \text{ dan } 7D$

3.7 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.8 Jadwal Rencana Penelitian

Adapun Jadwal Rencana Penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Jadwal Rencana Penelitian

No	Kegiatan	Desember				Januari				Februari				Maret				April				Mei			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur	■	■	■	■																				
2	Pembuatan alat					■	■	■	■																
3	Pengujian Alat									■	■	■	■	■	■	■	■								
4	Analisis Data													■	■	■	■	■	■	■	■				
5	Pemba- hasan																	■	■	■	■	■	■	■	■
6	Laporan																					■	■	■	■

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental yang bertujuan untuk menganalisis bagaimana pengaruh variasi tinggi antara kedua *elbow* 90° (lengkungan S) dan arah keluarannya terhadap perubahan aliran fluida. Dengan penelitian ini diharapkan mampu memperoleh data atau informasi dan hasil yang maksimal. Hasil penelitian adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Hasil Penelitian dari Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 3D dan Arah Keluaran 0°

Δh Kecepatan			
Posisi Alat Ukur	I (m)	II (m)	III (m)
1	0,0155	0,0145	0,0200
2	0,0170	0,0135	0,0180
3	0,0200	0,0120	0,0150
4	0,0175	0,0145	0,0125
5	0,0155	0,0210	0,0135
Δh Tekanan statis			
Posisi Alat Ukur	I (m)	II (m)	III (m)
1	0,0260	0,0180	0,0070
2	0,0230	0,0160	0,0070
3	0,0210	0,0160	0,0080
4	0,0230	0,0175	0,0090
5	0,0260	0,0210	0,0100

Tabel 4.2 Hasil Penelitian dari Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 3D dan Arah Keluaran 45°

Δh Kecepatan			
Posisi Alat Ukur	I (m)	II (m)	III (m)
1	0,0165	0,0140	0,0200
2	0,0170	0,0140	0,0180
3	0,0200	0,0125	0,0150
4	0,0175	0,0150	0,0125
5	0,0150	0,0220	0,0135
Δh Tekanan statis			
Posisi Alat Ukur	I	II	III
1	0,0260	0,0180	0,0065
2	0,0230	0,0165	0,0070
3	0,0210	0,0160	0,0080
4	0,0230	0,0170	0,0090
5	0,0250	0,0200	0,0010

Tabel 4.3 Hasil Penelitian dari Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 3D dan Arah Keluaran 90°

Δh Kecepatan			
Posisi Alat Ukur	I (m)	II (m)	III (m)
1	0,0165	0,0135	0,0200
2	0,0175	0,0140	0,0190
3	0,0200	0,0125	0,0150
4	0,0180	0,0160	0,0120
5	0,0150	0,0220	0,0130
Δh Tekanan statis			
Posisi Alat Ukur	I (m)	II (m)	III (m)
1	0,0260	0,0190	0,0065
2	0,0240	0,0170	0,0070
3	0,0200	0,0160	0,0080
4	0,0230	0,0170	0,0090
5	0,0250	0,0190	0,0110

Tabel 4.4 Hasil Penelitian dari Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 5D dan Arah Keluaran 0°

Δh Kecepatan			
Posisi Alat Ukur	I (m)	II (m)	III (m)
1	0,0165	0,0160	0,0205
2	0,0175	0,0120	0,0185
3	0,0200	0,0130	0,0150
4	0,0175	0,0140	0,0125
5	0,0155	0,0200	0,0145
Δh Tekanan statis			
Posisi Alat Ukur	I (m)	II (m)	III (m)
1	0,0260	0,0170	0,0070
2	0,0230	0,0160	0,0080
3	0,0200	0,0155	0,0080
4	0,0230	0,0170	0,0090
5	0,0250	0,0190	0,0100

Tabel 4.5 Hasil Penelitian dari Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 5D dan Arah Keluaran 45°

Δh Kecepatan			
Posisi Alat ukur	I (m)	II (m)	III (m)
1	0,0165	0,0155	0,0210
2	0,0175	0,0125	0,0190
3	0,0200	0,0140	0,0150
4	0,0175	0,0140	0,0125
5	0,0150	0,0200	0,0140
Δh Tekanan statis			
Posisi Alat Ukur	I (m)	II (m)	III (m)
1	0,0260	0,0170	0,0070
2	0,0230	0,0160	0,0070
3	0,0200	0,0150	0,0080
4	0,0230	0,0170	0,0090
5	0,0250	0,0185	0,0105

Tabel 4.6 Hasil Penelitian dari Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 5D dan Arah Keluaran 90°

Δh Kecepatan			
Posisi Alat Ukur	I (m)	II (m)	III (m)
1	0,0165	0,0150	0,0210
2	0,0180	0,0130	0,0190
3	0,0200	0,0140	0,0150
4	0,0175	0,0150	0,0120
5	0,0150	0,0200	0,0130
Δh Tekanan statis			
Posisi Alat Ukur	I (m)	II (m)	III (m)
1	0,0260	0,0175	0,0065
2	0,0240	0,0170	0,0070
3	0,0200	0,0150	0,0085
4	0,0230	0,0160	0,0090
5	0,0250	0,0180	0,0110

Tabel 4.7 Hasil Penelitian dari Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 7D dan Arah Keluaran 0°

Δh Kecepatan			
Posisi Alat Ukur	I (m)	II (m)	III (m)
1	0,0165	0,0165	0,0205
2	0,0180	0,0130	0,0190
3	0,0200	0,0150	0,0150
4	0,0175	0,0150	0,0120
5	0,0160	0,0190	0,0130
Δh Tekanan statis			
Posisi Alat Ukur	I (m)	II (m)	III (m)
1	0,0270	0,0180	0,0070
2	0,0240	0,0160	0,0075
3	0,0210	0,0150	0,0080
4	0,0240	0,0180	0,0095
5	0,0260	0,0200	0,0105

Tabel 4.8 Hasil Penelitian dari Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 7D dan Arah Keluaran 45°

Δh Kecepatan			
Posisi Alat Ukur	I (m)	II (m)	III (m)
1	0,0165	0,0160	0,0205
2	0,0180	0,0130	0,0190
3	0,0200	0,0150	0,0150
4	0,0175	0,0155	0,0115
5	0,0160	0,0195	0,0130
Δh Tekanan statis			
Posisi Alat Ukur	I (m)	II (m)	III (m)
1	0,0260	0,0180	0,0065
2	0,0240	0,0160	0,0070
3	0,0210	0,0150	0,0080
4	0,0240	0,0180	0,0095
5	0,0260	0,0200	0,0110

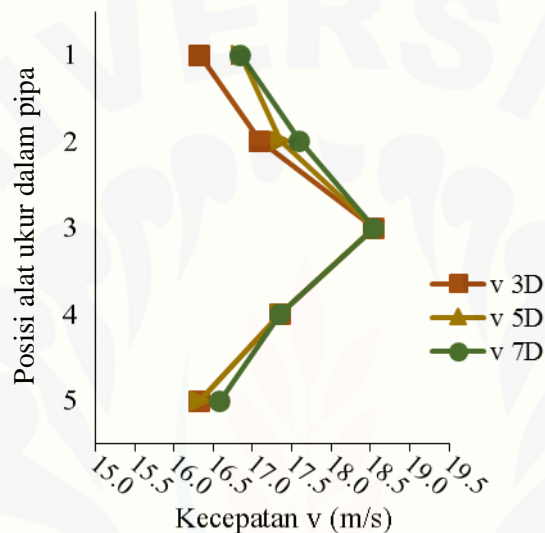
Tabel 4.9 Hasil Penelitian dari Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 7D dan Arah Keluaran 90°

Δh Kecepatan			
Posisi Alat Ukur	I (m)	II (m)	III (m)
1	0,0170	0,0150	0,0210
2	0,0180	0,0125	0,0190
3	0,0200	0,0150	0,0150
4	0,0175	0,0170	0,0115
5	0,0155	0,0200	0,0125
Δh Tekanan statis			
Posisi Alat Ukur	I (m)	II (m)	III (m)
1	0,0260	0,0190	0,0065
2	0,0240	0,0180	0,0070
3	0,0210	0,0150	0,0080
4	0,0230	0,0170	0,0100
5	0,0260	0,0195	0,0110

4.2 Pembahasan Hasil Penelitian

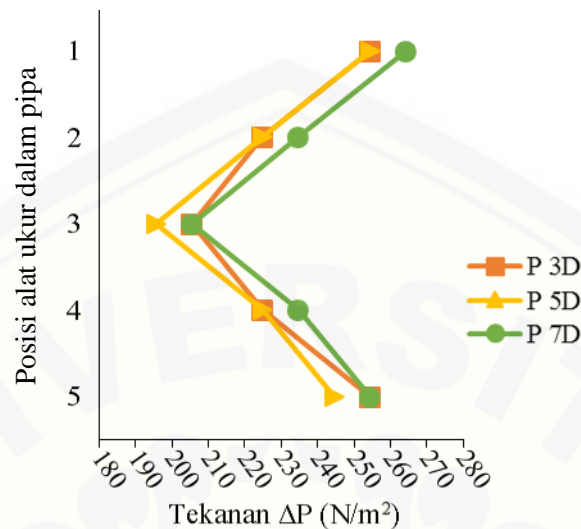
4.2.1 Pembahasan Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° pada Arah Keluaran 0°

Berikut adalah grafik hasil pengujian variasi jarak antara *elbow* 90° dengan kecepatan dan tekanan aliran fluida pada setiap posisi alat ukur dalam pipa, variasi jarak antara *elbow* 90° 3D, 5D, dan 7D arah keluaran lurus.



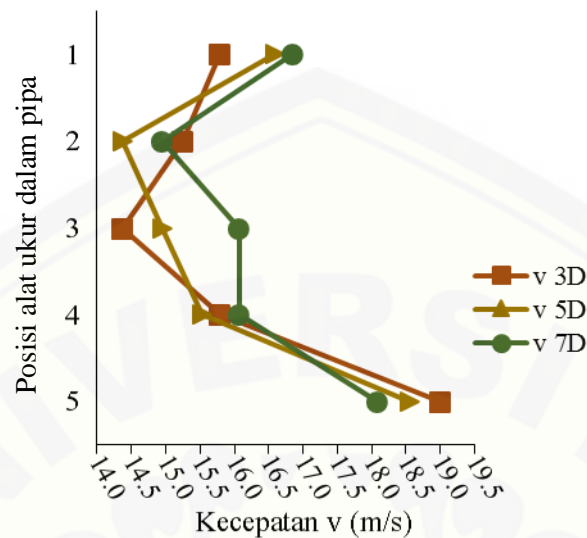
Gambar 4.1 Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 0° pada Titik Pengukuran I

Dari Gambar 4.1 di atas dapat dilihat bahwa aliran fluida pada titik pengukuran I sudah berkembang penuh (*fully developed*) dimana sewaktu fluida bergerak melewati pipa, efek viskos menyebabkannya tetap menempel pada dinding pipa (kondisi lapisan batas tanpa slip) sehingga kecepatan aliran di sepanjang tepi pipa akan rendah sedangkan kecepatan di tengah-tengah pipa mengalami kenaikan. Dimana pada masing-masing variasi 3D, 5D, dan 7D arah keluran 0° mempunyai kecepatan terendah yang terletak pada posisi alat ukur 1 dan 5 atau pada daerah tepi dinding pipa sebesar 16,33 m/s, sedangkan kecepatan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 3 atau di tengah pipa sebesar 18,55 m/s. Dari ketiga variasi di atas yang mempunyai kecepatan rata-rata tertinggi adalah variasi 7D sebesar 17,39 m/s, sedangkan untuk variasi 3D dan 5D mempunyai kecepatan rata-rata lebih rendah yaitu sebesar 17,13 m/s, dan 17,28 m/s.



Gambar 4.2 Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 0° pada Titik Pengukuran I

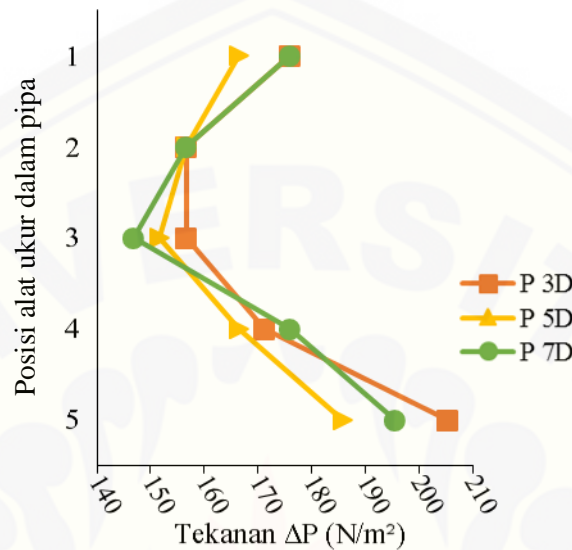
Dari Gambar 4.2 di atas bila dibandingkan dengan Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa tekanan akan berbanding terbalik dengan kecepatan. Hal ini sesuai dengan hukum Bernoulli dimana kecepatan fluida berbanding terbalik dengan tekanan. Hal tersebut dapat diartikan apabila nilai kecepatan rendah maka nilai tekanan akan tinggi dan sebaliknya apabila nilai kecepatan tinggi maka nilai tekanan akan rendah. Dimana masing-masing variasi 3D, 5D, dan 7D arah keluaran 0° mempunyai tekanan tertinggi yang terletak pada posisi alat ukur 1 dan 5 dan tekanan terendah yang terletak pada posisi alat ukur 3. Dari ketiga variasi di atas yang mempunyai tekanan rata-rata tertinggi adalah variasi 7D sebesar 238,61 N/m², sedangkan untuk variasi 3D dan 5D mempunyai tekanan rata-rata lebih rendah yaitu sebesar 232,75 N/m², dan 228,83 N/m².



Gambar 4.3 Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 0° pada Titik Pengukuran II

Dari Gambar 4.3 di atas dapat dilihat bahwa adanya perubahan profil kecepatan fluida pada sumbu Y bila dibandingkan dengan Gambar 4.1, hal ini disebabkan karena aliran fluida telah melewati *elbow* 90° 1. Pengaruh *elbow* 90° 1 terlihat pada distribusi kecepatan yang terjadi, dimana kecepatan tertinggi sebelum *elbow* 90° 1 terjadi di tengah pipa, ketika melewati *elbow* 90° 1 terjadi perbedaan kecepatan yang signifikan, pada bagian dalam *elbow* 90° 1 kecepatan fluida cenderung mengalami penurunan, sementara pada bagian luar *elbow* 90° 1 kecepatan fluida bertambah. Dari ketiga variasi jarak antara *elbow* 90° ini, kecepatan tertinggi variasi 3D, 5D, dan 7D masing-masing sebesar 19,01 m/s, 18,55 m/s, dan 18,08 m/s yang terjadi di posisi alat ukur 5 sedangkan kecepatan terendah pada variasi 3D terjadi di tengah-tengah pipa sebesar 14,37 m/s, hal ini terjadi karena distribusi tekanan menjadi tidak merata sehingga aliran memisahkan (terjadi separasi) yang akan menghasilkan aliran sekunder/*secondary flow* yang berputar-putar dan memiliki arus balik sehingga pola aliran yang melewati *elbow* 90° mengakibatkan turbulensi, sedangkan untuk variasi 5D dan 7D kecepatan terendah masing-masing sebesar 14,37 m/s dan 14,96 m/s yang terjadi pada posisi alat ukur 2,

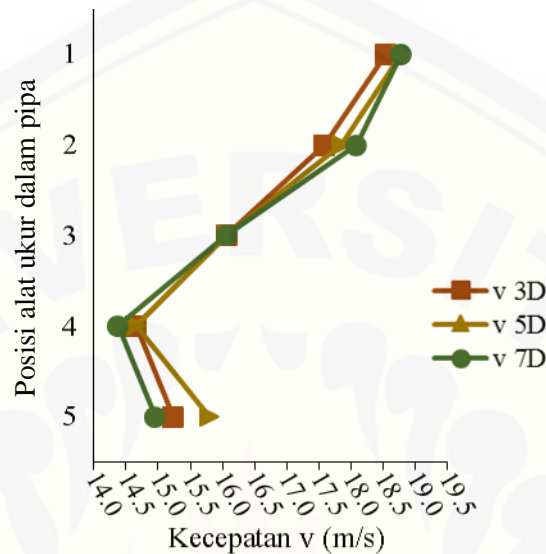
dengan semakin panjangnya pipa setelah melewati *elbow* 90° maka distribusi aliran akan merata.



Gambar 4.4 Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 0° pada Titik Pengukuran II

Dari Gambar 4.4 di atas terlihat bahwa pada variasi 3D, 5D, dan 7D arah keluaran 0° mempunyai tekanan terendah pada posisi alat ukur 3, hal itu diakibatkan adanya perubahan aliran fluida dari saluran tersebut sehingga aliran tidak mampu melawan gradien tekan yang menyebabkan aliran terpisah dan berbalik arah dari aliran utamanya yang membentuk vorteks, maka dari itu tekanan di posisi alat ukur 2 paling kecil diantara tekanan di daerah lainnya. Pada variasi 3D mempunyai tekanan terendah terletak pada posisi alat ukur 2 dan 3 sebesar 156,45 N/m² dan tekanan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 5 atau bagian luar *elbow* 90° 1 sebesar 205,34 N/m². Pada variasi 5D mempunyai tekanan terendah terletak pada posisi alat ukur 3 sebesar 151,56 N/m² dan tekanan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 5 atau bagian luar *elbow* 90° 1 sebesar 185,79 N/m². Pada variasi 7D tekanan terendah terletak pada posisi alat ukur 3 sebesar 146,67 N/m² dan tekanan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 5 atau bagian dalam *elbow* 90° sebesar 195,57 N/m². Pada titik pengukuran II ini masih terlihat

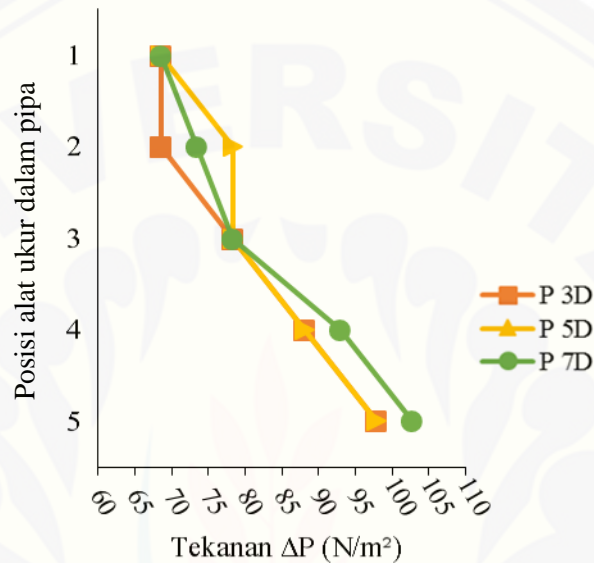
pengaruh/efek aliran fluida yang melewati *elbow* 90° dengan tekanan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 5 atau daerah luar *elbow* 90° pada masing-masing variasi.



Gambar 4.5 Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 0° pada Titik Pengukuran III

Dari Gambar 4.5 di atas dapat dilihat bahwa adanya perubahan profil aliran fluida pada sumbu Y bila dibandingkan dengan Gambar 4.3, hal ini disebabkan karena aliran fluida yang telah melewati *elbow* 90° 2. Pengaruh *elbow* 90° 2 terlihat pada distribusi kecepatan yang terjadi, dimana kecepatan tertinggi sebelum *elbow* 90° 2 terjadi di posisi alat ukur 5, ketika melewati *elbow* 90° 2 terjadi perbedaan kecepatan yang signifikan, pada bagian dalam *elbow* 90° kecepatan fluida cenderung mengalami penurunan sedangkan tekanan akan bertambah, sementara pada bagian luar *elbow* 90° kecepatan fluida bertambah sedangkan tekanan akan mengalami penurunan. Dari ketiga variasi jarak antara *elbow* 90° di atas, kecepatan tertinggi masing-masing variasi arah keluaran 0° terjadi di posisi alat ukur 1 sedangkan kecepatan terendah masing-masing variasi arah keluaran 0° terjadi pada posisi alat ukur 4, hal ini terjadi karena distribusi tekanan menjadi tidak merata sehingga aliran memisahkan (terjadi separasi) ke banyak aliran sekunder/*secondary flow* yang berputar-putar dan memiliki akselerasi/arus balik sehingga pola aliran setelah melewati *elbow* 90° mengakibatkan

turbulensi. Sedangkan separasi dan aliran sekunder inilah yang menyebabkan tekanan menjadi tinggi. Dari ketiga variasi di atas yang mempunyai nilai kecepatan rata-rata tertinggi adalah variasi 5D sebesar 16,63 m/s, sedangkan untuk variasi 3D dan 7D mempunyai kecepatan rata-rata terendah yaitu 16,42 m/s dan 16,45 m/s.

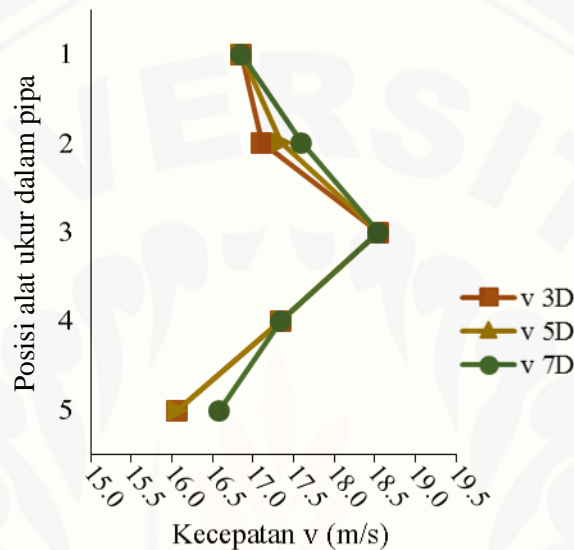


Gambar 4.6 Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 0° pada Titik Pengukuran III

Dari Gambar 4.6 di atas dapat dilihat bahwa masing-masing variasi mempunyai nilai tekanan tertinggi pada posisi alat ukur 5 sedangkan tekanan terendah terjadi pada posisi alat ukur 1, hal ini diakibatkan adanya perubahan aliran fluida dari saluran tersebut sehingga aliran tidak mampu melawan gradien tekan yang menyebabkan aliran terpisah dan berbalik arah dari aliran utamanya yang membentuk vorteks, maka dari itu tekanan di sisi dalam *elbow* 90° atau posisi alat ukur 1 paling kecil diantara tekanan di daerah lainnya. Dari ketiga variasi di atas yang mempunyai nilai tekanan rata-rata tertinggi adalah variasi 7D sebesar 83,12 N/m², sedangkan untuk variasi 3D dan 5D mempunyai tekanan rata-rata terendah yaitu 80,19 N/m² dan 82,15 N/m².

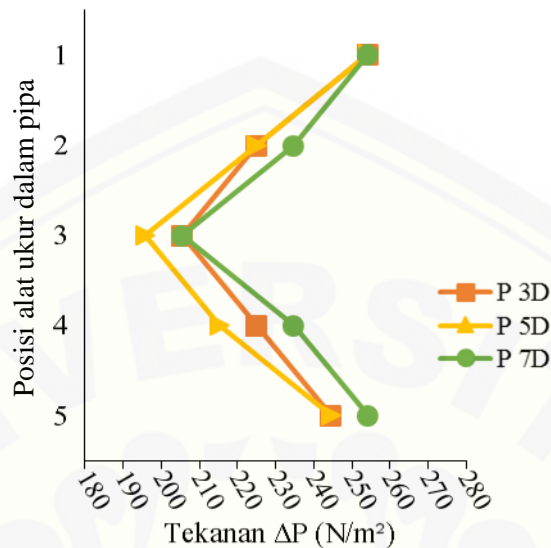
4.2.2 Pembahasan Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° pada Arah Keluaran 45°

Berikut adalah grafik hasil pengujian variasi jarak antara *elbow* 90° dengan kecepatan dan tekanan aliran fluida pada setiap posisi alat ukur dalam pipa, variasi jarak antara *elbow* 90° 3D, 5D, dan 7D arah keluaran 45°.



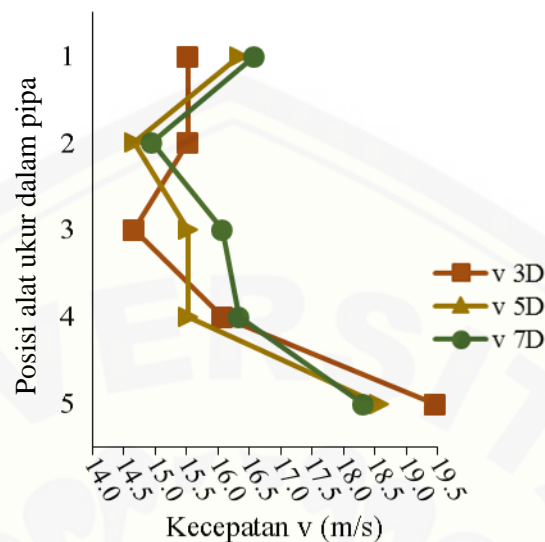
Gambar 4.7 Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 45° pada Titik Pengukuran I

Dari Gambar 4.7 di atas dapat dilihat bahwa aliran fluida pada titik pengukuran I sudah berkembang penuh (*fully developed*) dimana sewaktu fluida bergerak melewati pipa, efek viskos menyebabkannya tetap menempel pada dinding pipa (kondisi lapisan batas tanpa slip) sehingga kecepatan aliran di sepanjang tepi pipa akan rendah sedangkan kecepatan di tengah-tengah pipa mengalami kenaikan. Dimana pada masing-masing variasi 3D, 5D, dan 7D arah keluaran 45° mempunyai kecepatan terendah yang terletak pada posisi alat ukur 1 dan 5 atau pada daerah tepi dinding pipa sebesar 16,06 m/s, sedangkan kecepatan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 3 atau di tengah pipa sebesar 18,55 m/s. Dari ketiga variasi di atas yang mempunyai kecepatan rata-rata tertinggi adalah variasi 7D sebesar 17,39 m/s, sedangkan untuk variasi 3D dan 5D mempunyai kecepatan rata-rata lebih rendah yaitu sebesar 17,18 m/s, dan 17,24 m/s.



Gambar 4.8 Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 45° pada Titik Pengukuran I

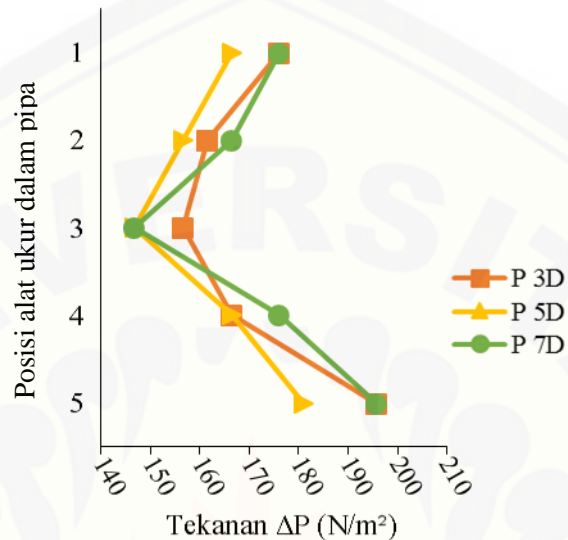
Dari Gambar 4.8 di atas bila dibandingkan dengan Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa tekanan akan berbanding terbalik dengan kecepatan. Hal ini sesuai dengan hukum Bernoulli dimana kecepatan fluida berbanding terbalik dengan tekanan. Hal tersebut dapat diartikan apabila nilai kecepatan rendah maka nilai tekanan akan tinggi dan sebaliknya apabila nilai kecepatan tinggi maka nilai tekanan akan rendah. Dimana masing-masing variasi 3D, 5D, dan 7D arah keluran 45° mempunyai tekanan tertinggi yang terletak pada posisi alat ukur 1 dan 5 dan tekanan terendah yang terletak pada posisi alat ukur 3. Dari ketiga variasi di atas yang mempunyai tekanan rata-rata tertinggi adalah variasi 7D sebesar 236,66 N/m², sedangkan untuk variasi 3D dan 5D mempunyai tekanan rata-rata lebih rendah yaitu sebesar 230,79 N/m², dan 226,88 N/m².



Gambar 4.9 Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 45° pada Titik Pengukuran II

Dari Gambar 4.9 di atas dapat dilihat bahwa adanya perubahan profil aliran fluida pada sumbu Y bila dibandingkan dengan Gambar 4.7, hal ini disebabkan karena aliran fluida telah melewati *elbow* 90° 1. Pengaruh *elbow* 90° 1 terlihat pada distribusi kecepatan yang terjadi, dimana kecepatan tertinggi sebelum *elbow* 90° 1 terjadi di tengah pipa, ketika melewati *elbow* 90° 1 terjadi perbedaan kecepatan yang signifikan, pada bagian dalam *elbow* 90° 1 kecepatan fluida cenderung mengalami penurunan, sementara pada bagian luar *elbow* 90° 1 kecepatan fluida bertambah. Dari ketiga variasi jarak antara *elbow* 90° ini, kecepatan tertinggi variasi 3D, 5D, dan 7D masing-masing sebesar 19,45 m/s, 18,55 m/s, dan 18,31 m/s yang terjadi di posisi alat ukur 5 sedangkan kecepatan terendah pada variasi 3D terjadi di tengah-tengah pipa sebesar 14,66 m/s, hal ini terjadi karena distribusi tekanan menjadi tidak merata sehingga aliran memisahkan (terjadi separasi) yang akan menghasilkan aliran sekunder/*secondary flow* yang berputar-putar dan memiliki arus balik sehingga pola aliran yang melewati *elbow* 90° mengakibatkan turbulensi, sedangkan untuk variasi 7D dan 5D kecepatan terendah masing-masing sebesar 14,66 m/s dan 14,95 m/s yang terjadi pada posisi alat ukur 2,

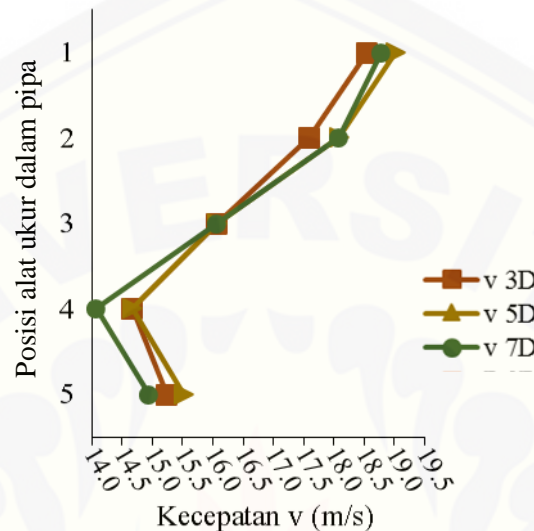
dengan semakin panjangnya pipa setelah melewati *elbow* 90° maka distribusi aliran akan merata.



Gambar 4.10 Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 45° pada Titik Pengukuran II

Dari Gambar 4.10 di atas terlihat bahwa pada variasi 3D, 5D, dan 7D arah keluaran 0° mempunyai tekanan terendah pada posisi alat ukur 3, hal itu diakibatkan adanya perubahan aliran fluida dari saluran tersebut sehingga aliran tidak mampu melawan gradien tekan yang menyebabkan aliran terpisah dan berbalik arah dari aliran utamanya yang membentuk vorteks, maka dari itu tekanan di posisi alat ukur 2 paling kecil diantara tekanan di daerah lainnya. Pada variasi 3D tekanan terendah terletak pada posisi alat ukur 3 sebesar 156,45 N/m² dan tekanan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 5 atau bagian luar *elbow* 90° 1 sebesar 195,57 N/m². Pada variasi 5D mempunyai tekanan terendah terletak pada posisi alat ukur 3 sebesar 146,67 N/m² dan tekanan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 5 atau bagian luar *elbow* 90° 1 sebesar 180,90 N/m². Pada variasi 7D mempunyai tekanan terendah terletak pada posisi alat ukur 3 sebesar 146,67 N/m² dan tekanan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 5 atau bagian dalam *elbow* 90° sebesar 195,57 N/m². Pada titik pengukuran II ini masih terlihat

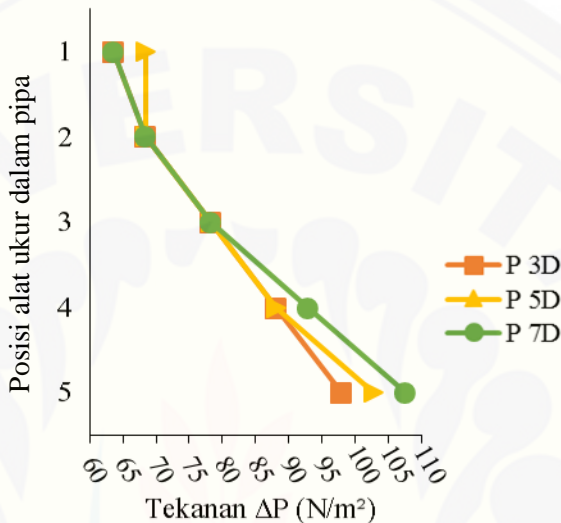
pengaruh/efek aliran fluida yang melewati *elbow* 90° dengan tekanan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 5 atau daerah luar *elbow* 90° pada masing-masing variasi.



Gambar 4.11 Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 45° pada Titik Pengukuran III

Dari Gambar 4.11 di atas dapat dilihat bahwa adanya perubahan profil aliran fluida pada sumbu Y bila dibandingkan dengan Gambar 4.9, hal ini disebabkan karena aliran fluida yang telah melewati *elbow* 90° 2. Pengaruh *elbow* 90° 2 terlihat pada distribusi kecepatan yang terjadi, dimana kecepatan tertinggi sebelum *elbow* 90° 2 terjadi di posisi alat ukur 5, ketika melewati *elbow* 90° 2 terjadi perbedaan kecepatan yang signifikan, pada bagian dalam *elbow* 90° kecepatan fluida cenderung mengalami penurunan sedangkan tekanan akan bertambah, sementara pada bagian luar *elbow* 90° kecepatan fluida bertambah sedangkan tekanan akan mengalami penurunan. Dari ketiga variasi jarak antara *elbow* 90° di atas, kecepatan tertinggi masing-masing variasi arah keluaran 45° terjadi di posisi alat ukur 1 sedangkan kecepatan terendah masing-masing variasi arah keluaran 45° terjadi pada posisi alat ukur 4, hal ini terjadi karena distribusi tekanan menjadi tidak merata sehingga aliran memisahkan (terjadi separasi) ke banyak aliran sekunder/*secondary flow* yang berputar-putar dan memiliki akselerasi/arus balik sehingga pola aliran setelah melewati *elbow* 90° mengakibatkan

turbulensi. Sedangkan separasi dan aliran sekunder inilah yang menyebabkan tekanan menjadi tinggi. Dari ketiga variasi di atas yang mempunyai nilai kecepatan rata-rata tertinggi adalah variasi 5D sebesar 16,67 m/s, sedangkan untuk variasi 3D dan 7D mempunyai kecepatan rata-rata terendah yaitu 16,42 m/s dan 16,39 m/s.

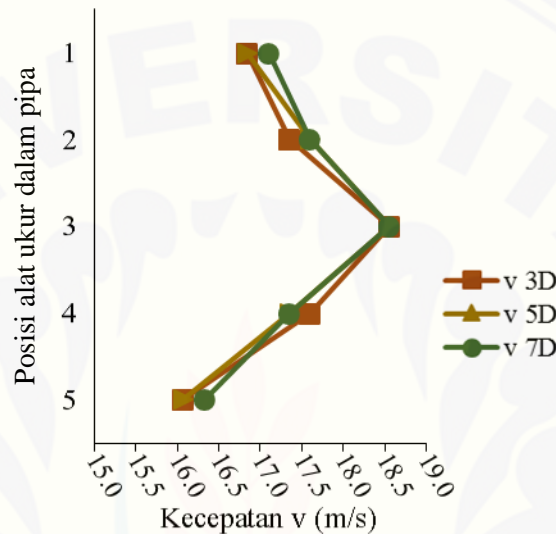


Gambar 4.12 Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 45° pada Titik Pengukuran III

Dari Gambar 4.12 di atas dapat dilihat bahwa masing-masing variasi mempunyai nilai tekanan tertinggi pada posisi alat ukur 5 sedangkan tekanan terendah terjadi pada posisi alat ukur 1, hal ini diakibatkan adanya perubahan aliran fluida dari saluran tersebut sehingga aliran tidak mampu melawan gradien tekan yang menyebabkan aliran terpisah dan berbalik arah dari aliran utamanya yang membentuk vorteks, maka dari itu tekanan di sisi dalam *elbow* 90° atau posisi alat ukur 1 paling kecil diantara tekanan di daerah lainnya. Dari ketiga variasi di atas yang mempunyai nilai tekanan rata-rata tertinggi adalah variasi 7D sebesar 82,15 N/m², sedangkan untuk variasi 3D dan 5D mempunyai tekanan rata-rata terendah yaitu 79,21 N/m² dan 81,17 N/m².

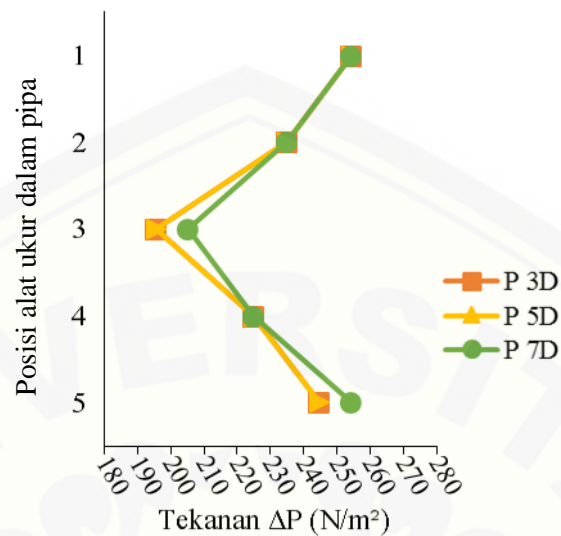
4.2.3 Pembahasan Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° pada Arah Keluaran 90°

Berikut adalah grafik hasil pengujian variasi jarak antara *elbow* 90° dengan kecepatan dan tekanan aliran fluida pada setiap posisi alat ukur dalam pipa, variasi jarak antara *elbow* 90° 3D, 5D, dan 7D arah keluaran 90°.



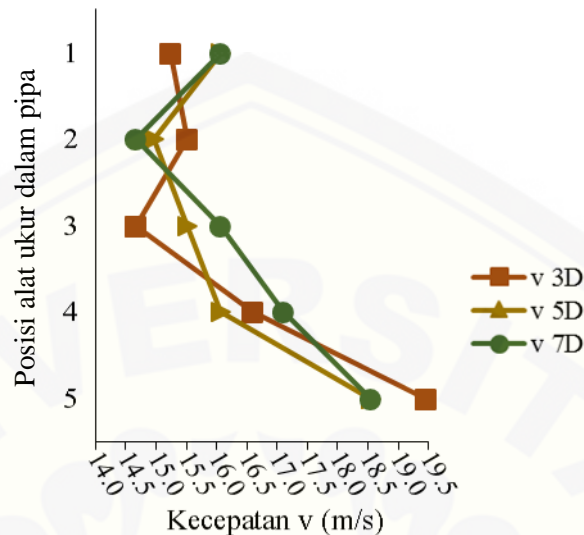
Gambar 4.13 Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 90° pada Titik Pengukuran I

Dari Gambar 4.13 di atas dapat dilihat bahwa aliran fluida pada titik pengukuran I sudah berkembang penuh (*fully developed*) dimana sewaktu fluida bergerak melewati pipa, efek viskos menyebabkannya tetap menempel pada dinding pipa (kondisi lapisan batas tanpa slip) sehingga kecepatan aliran di sepanjang tepi pipa akan rendah sedangkan kecepatan di tengah-tengah pipa mengalami kenaikan. Dimana pada masing-masing variasi 3D, 5D, dan 7D arah keluran 90° mempunyai kecepatan terendah yang terletak pada posisi alat ukur 1 dan 5 atau pada daerah tepi dinding pipa sebesar 16,06 m/s, sedangkan kecepatan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 3 atau di tengah pipa sebesar 18,55 m/s. Dari ketiga variasi di atas yang mempunyai kecepatan rata-rata tertinggi adalah variasi 7D sebesar 17,39 m/s, sedangkan untuk variasi 3D dan 5D mempunyai kecepatan rata-rata lebih rendah yaitu sebesar 17,28 m/s, dan 17,28 m/s.



Gambar 4.14 Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 90° pada Titik Pengukuran I

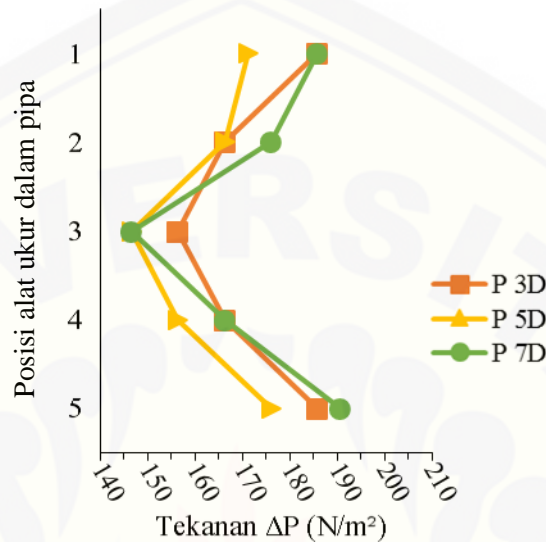
Dari Gambar 4.14 di atas bila dibandingkan dengan Gambar 4.13 dapat dilihat bahwa tekanan akan berbanding terbalik dengan kecepatan. Hal ini sesuai dengan hukum Bernoulli dimana kecepatan fluida berbanding terbalik dengan tekanan. Hal tersebut dapat diartikan apabila nilai kecepatan rendah maka nilai tekanan akan tinggi dan sebaliknya apabila nilai kecepatan tinggi maka nilai tekanan akan rendah. Dimana masing-masing variasi 3D, 5D, dan 7D arah keluran 90° mempunyai tekanan tertinggi yang terletak pada posisi alat ukur 1 dan 5 dan tekanan terendah yang terletak pada posisi alat ukur 3. Dari ketiga variasi di atas yang mempunyai tekanan rata-rata tertinggi adalah variasi 7D sebesar $236,66 \text{ N/m}^2$, sedangkan untuk variasi 3D dan 5D mempunyai tekanan rata-rata lebih rendah yaitu sebesar $230,79 \text{ N/m}^2$, dan $230,79 \text{ N/m}^2$.



Gambar 4.15 Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 90° pada Titik Pengukuran II

Dari Gambar 4.15 di atas dapat dilihat bahwa adanya perubahan profil aliran fluida pada sumbu Y bila dibandingkan dengan Gambar 4.13, hal ini disebabkan karena aliran fluida telah melewati *elbow* 90° 1. Pengaruh *elbow* 90° 1 terlihat pada distribusi kecepatan yang terjadi, dimana kecepatan tertinggi sebelum *elbow* 90° 1 terjadi di tengah pipa, ketika melewati *elbow* 90° 1 terjadi perbedaan kecepatan yang signifikan, pada bagian dalam *elbow* 90° 1 kecepatan fluida cenderung mengalami penurunan, sementara pada bagian luar *elbow* 90° 1 kecepatan fluida bertambah. Dari ketiga variasi jarak antara *elbow* 90° ini, kecepatan tertinggi variasi 3D, 5D, dan 7D masing-masing sebesar 19,45 m/s, 18,55 m/s, dan 18,55 m/s yang terjadi di posisi alat ukur 5 sedangkan kecepatan terendah pada variasi 3D terjadi di tengah-tengah pipa sebesar 14,66 m/s, hal ini terjadi karena distribusi tekanan menjadi tidak merata sehingga aliran memisahkan (terjadi separasi) yang akan menghasilkan aliran sekunder/*secondary flow* yang berputar-putar dan memiliki arus balik sehingga pola aliran yang melewati *elbow* 90° mengakibatkan turbulensi, sedangkan untuk variasi 7D dan 5D kecepatan terendah masing-masing sebesar 14,95 m/s dan 14,66 m/s yang terjadi pada posisi alat ukur 2,

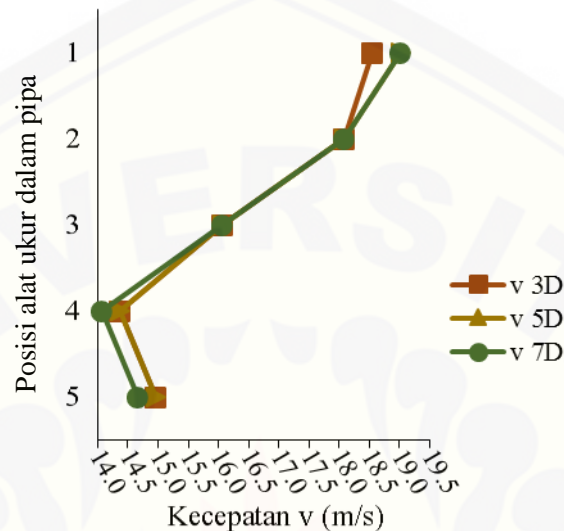
dengan semakin panjangnya pipa setelah melewati *elbow* 90° maka distribusi aliran akan merata.



Gambar 4.16 Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 90° pada Titik Pengukuran II

Dari Gambar 4.16 di atas terlihat bahwa pada variasi 3D, 5D, dan 7D arah keluaran 0° mempunyai tekanan terendah pada posisi alat ukur 3, hal itu diakibatkan adanya perubahan aliran fluida dari saluran tersebut sehingga aliran tidak mampu melawan gradien tekan yang menyebabkan aliran terpisah dan berbalik arah dari aliran utamanya yang membentuk vorteks, maka dari itu tekanan di posisi alat ukur 2 paling kecil diantara tekanan di daerah lainnya. Pada variasi 3D mempunyai tekanan terendah terletak pada posisi alat ukur 3 sebesar 156,45 N/m² dan tekanan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 5 atau bagian luar *elbow* 90° sebesar 185,79 N/m². Pada variasi 5D mempunyai tekanan terendah terletak pada posisi alat ukur 3 sebesar 146,67 N/m² dan tekanan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 5 atau bagian luar *elbow* 90° sebesar 176,01 N/m². Pada variasi 7D mempunyai tekanan terendah terletak pada posisi alat ukur 3 sebesar 146,67 N/m² dan tekanan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 5 atau bagian dalam *elbow* 90° sebesar 190,68 N/m². Pada titik pengukuran II ini masih

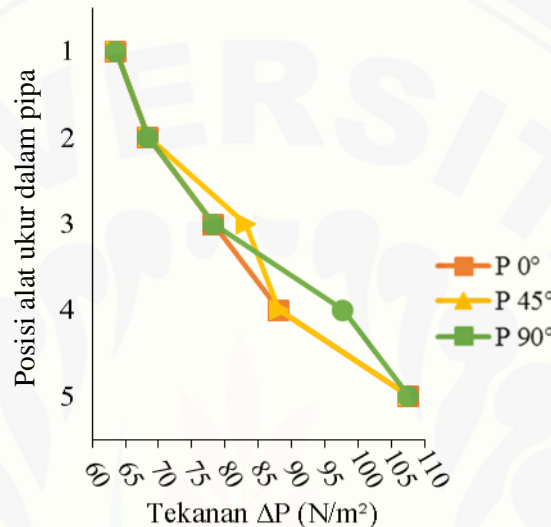
terlihat pengaruh/efek aliran fluida yang melewati *elbow* 90° dengan tekanan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 5 atau daerah luar *elbow* 90° pada masing-masing variasi.



Gambar 4.17 Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 90° pada Titik Pengukuran III

Dari Gambar 4.17 di atas dapat dilihat bahwa adanya perubahan profil aliran fluida pada sumbu Y bila dibandingkan dengan Gambar 4.15, hal ini disebabkan karena aliran fluida yang telah melewati *elbow* 90° 2. Pengaruh *elbow* 90° 2 terlihat pada distribusi kecepatan yang terjadi, dimana kecepatan tertinggi sebelum *elbow* 90° 2 terjadi di posisi alat ukur 5, ketika melewati *elbow* 90° 2 terjadi perbedaan kecepatan yang signifikan, pada bagian dalam *elbow* 90° kecepatan fluida cenderung mengalami penurunan sedangkan tekanan akan bertambah, sementara pada bagian luar *elbow* 90° kecepatan fluida bertambah sedangkan tekanan akan mengalami penurunan. Dari ketiga variasi jarak antara *elbow* 90° di atas, kecepatan tertinggi masing-masing variasi arah keluaran 90° terjadi di posisi alat ukur 1 sedangkan kecepatan terendah masing-masing variasi arah keluaran 90° terjadi pada posisi alat ukur 4, hal ini terjadi karena distribusi tekanan menjadi tidak merata sehingga aliran memisahkan (terjadi separasi) ke banyak aliran sekunder/*secondary flow* yang berputar-putar dan memiliki akselerasi/ arus balik sehingga pola aliran setelah melewati *elbow* 90° mengakibatkan

turbulensi. Sedangkan separasi dan aliran sekunder inilah yang menyebabkan tekanan menjadi tinggi. Dari ketiga variasi di atas yang mempunyai nilai kecepatan rata-rata tertinggi adalah variasi 5D sebesar 16,49 m/s, sedangkan untuk variasi 3D dan 7D mempunyai kecepatan rata-rata terendah yaitu 16,40 m/s dan 16,37 m/s.

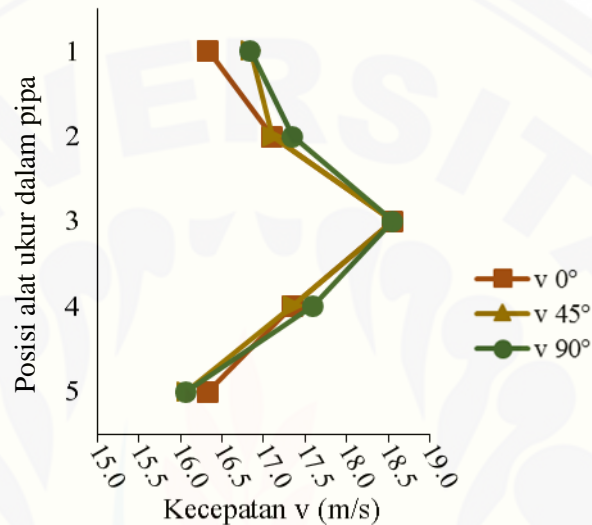


Gambar 4.18 Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 90° pada Titik Pengukuran III

Dari Gambar 4.18 di atas dapat dilihat bahwa masing-masing variasi mempunyai nilai tekanan tertinggi pada posisi alat ukur 5 sedangkan tekanan terendah terjadi pada posisi alat ukur 1, hal ini diakibatkan adanya perubahan aliran fluida dari saluran tersebut sehingga aliran tidak mampu melawan gradien tekan yang menyebabkan aliran terpisah dan berbalik arah dari aliran utamanya yang membentuk vorteks, maka dari itu tekanan di sisi dalam *elbow* 90° atau posisi alat ukur 1 paling kecil diantara tekanan di daerah lainnya. Dari ketiga variasi di atas yang mempunyai nilai tekanan rata-rata tertinggi adalah variasi 7D sebesar 83,12 N/m², sedangkan untuk variasi 3D dan 5D mempunyai tekanan rata-rata terendah yaitu 81,17 N/m² dan 82,15 N/m².

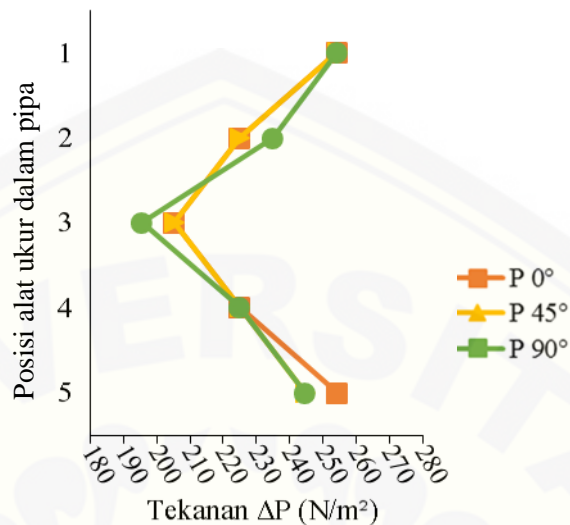
4.2.4 Pembahasan Arah Keluaran *Elbow* 90° pada Variasi 3D

Berikut adalah grafik hasil pengujian variasi arah keluaran *elbow* 90° dengan kecepatan dan tekanan aliran fluida pada setiap posisi alat ukur dalam pipa, variasi jarak antara *elbow* 90° sebesar 3D pada arah keluaran 0°, 45°, dan 90°.



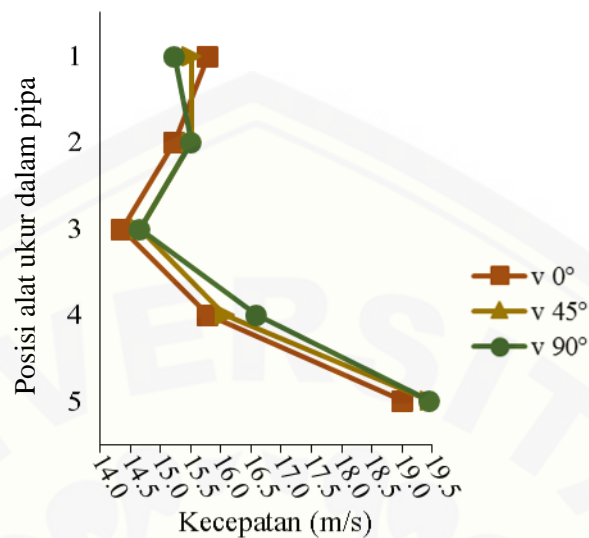
Gambar 4.19 Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D arah keluaran 0°, 45°, dan 90° pada Titik Pengukuran I

Dari Gambar 4.19 di atas dapat dilihat bahwa aliran fluida pada titik pengukuran I sudah berkembang penuh (*fully developed*) dimana sewaktu fluida bergerak melewati pipa, efek viskos menyebabkannya tetap menempel pada dinding pipa (kondisi lapisan batas tanpa slip) sehingga kecepatan aliran di sepanjang tepi pipa akan rendah sedangkan kecepatan di tengah-tengah pipa mengalami kenaikan. Dimana pada masing-masing variasi arah keluaran 0°, 45°, dan 90° dan jarak antaran *elbow* 90° 3D mempunyai kecepatan terendah yang terletak pada posisi alat ukur 1 dan 5 atau pada daerah tepi dinding pipa sebesar 16,06 m/s, sedangkan kecepatan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 3 atau di tengah pipa sebesar 18,55 m/s. Dari ketiga variasi di atas yang mempunyai kecepatan rata-rata tertinggi adalah variasi arah keluaran 90° sebesar 17,28 m/s, sedangkan untuk variasi arah keluaran 0° dan 45° mempunyai kecepatan rata-rata lebih rendah yaitu sebesar 17,13 m/s, dan 17,18 m/s.



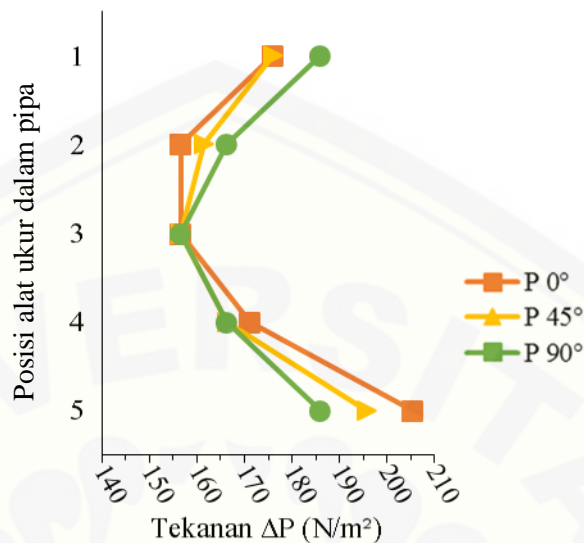
Gambar 4.20 Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 3D arah keluaran 0°, 45°, dan 90° pada Titik Pengukuran I

Dari Gambar 4.20 di atas bila dibandingkan dengan Gambar 4.19 dapat dilihat bahwa tekanan akan berbanding terbalik dengan kecepatan. Hal ini sesuai dengan hukum Bernoulli dimana kecepatan fluida berbanding terbalik dengan tekanan. Hal tersebut dapat diartikan apabila nilai kecepatan rendah maka nilai tekanan akan tinggi dan sebaliknya apabila nilai kecepatan tinggi maka nilai tekanan akan rendah. Dimana masing-masing variasi arah keluaran sudut 0°, 45°, dan 90° jarak antara *elbow* 90° 3D mempunyai tekanan tertinggi yang terletak pada posisi alat ukur 1 dan 5 dan tekanan terendah yang terletak pada posisi alat ukur 3. Dari ketiga variasi di atas yang mempunyai tekanan rata-rata tertinggi adalah variasi arah keluaran 0° sebesar 232,75 N/m², sedangkan untuk variasi arah keluaran 45° dan 90° mempunyai tekanan rata-rata lebih rendah yaitu sebesar 230,79 N/m², dan 230,79 N/m². Hal ini dapat disimpulkan bahwa kecepatan dan tekanan yang terjadi pada titik pengukuran I variasi jarak antara *elbow* 90° 3D berbanding terbalik.



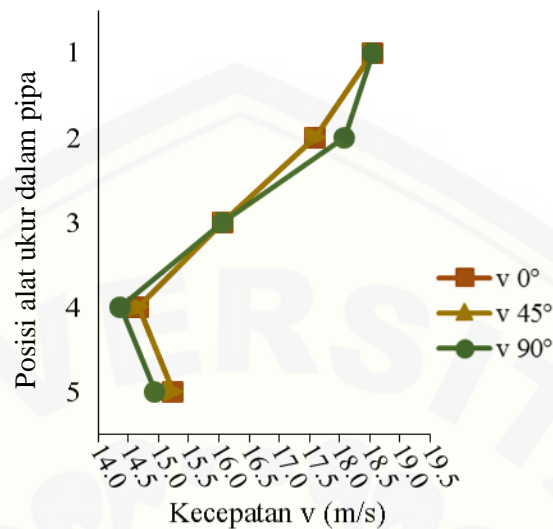
Gambar 4.21 Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D arah keluaran 0°, 45°, dan 90° pada Titik Pengukuran II

Dari Gambar 4.21 di atas dapat dilihat bahwa adanya perubahan profil aliran fluida pada sumbu Y bila dibandingkan dengan Gambar 4.19, hal ini disebabkan karena aliran fluida telah melewati *elbow* 90°. Pengaruh *elbow* 90° terlihat pada distribusi kecepatan yang terjadi, dimana kecepatan tertinggi sebelum *elbow* 90° terjadi di tengah pipa, ketika melewati *elbow* 90° terjadi perbedaan kecepatan yang signifikan, pada bagian dalam *elbow* 90° kecepatan fluida cenderung mengalami penurunan sedangkan tekanan akan bertambah, sementara pada bagian luar *elbow* 90° kecepatan fluida bertambah sedangkan tekanan akan mengalami penurunan. Dari ketiga variasi arah keluaran ini profil kecepatan cenderung seragam, dimana kecepatan tertinggi variasi arah keluaran 0°, 45°, dan 90° masing-masing sebesar 19,01 m/s, 19,45 m/s, dan 19,45 m/s yang terjadi di posisi alat ukur 5 sedangkan kecepatan terendah variasi arah keluaran 0°, 45°, dan 90° masing-masing sebesar 14,37 m/s, 14,66 m/s, dan 14,66 m/s yang terjadi di tengah-tengah pipa, hal ini terjadi karena distribusi tekanan menjadi tidak merata sehingga aliran memisahkan (terjadi separasi) yang akan menghasilkan aliran sekunder/*secondary flow* yang berputar-putar dan memiliki arus balik sehingga pola aliran yang melewati *elbow* 90° mengakibatkan turbulensi.



Gambar 4.22 Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 3D arah keluaran 0°, 45°, dan 90° pada Titik Pengukuran II

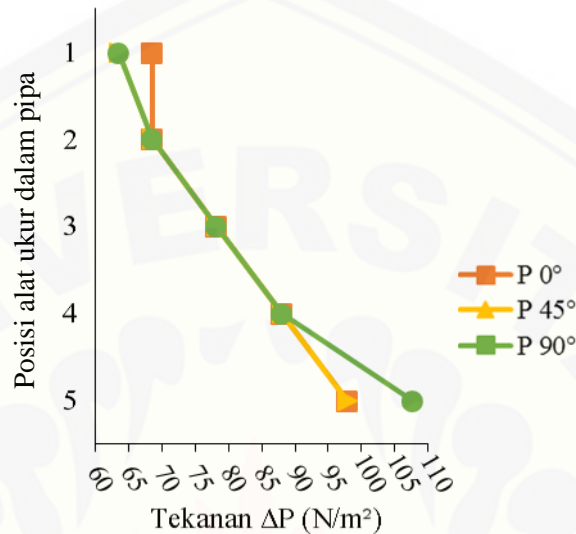
Dari Gambar 4.22 di atas terlihat bahwa pada variasi 3D arah keluaran 0°, 45°, dan 90° mempunyai tekanan terendah pada posisi alat ukur 3, hal itu diakibatkan adanya perubahan aliran fluida dari saluran tersebut sehingga aliran tidak mampu melawan gradien tekan yang menyebabkan aliran terpisah dan berbalik arah dari aliran utamanya yang membentuk vorteks, maka dari itu tekanan di posisi alat ukur 2 paling kecil diantara tekanan di daerah lainnya. Pada variasi arah keluaran 0° mempunyai tekanan terendah terletak pada posisi alat ukur 2 dan 3 sebesar 156,45 N/m² dan tekanan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 5 atau bagian luar *elbow* 90° 1 sebesar 205,34 N/m². Pada variasi arah keluaran 45° mempunyai tekanan terendah terletak pada posisi alat ukur 3 sebesar 156,45 N/m² dan tekanan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 5 atau bagian luar *elbow* 90° 1 sebesar 195,57 N/m². Pada variasi arah keluaran 90° mempunyai tekanan terendah terletak pada posisi alat ukur 3 sebesar 156,45 N/m² dan tekanan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 5 atau bagian dalam *elbow* 90° sebesar 185,79 N/m². Pada variasi arah keluaran ini profil aliran cenderung seragam karena tidak ada penambahan panjang pada titik pengukuran II.



Gambar 4.23 Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 3D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran III

Dari Gambar 4.23 di atas dapat dilihat bahwa adanya perubahan profil aliran fluida pada sumbu Y bila dibandingkan dengan Gambar 4.21, hal ini disebabkan karena aliran fluida yang telah melewati *elbow* 90° 2. Pengaruh *elbow* 90° 2 terlihat pada distribusi kecepatan yang terjadi, dimana kecepatan tertinggi sebelum *elbow* 90° 2 terjadi di posisi alat ukur 5, ketika melewati *elbow* 90° 2 terjadi perbedaan kecepatan yang signifikan, pada bagian dalam *elbow* 90° kecepatan fluida cenderung mengalami penurunan sedangkan tekanan akan bertambah, sementara pada bagian luar *elbow* 90° kecepatan fluida bertambah sedangkan tekanan akan mengalami penurunan. Dari ketiga variasi arah keluaran *elbow* 90° di atas, kecepatan tertinggi masing-masing terjadi di posisi alat ukur 1 sedangkan kecepatan terendah masing-masing variasi terjadi pada posisi alat ukur 4, hal ini terjadi karena distribusi tekanan menjadi tidak merata sehingga aliran memisahkan (terjadi separasi) ke banyak aliran sekunder/*secondary flow* yang berputar-putar dan memiliki akselerasi/ arus balik sehingga pola aliran setelah melewati *elbow* 90° mengakibatkan turbulensi. Sedangkan separasi dan aliran sekunder inilah yang menyebabkan tekanan menjadi tinggi. Dari ketiga variasi di atas yang mempunyai nilai kecepatan rata-rata tertinggi adalah variasi

arah keluaran 0° dan 45° sebesar $16,42$ m/s, sedangkan untuk variasi arah keluaran 90° mempunyai kecepatan rata-rata lebih rendah yaitu $16,40$ m/s.

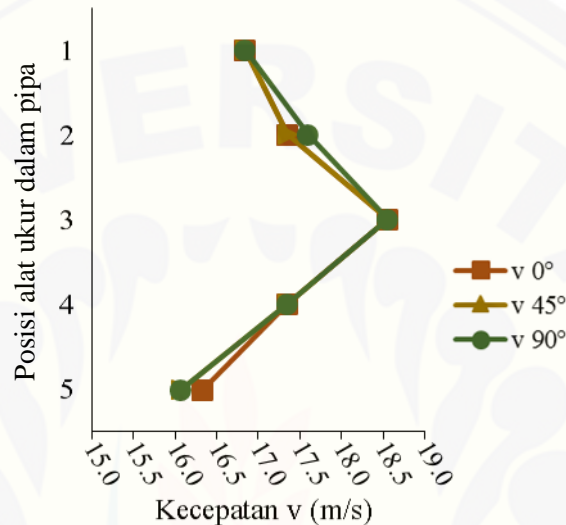


Gambar 4.24 Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 3D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran III

Dari Gambar 4.24 di atas dapat dilihat bahwa masing-masing variasi mempunyai nilai tekanan tertinggi pada posisi alat ukur 5 sedangkan tekanan terendah terjadi pada posisi alat ukur 1, hal ini diakibatkan adanya perubahan aliran fluida dari saluran tersebut sehingga aliran tidak mampu melawan gradien tekan yang menyebabkan aliran terpisah dan berbalik arah dari aliran utamanya yang membentuk vorteks, maka dari itu tekanan di sisi dalam *elbow* 90° atau posisi alat ukur 1 paling kecil diantara tekanan di daerah lainnya. Dari ketiga variasi di atas yang mempunyai nilai tekanan rata-rata tertinggi adalah variasi arah keluaran 90° sebesar $81,17$ N/m², sedangkan untuk variasi arah keluaran 0° dan 45° mempunyai tekanan rata-rata lebih rendah yaitu $80,19$ N/m² dan $79,21$ N/m². Hal ini dapat disimpulkan bahwa kecepatan dan tekanan yang terjadi pada titik pengukuran III berbanding terbalik.

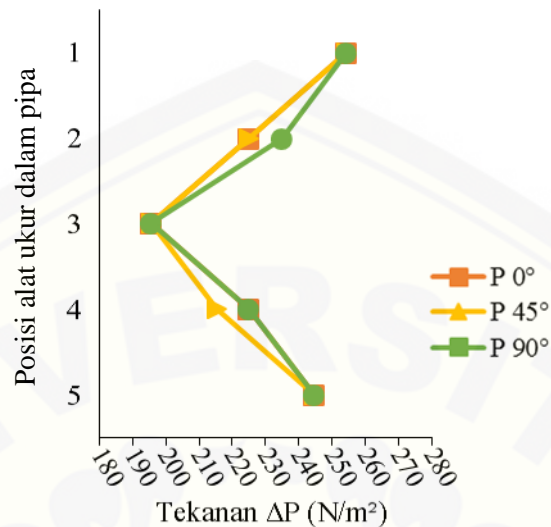
4.2.5 Pembahasan Arah Keluaran *Elbow* 90° pada Variasi 5D

Berikut adalah grafik hasil pengujian variasi arah keluaran *elbow* 90° dengan kecepatan dan tekanan aliran fluida pada setiap posisi alat ukur dalam pipa, variasi jarak antara *elbow* 90° sebesar 3D pada arah keluaran 0°, 45°, dan 90°.



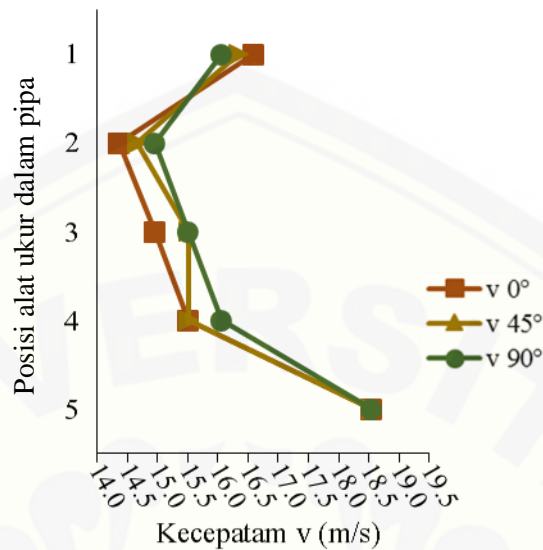
Gambar 4.25 Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 5D arah keluaran 0°, 45°, dan 90° pada Titik Pengukuran I

Dari Gambar 4.25 di atas dapat dilihat bahwa aliran fluida pada titik pengukuran I sudah berkembang penuh (*fully developed*) dimana sewaktu fluida bergerak melewati pipa, efek viskos menyebabkannya tetap menempel pada dinding pipa (kondisi lapisan batas tanpa slip) sehingga kecepatan aliran di sepanjang tepi pipa akan rendah sedangkan kecepatan di tengah-tengah pipa mengalami kenaikan. Dimana pada masing-masing variasi arah keluaran 0°, 45°, dan 90° dan jarak antaran *elbow* 90° 5D mempunyai kecepatan terendah yang terletak pada posisi alat ukur 1 dan 5 atau pada daerah tepi dinding pipa sebesar 16,06 m/s, sedangkan kecepatan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 3 atau di tengah pipa sebesar 18,55 m/s. Dari ketiga variasi di atas yang mempunyai kecepatan rata-rata tertinggi adalah variasi arah keluaran 0° dan 90° sebesar 17,28 m/s, sedangkan untuk variasi arah keluaran 45° mempunyai kecepatan rata-rata lebih rendah yaitu sebesar 17,24 m/s.



Gambar 4.26 Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 5D arah keluaran 0°, 45°, dan 90° pada Titik Pengukuran I

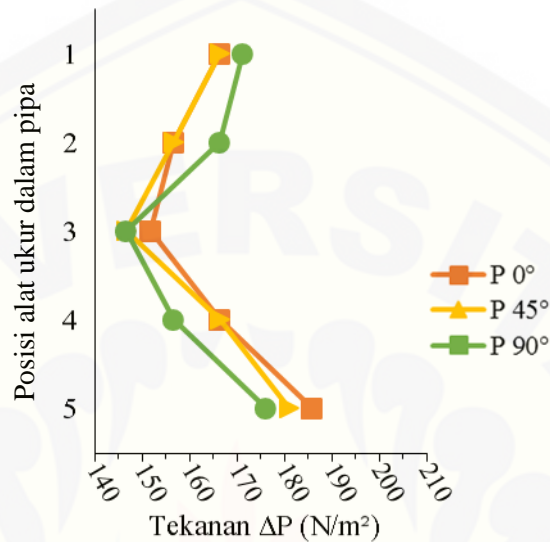
Dari Gambar 4.26 di atas bila dibandingkan dengan Gambar 4.25 dapat dilihat bahwa tekanan akan berbanding terbalik dengan kecepatan. Hal ini sesuai dengan hukum Bernoulli dimana kecepatan fluida berbanding terbalik dengan tekanan. Hal tersebut dapat diartikan apabila nilai kecepatan rendah maka nilai tekanan akan tinggi dan sebaliknya apabila nilai kecepatan tinggi maka nilai tekanan akan rendah. Dimana masing-masing variasi arah keluaran sudut 0°, 45°, dan 90° jarak antara *elbow* 90° 5D mempunyai tekanan tertinggi yang terletak pada posisi alat ukur 1 dan 5 dan tekanan terendah yang terletak pada posisi alat ukur 3. Dari ketiga variasi di atas yang mempunyai tekanan rata-rata tertinggi adalah variasi arah keluaran 90° sebesar 230,79 N/m², sedangkan untuk variasi arah keluaran 0° dan 45° mempunyai tekanan rata-rata lebih rendah yaitu sebesar 228,83 N/m², dan 226,88 N/m². Hal ini dapat disimpulkan bahwa kecepatan dan tekanan yang terjadi pada titik pengukuran I variasi jarak antara *elbow* 90° 5D berbanding terbalik.



Gambar 4.27 Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 5D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran II

Dari Gambar 4.27 di atas dapat dilihat bahwa adanya perubahan profil aliran fluida pada sumbu Y bila dibandingkan dengan Gambar 4.25, hal ini disebabkan karena aliran fluida telah melewati *elbow* 90° 1. Pengaruh *elbow* 90° 1 terlihat pada distribusi kecepatan yang terjadi, dimana kecepatan tertinggi sebelum *elbow* 90° 1 terjadi di tengah pipa, ketika melewati *elbow* 90° 1 terjadi perbedaan kecepatan yang signifikan, pada bagian dalam *elbow* 90° 1 kecepatan fluida cenderung mengalami penurunan sedangkan tekanan akan bertambah, sementara pada bagian luar *elbow* 90° 1 kecepatan fluida bertambah sedangkan tekanan akan mengalami penurunan. Dari ketiga variasi arah keluaran ini profil kecepatan cenderung seragam, dimana kecepatan tertinggi variasi arah keluaran 0° , 45° , dan 90° masing-masing sebesar 18,55 m/s, 18,55 m/s, dan 18,55 m/s yang terjadi di posisi alat ukur 5 sedangkan kecepatan terendah variasi arah keluaran 0° , 45° , dan 90° masing-masing sebesar 14,37 m/s, 14,66 m/s, dan 14,95 m/s yang terjadi di tengah-tengah pipa, hal ini terjadi karena distribusi tekanan menjadi tidak merata sehingga aliran memisahkan (terjadi separasi) yang akan menghasilkan

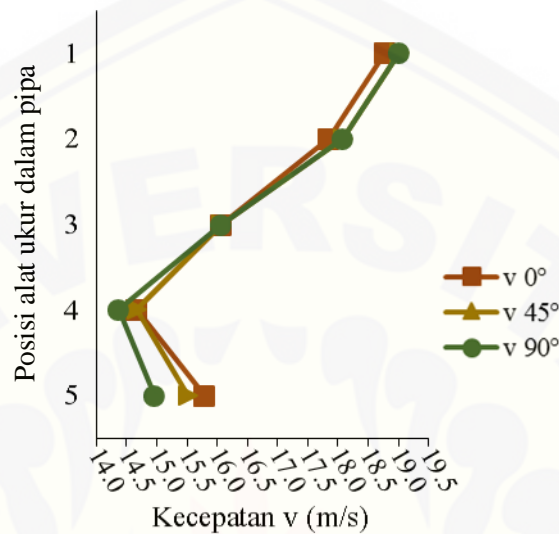
aliran sekunder/*secondary flow* yang berputar-putar dan memiliki arus balik sehingga pola aliran yang melewati *elbow* 90° mengakibatkan turbulensi.



Gambar 4.28 Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 5D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran II

Dari Gambar 4.28 di atas terlihat bahwa pada variasi 3D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° mempunyai tekanan terendah pada posisi alat ukur 3, hal itu diakibatkan adanya perubahan aliran fluida dari saluran tersebut sehingga aliran tidak mampu melawan gradien tekan yang menyebabkan aliran terpisah dan berbalik arah dari aliran utamanya yang membentuk vorteks, maka dari itu tekanan di posisi alat ukur 2 paling kecil diantara tekanan di daerah lainnya. Pada variasi arah keluaran 0° mempunyai tekanan terendah terletak pada posisi alat ukur 3 sebesar $151,56 \text{ N/m}^2$ dan tekanan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 5 atau bagian luar *elbow* 90° 1 sebesar $185,79 \text{ N/m}^2$. Pada variasi arah keluaran 45° mempunyai tekanan terendah terletak pada posisi alat ukur 3 sebesar $146,67 \text{ N/m}^2$ dan tekanan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 5 atau bagian luar *elbow* 90° 1 sebesar $180,90 \text{ N/m}^2$. Pada variasi arah keluaran 90° mempunyai tekanan terendah terletak pada posisi alat ukur 3 sebesar $146,67 \text{ N/m}^2$ dan tekanan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 5 atau bagian dalam *elbow* 90° sebesar

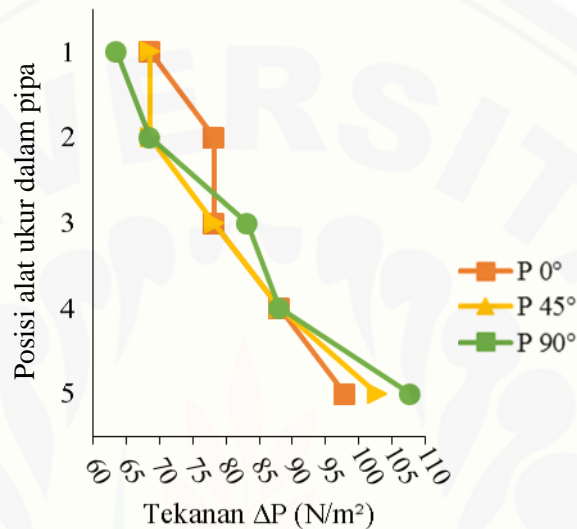
176,01 N/m². Pada variasi arah keluaran ini profil aliran cenderung seragam karena tidak ada penambahan panjang pada titik pengukuran II.



Gambar 4.29 Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 5D arah keluaran 0°, 45°, dan 90° pada Titik Pengukuran III

Dari Gambar 4.29 di atas dapat dilihat bahwa adanya perubahan profil aliran fluida pada sumbu Y bila dibandingkan dengan Gambar 4.27, hal ini disebabkan karena aliran fluida yang telah melewati *elbow* 90° 2. Pengaruh *elbow* 90° 2 terlihat pada distribusi kecepatan yang terjadi, dimana kecepatan tertinggi sebelum *elbow* 90° 2 terjadi di posisi alat ukur 5, ketika melewati *elbow* 90° 2 terjadi perbedaan kecepatan yang signifikan, pada bagian dalam *elbow* 90° kecepatan fluida cenderung mengalami penurunan sedangkan tekanan akan bertambah, sementara pada bagian luar *elbow* 90° kecepatan fluida bertambah sedangkan tekanan akan mengalami penurunan. Dari ketiga variasi arah keluaran *elbow* 90° di atas, kecepatan tertinggi masing-masing terjadi di posisi alat ukur 1 sedangkan kecepatan terendah masing-masing variasi terjadi pada posisi alat ukur 4, hal ini terjadi karena distribusi tekanan menjadi tidak merata sehingga aliran memisahkan (terjadi separasi) ke banyak aliran sekunder/*secondary flow* yang berputar-putar dan memiliki akselerasi/ arus balik sehingga pola aliran setelah melewati *elbow* 90° mengakibatkan turbulensi. Sedangkan

separasi dan aliran sekunder inilah yang menyebabkan tekanan menjadi tinggi. Dari ketiga variasi di atas yang mempunyai nilai kecepatan rata-rata tertinggi adalah variasi arah keluaran 45° sebesar $16,67 \text{ m/s}$, sedangkan untuk variasi arah keluaran 0° dan 90° mempunyai kecepatan rata-rata lebih rendah yaitu $16,63 \text{ m/s}$ dan $16,49 \text{ m/s}$.

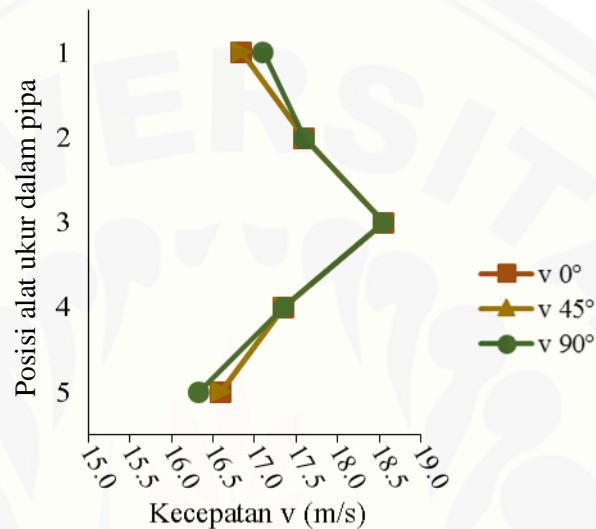


Gambar 4.30 Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 5D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran III

Dari Gambar 4.30 di atas dapat dilihat bahwa masing-masing variasi mempunyai nilai tekanan tertinggi pada posisi alat ukur 5 sedangkan tekanan terendah terjadi pada posisi alat ukur 1, hal ini diakibatkan adanya perubahan aliran fluida dari saluran tersebut sehingga aliran tidak mampu melawan gradien tekan yang menyebabkan aliran terpisah dan berbalik arah dari aliran utamanya yang membentuk vorteks, maka dari itu tekanan di sisi dalam *elbow* 90° atau posisi alat ukur 1 paling kecil diantara tekanan di daerah lainnya. Dari ketiga variasi di atas yang mempunyai nilai tekanan rata-rata terendah adalah variasi arah keluaran 45° sebesar $81,17 \text{ N/m}^2$, sedangkan untuk variasi arah keluaran 0° dan 90° mempunyai tekanan rata-rata lebih tinggi yaitu $82,15 \text{ N/m}^2$ dan $82,15 \text{ N/m}^2$. Hal ini dapat disimpulkan bahwa kecepatan dan tekanan yang terjadi pada titik pengukuran III berbanding terbalik.

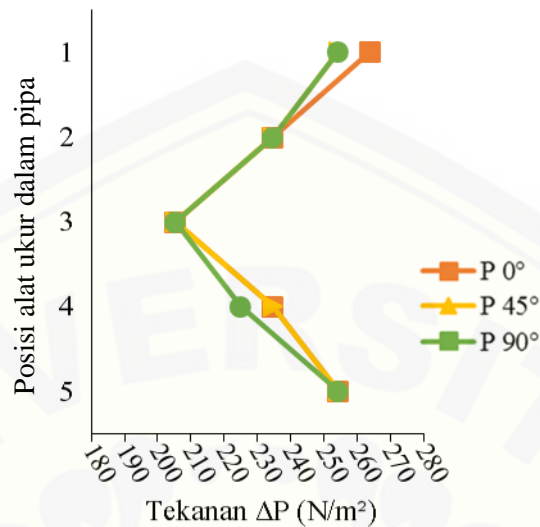
4.2.6 Pembahasan Arah Keluaran *Elbow* 90° pada Variasi 7D

Berikut adalah grafik hasil pengujian variasi arah keluaran *elbow* 90° dengan kecepatan dan tekanan aliran fluida pada setiap posisi alat ukur dalam pipa, variasi jarak antara *elbow* 90° sebesar 3D pada arah keluaran 0°, 45°, dan 90°.



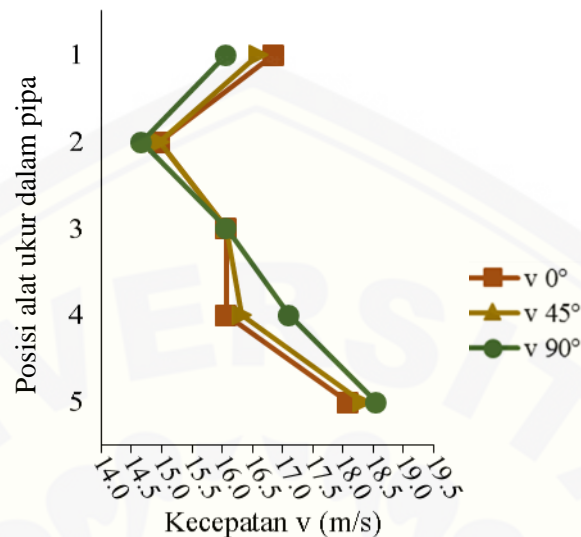
Gambar 4.31 Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 7D arah keluaran 0°, 45°, dan 90° pada Titik Pengukuran I

Dari Gambar 4.31 di atas dapat dilihat bahwa aliran fluida pada titik pengukuran I sudah berkembang penuh (*fully developed*) dimana sewaktu fluida bergerak melewati pipa, efek viskos menyebabkannya tetap menempel pada dinding pipa (kondisi lapisan batas tanpa slip) sehingga kecepatan aliran di sepanjang tepi pipa akan rendah sedangkan kecepatan di tengah-tengah pipa mengalami kenaikan. Dimana pada masing-masing variasi arah keluaran 0°, 45°, dan 90° dan jarak antaran *elbow* 90° 7D mempunyai kecepatan terendah yang terletak pada posisi alat ukur 1 dan 5 atau pada daerah tepi dinding pipa sebesar 16,06 m/s, sedangkan kecepatan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 3 atau di tengah pipa sebesar 18,55 m/s. Dari ketiga variasi di atas mempunyai kecepatan rata-rata yang sama yaitu sebesar 17,39 m/s.



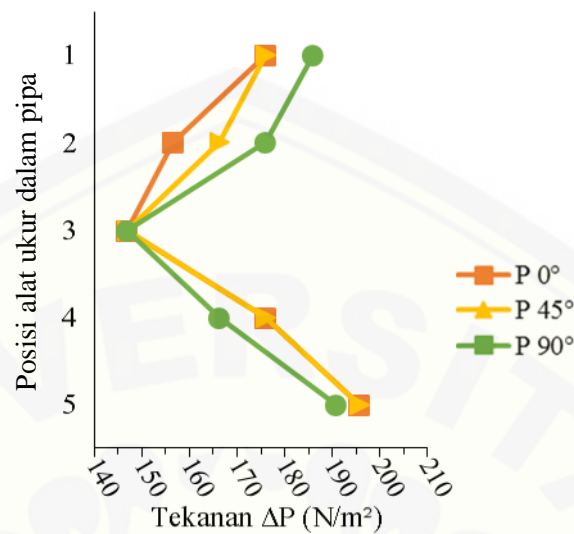
Gambar 4.32 Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 7D arah keluaran 0°, 45°, dan 90° pada Titik Pengukuran I

Dari Gambar 4.32 di atas bila dibandingkan dengan Gambar 4.31 dapat dilihat bahwa tekanan akan berbanding terbalik dengan kecepatan. Hal ini sesuai dengan hukum Bernoulli dimana kecepatan fluida berbanding terbalik dengan tekanan. Hal tersebut dapat diartikan apabila nilai kecepatan rendah maka nilai tekanan akan tinggi dan sebaliknya apabila nilai kecepatan tinggi maka nilai tekanan akan rendah. Dimana masing-masing variasi arah keluaran sudut 0°, 45°, dan 90° jarak antara *elbow* 90° 7D mempunyai tekanan tertinggi yang terletak pada posisi alat ukur 1 dan 5 dan tekanan terendah yang terletak pada posisi alat ukur 3. Dari ketiga variasi di atas yang mempunyai tekanan rata-rata tertinggi adalah variasi arah keluaran 0° sebesar 238,61 N/m², sedangkan untuk variasi arah keluaran 45° dan 90° mempunyai tekanan rata-rata lebih rendah yaitu sebesar 236,66 N/m², dan 234,70 N/m².



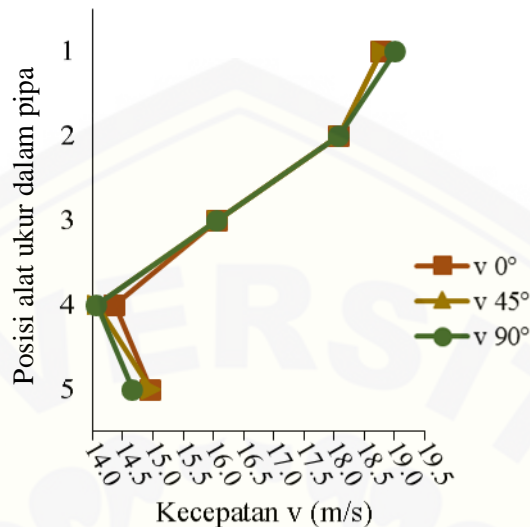
Gambar 4.33 Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 7D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran II

Dari Gambar 4.33 di atas dapat dilihat bahwa adanya perubahan profil aliran fluida pada sumbu Y bila dibandingkan dengan Gambar 4.31, hal ini disebabkan karena aliran fluida telah melewati *elbow* 90° 1. Pengaruh *elbow* 90° 1 terlihat pada distribusi kecepatan yang terjadi, dimana kecepatan tertinggi sebelum *elbow* 90° 1 terjadi di tengah pipa, ketika melewati *elbow* 90° 1 terjadi perbedaan kecepatan yang signifikan, pada bagian dalam *elbow* 90° 1 kecepatan fluida cenderung mengalami penurunan sedangkan tekanan akan bertambah, sementara pada bagian luar *elbow* 90° 1 kecepatan fluida bertambah sedangkan tekanan akan mengalami penurunan. Dari ketiga variasi arah keluaran ini profil kecepatan cenderung seragam, dimana kecepatan tertinggi variasi arah keluaran 0° , 45° , dan 90° masing-masing sebesar 18,08 m/s, 18,31 m/s, dan 18,55 m/s yang terjadi di posisi alat ukur 5 sedangkan kecepatan terendah variasi arah keluaran 0° , 45° , dan 90° masing-masing sebesar 14,95 m/s, 14,95 m/s, dan 14,66 m/s yang terjadi di tengah-tengah pipa, hal ini terjadi karena distribusi tekanan menjadi tidak merata sehingga aliran memisahkan (terjadi separasi) yang akan menghasilkan aliran sekunder/*secondary flow* yang berputar-putar dan memiliki arus balik sehingga pola aliran yang melewati *elbow* 90° mengakibatkan turbulensi.



Gambar 4.34 Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 7D arah keluaran 0°, 45°, dan 90° pada Titik Pengukuran II

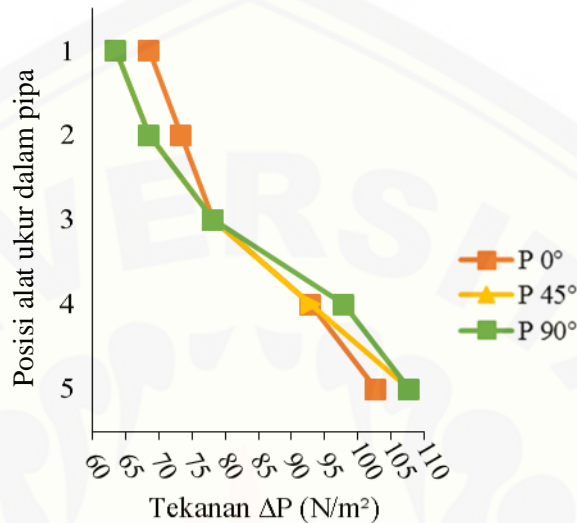
Dari Gambar 4.34 di atas terlihat bahwa pada variasi 3D arah keluaran 0°, 45°, dan 90° mempunyai tekanan terendah pada posisi alat ukur 3, hal itu diakibatkan adanya perubahan aliran fluida dari saluran tersebut sehingga aliran tidak mampu melawan gradien tekan yang menyebabkan aliran terpisah dan berbalik arah dari aliran utamanya yang membentuk vorteks, maka dari itu tekanan di posisi alat ukur 2 paling kecil diantara tekanan di daerah lainnya. Pada variasi arah keluaran 0° mempunyai tekanan terendah terletak pada posisi alat ukur 3 sebesar 146,67 N/m² dan tekanan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 5 atau bagian luar *elbow* 90° 1 sebesar 195,57 N/m². Pada variasi arah keluaran 45° mempunyai tekanan terendah terletak pada posisi alat ukur 3 sebesar 146,67 N/m² dan tekanan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 5 atau bagian luar *elbow* 90° 1 sebesar 195,67 N/m². Pada variasi arah keluaran 90° mempunyai tekanan terendah terletak pada posisi alat ukur 3 sebesar 146,67 N/m² dan tekanan tertinggi terletak pada posisi alat ukur 5 atau bagian dalam *elbow* 90° sebesar 190,68 N/m². Pada variasi arah keluaran ini profil aliran cenderung seragam karena tidak ada penambahan panjang pada titik pengukuran II.



Gambar 4.35 Grafik Kecepatan Fluida Udara Variasi 7D arah keluaran 0°, 45°, dan 90° pada Titik Pengukuran III

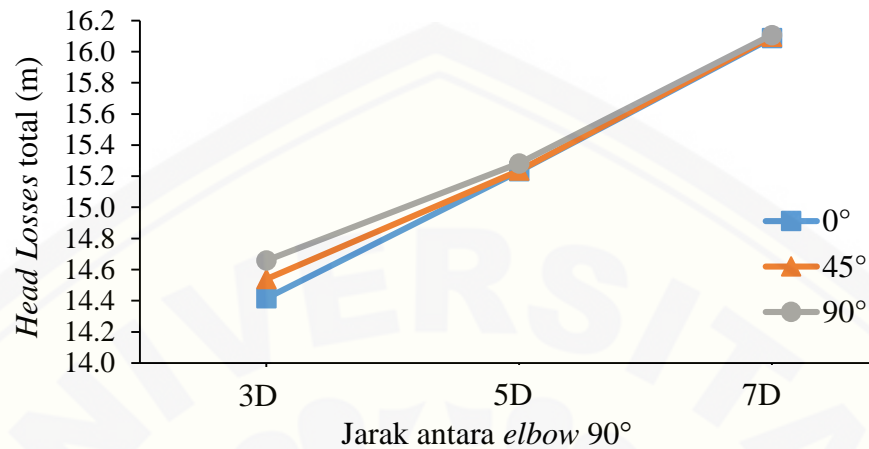
Dari Gambar 4.35 di atas dapat dilihat bahwa adanya perubahan profil aliran fluida pada sumbu Y bila dibandingkan dengan Gambar 4.33, hal ini disebabkan karena aliran fluida yang telah melewati *elbow* 90° 2. Pengaruh *elbow* 90° 2 terlihat pada distribusi kecepatan yang terjadi, dimana kecepatan tertinggi sebelum *elbow* 90° 2 terjadi di posisi alat ukur 5, ketika melewati *elbow* 90° 2 terjadi perbedaan kecepatan yang signifikan, pada bagian dalam *elbow* 90° kecepatan fluida cenderung mengalami penurunan sedangkan tekanan akan bertambah, sementara pada bagian luar *elbow* 90° kecepatan fluida bertambah sedangkan tekanan akan mengalami penurunan. Dari ketiga variasi arah keluaran *elbow* 90° di atas, kecepatan tertinggi masing-masing terjadi di posisi alat ukur 1 sedangkan kecepatan terendah masing-masing variasi terjadi pada posisi alat ukur 4, hal ini terjadi karena distribusi tekanan menjadi tidak merata sehingga aliran memisahkan (terjadi separasi) ke banyak aliran sekunder/*secondary flow* yang berputar-putar dan memiliki akselerasi/ arus balik sehingga pola aliran setelah melewati *elbow* 90° mengakibatkan turbulensi. Sedangkan separasi dan aliran sekunder inilah yang menyebabkan tekanan menjadi tinggi. Dari ketiga variasi di atas yang mempunyai nilai kecepatan rata-rata tertinggi adalah variasi

arah keluaran 0° sebesar 16,45 m/s, sedangkan untuk variasi arah keluaran 45° dan 90° mempunyai kecepatan rata-rata lebih rendah yaitu 16,39 m/s dan 16,37 m/s.



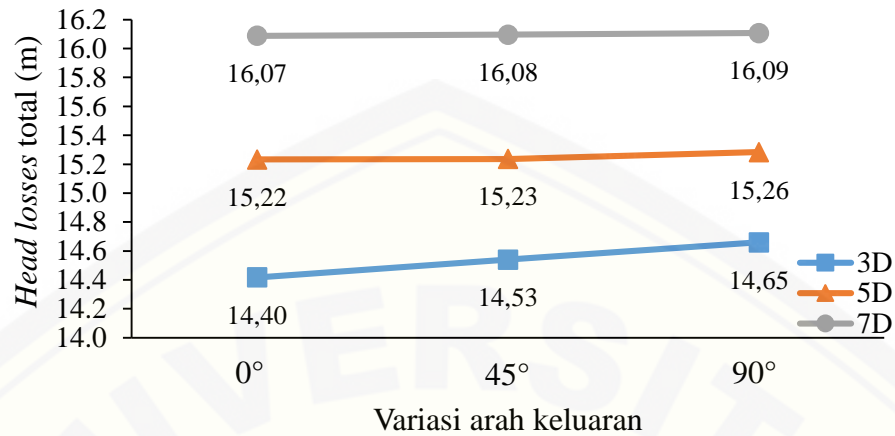
Gambar 4.36 Grafik Tekanan Fluida Udara Variasi 7D arah keluaran 0° , 45° , dan 90° pada Titik Pengukuran III

Dari Gambar 4.36 di atas dapat dilihat bahwa masing-masing variasi mempunyai nilai tekanan tertinggi pada posisi alat ukur 5 sedangkan tekanan terendah terjadi pada posisi alat ukur 1, hal ini diakibatkan adanya perubahan aliran fluida dari saluran tersebut sehingga aliran tidak mampu melawan gradien tekan yang menyebabkan aliran terpisah dan berbalik arah dari aliran utamanya yang membentuk vorteks, maka dari itu tekanan di sisi dalam *elbow* 90° atau posisi alat ukur 1 paling kecil diantara tekanan di daerah lainnya. Dari ketiga variasi di atas yang mempunyai nilai tekanan rata-rata terendah adalah variasi arah keluaran 45° sebesar 82,15 N/m², sedangkan untuk variasi arah keluaran 0° dan 90° mempunyai tekanan rata-rata lebih tinggi yaitu 83,12 N/m² dan 83,12 N/m². Hal ini dapat disimpulkan bahwa kecepatan dan tekanan yang terjadi pada titik pengukuran III berbanding terbalik.

4.2.7 Pembahasan *Head Losses* Total

Gambar 4.37 Grafik *Head Losses* Total Terhadap Jarak Antara *Elbow* 90° pada Arah Keluaran

Dari Gambar 4.37 di atas memperlihatkan *head losses* total yang terjadi pada variasi jarak antara *elbow* 90° terhadap arah keluaran. Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa panjang jarak antara *elbow* 90° mempengaruhi *head losses* total yang terjadi. Dimana dengan semakin panjang jarak antara *elbow* 90° maka nilai *head losses* total cenderung semakin tinggi, sedangkan semakin pendek jarak antara *elbow* 90° maka nilai *head losses* semakin kecil. Sedangkan semakin besar sudut arah keluaran, maka nilai *head losses* akan besar. Berdasarkan grafik di atas nilai *head losses* total pada variasi arah keluaran 0° adalah (14,40 m; 15,22 m; dan 16,07 m), variasi arah keluaran 45° adalah (14,53 m; 15,23 m; dan 16,08) dan variasi arah keluaran 90° adalah (14,65 m; 15,26 m; dan 16,09 m).



Gambar 4.38 Grafik *Head Losses* terhadap Arah Keluaran pada Variasi Jarak Antara *Elbow 90°*

Dari Gambar 4.38 di atas memperlihatkan *head losses* total yang terjadi pada variasi arah keluaran terhadap jarak antara *elbow 90°*. Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa variasi arah keluaran mempengaruhi *head losses* total yang terjadi. Dimana dengan semakin semakin besar sudut arah keluaran maka nilai *head losses* total cenderung semakin tinggi, sedangkan semakin kecil sudut arah keluaran maka nilai *head losses* semakin kecil. Berdasarkan grafik di atas nilai *head losses* total pada variasi arah 3D adalah (14,40 m; 14,53 m; dan 14,65 m), variasi 5D adalah (15,22 m; 15,23 m; dan 15,26 m) dan variasi 7D adalah (16,07 m; 16,08 m; dan 16,09 m).

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian *head losses* pada dua buah sambungan *elbow 90°* (lengkungan S) dengan variasi jarak antara *elbow 90°* dan arah keluaran yaitu :

1. Posisi alat ukur dalam pipa cenderung mempengaruhi kecepatan dan tekanan, dimana kecepatan tertinggi pada titik pengukuran I berada di tengah-tengah pipa atau pada posisi alat ukur 3 dan kecepatan terendah terjadi di tepi dinding pipa atau pada posisi alat ukur 1 dan 5, sedangkan tekanan sebaliknya. Pada titik pengukuran II kecepatan tertinggi terjadi pada posisi alat ukur 5 dan kecepatan terendah terjadi pada posisi alat ukur 2, sedangkan tekanan tertinggi terjadi pada posisi alat ukur 5 dan tekanan terendah terjadi pada posisi alat ukur 5. Dan pada titik pengukuran III kecepatan tertinggi terjadi pada posisi alat ukur 1 dan kecepatan terendah terjadi pada posisi alat ukur 4, sedangkan tekanan tertinggi terjadi pada posisi alat ukur 5 dan tekanan terendah terjadi pada posisi alat ukur 1.
2. Kecepatan rata-rata fluida keluaran tertinggi terjadi pada variasi 5D arah keluaran 45° sebesar 16,67 m/s pada titik pengukuran III, sedangkan tekanan terendah terjadi pada variasi 3D arah keluaran 45° sebesar 79,21 N/m² pada titik pengukuran III.
3. *Head losses* total yang paling tinggi terjadi pada variasi 7D dan arah keluaran 90° sebesar 16,09 m.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat di berikan oleh penulis untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Untuk menghasilkan data yang lebih detail dan akurat, maka harus menggunakan alat ukur yang lebih presisi dari manometer U. Karena manometer U nilai yang dapat di baca adalah 1 mm.
2. Agar pola aliran dalam pipa dapat di ketahui secara jelas pada setiap sisi pipa maka ada baiknya untuk penelitian selanjutnya pengukuran dilakukan pada sumbu koordinat penampang pipa yaitu (penampang X).



DAFTAR PUSTAKA

- Agriethira. 2011. *Hukum Bernoulli*. (online). (Sumber: <http://agiet27.wordpress.com/2011/03/07/hukum-bernoulli/>, diakses 20 Juli 2014).
- Chapter II. 2011. *Bab II Dasar Teori*. (online). (Sumber: <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/33133/4/Chapter%20II.pdf>, diakses 12 Agustus 2014).
- Dilah. 2009. *Bab 8 Dinamika Fluida*. (online). (Sumber: <http://cakdilah.files.wordpress.com/2009/03/bab-8-dinamika-fluida.pdf>, diakses 09 Februari 2014).
- Haruo, Tahara dan Sularso. 2000. *Pompa dan Kompresor. Pemilihan Pemakaian dan Pemeliharaan (Terjemahan)*. Jakarta: Pradnya Pramita.
- Helmizar. 2011. *Studi Eksperimental Tentang Head Loss Pada Aliran Fluida Yang Melalui Elbow 90°*. Jurnal teknik Mesin, vol 5 No. 1: 26 – 31.
- Hijjah, Eka Wahyunidatul dan Adiwibowo, Priyo Heru. 2014. *Pengaruh Variasi Sudut Elbow Intake Manifold Terhadap Emisi Gas Buang Pada Sepeda Motor Supra X Tahun 2002*. Surabaya: JTM. Volume 03 Nomor 02.
- ITB, Modul 1.01. 2001. *Aliran Fluida*. Departemen Teknik Kimia ITB, 1-17.
- Mahardika, Bagus Krida Pratama. 2014. *Analisa Penurunan Head Losses pada Belokan Pipa Expansion Loop Vertikal dengan Variasi Tinggi dan Lebar Pipa*. Jember: Skripsi Teknik Mesin – Unej.
- Malau, Juhari. 2012. *Analisa Pressure Drop Pada Sistem Perpipaan Fuel Oil Boiler Pada PT.PLN Pembangkitan Sumatera Bagian Utara Sicanang – Belawan Dengan Menggunakan Pipe Flow Expert*. Jurnal e-Dinamis, Volume 3, No. 3.
- Manurung, Benari H. 2012. *Sistem Pemeliharaan Dan Cara Kerja Peralatan Blower Di Pabrik Mini PTKI – Medan*. Medan: Skripsi Universitas Sumatera Utara
- Munson, et al. 2002. *Mekanika Fluida*. Jakarta: Erlangga.

- Raswari. 1986. *Teknologi dan Perencanaan Sistem Perpipaan*. Jakarta: Universitas Indonesia (UI – Pres).
- Salimin. 2009. *Pengaruh Perubahan Aliran Terhadap Koefisien Kerugian*. *Dinamika Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Vol.1: 17-20.
- Triatmojo, Bambang. 1993. *Hidrolika II*. Yogyakarta: Beta Offset.
- White, Frank.M. 1986. *Mekanika Fluida*. Jakarta: Erlangga.
- Wicaksono, Bayu Argo dan Adiwibowo, Priyo Heru. 2014. *Pengaruh Modifikasi Intake Manifold dengan Sudut Kelengkungan sampai $\frac{3}{4}$ Putaran (270°) terhadap Unjuk Kerja Mesin Supra X Tahun 2002*. Surabaya: JTM. Volume 03 Nomor 02.
- Wright dan Olson. 1993. *Dasar – Dasar Mekanika Fluida Teknik*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Zainudin, dkk. 2012. *Analisis Pengaruh Variasi Sudut Sambungan Belokan Terhadap Head Losses Aliran Pipa*. *Jurnal ISSN: 2088-088x*, Vol 2 No. 2: 14-22.

LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN

Tabel L1.1 Hasil Penelitian pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 3D dan Arah Keluaran Lurus

Δh Kecepatan			
Posisi Alat Ukur	I (m)	II (m)	III (m)
1	0,0155	0,0145	0,0200
2	0,0170	0,0135	0,0180
3	0,0200	0,0120	0,0150
4	0,0175	0,0145	0,0125
5	0,0155	0,0210	0,0135
Δh Tekanan statis			
Posisi Alat Ukur	I (m)	II (m)	III (m)
1	0,0260	0,0180	0,0070
2	0,0230	0,0160	0,0070
3	0,0210	0,0160	0,0080
4	0,0230	0,0175	0,0090
5	0,0260	0,0210	0,0100

L1.1 Perhitungan Kecepatan Fluida

Menggunakan rumus:

$$v = \sqrt{\frac{2\rho'gh}{\rho}}$$

Dimana: v = kecepatan fluida (m/s)

ρ' = massa jenis zat cair dalam manometer pada suhu 25°C = 997,1 kg/m³

ρ = massa jenis udara pada suhu 37°C = 1,137 kg/m³

g = gravitasi bumi = 9,80665 m/s²

h = selisih ketinggian air pada manometer (m)

maka perhitungannya sebagai berikut:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 \times 997,1 \times 9,80665 \times 0,0155}{1,137}}$$

$$v_1 = 16,33 \text{ m/s}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \times 997,1 \times 9,80665 \times 0,017}{1,137}}$$

$$v_2 = 17,10 \text{ m/s}$$

$$v_3 = \sqrt{\frac{2 \times 997,1 \times 9,80665 \times 0,020}{1,137}}$$

$$v_3 = 18,55 \text{ m/s}$$

$$v_4 = \sqrt{\frac{2 \times 997,1 \times 9,80665 \times 0,0175}{1,137}}$$

$$v_4 = 17,35 \text{ m/s}$$

$$v_5 = \sqrt{\frac{2 \times 997,1 \times 9,80665 \times 0,0155}{1,137}}$$

$$v_5 = 16,33 \text{ m/s}$$

L1.2 Perhitungan Tekanan

Menggunakan rumus:

$$P = \rho' g h$$

Dimana: P = Tekanan (N/m²)

ρ' = massa jenis zat cair dalam manometer pada suhu 35°C = 997,1 kg/m³

g = gravitasi bumi = 9,80665 m/s²

h = selisih tekanan stasis pada manometer (m)

Maka perhitungannya sebagai berikut:

$$P_1 = 997,1 \times 9,80665 \times 0,026 = 254,26 \text{ N/m}^2$$

$$P_2 = 997,1 \times 9,80665 \times 0,023 = 224,92 \text{ N/m}^2$$

$$P_3 = 997,1 \times 9,80665 \times 0,021 = 205,36 \text{ N/m}^2$$

$$P_4 = 997,1 \times 9,80665 \times 0,023 = 224,92 \text{ N/m}^2$$

$$P_5 = 997,1 \times 9,80665 \times 0.026 = 254,26 \text{ N/m}^2$$

L1.3 Perhitungan Nilai *Head Losses Mayor*

Tabel L1.2 Hasil Perhitungan Kecepatan Rata-rata pada Dua Buah *Elbow* 90°
(Lengkungan S)

Variasi 3D dan arah keluaran 0°		
v_I (m/s)	v_{II} (m/s)	v_{III} (m/s)
17,13	16,04	16,42
Variasi 3D dan arah keluaran 45°		
v_I (m/s)	v_{II} (m/s)	v_{III} (m/s)
17,18	16,24	16,42
Variasi 3D dan arah keluaran 90°		
v_I (m/s)	v_{II} (m/s)	v_{III} (m/s)
17,28	16,29	16,40
Variasi 5D dan arah keluaran 0°		
v_I (m/s)	v_{II} (m/s)	v_{III} (m/s)
17,28	16,99	16,63
Variasi 5D dan arah keluaran 45°		
v_I (m/s)	v_{II} (m/s)	v_{III} (m/s)
17,24	16,11	16,67
Variasi 5D dan arah keluaran 90°		
v_I (m/s)	v_{II} (m/s)	v_{III} (m/s)
17,28	16,23	16,29
Variasi 7D dan arah keluaran 0°		
v_I (m/s)	v_{II} (m/s)	v_{III} (m/s)
17,39	16,40	16,45
Variasi 7D dan arah keluaran 45°		
v_I (m/s)	v_{II} (m/s)	v_{III} (m/s)
17,39	16,45	16,39
Variasi 7D dan arah keluaran 90°		
v_I (m/s)	v_{II} (m/s)	v_{III} (m/s)
17,39	16,49	16,37

Menggunakan rumus:

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

Dimana: h_f = head losses mayor (m)

f = faktor gesekan (Diagram Moody) = 0,023

L = panjang pipa = 1,2 m

D = diameter pipa = 0,04445 m

v = kecepatan fluida (m/s)

g = gravitasi bumi = 9,80665 m/s²

maka perhitungannya sebagai berikut:

$$h_{fI} = 0,023 \times \frac{1,2}{0,04445} \times \frac{17,13^2}{2 \times 9,80665}$$

$$h_{fI} = 9,29 \text{ m}$$

$$h_{fII} = 0,023 \times \frac{0,13335}{0,04445} \times \frac{16,04^2}{2 \times 9,80665}$$

$$h_{fII} = 0,91 \text{ m}$$

$$h_{fIII} = 0,023 \times \frac{0,0875}{0,04445} \times \frac{16,42^2}{2 \times 9,80665}$$

$$h_{fIII} = 0,62 \text{ m}$$

L1.4 Perhitungan Nilai Head Losses Minor

Menggunakan rumus:

$$h_m = k_{kb} \frac{v^2}{2g}$$

Dimana: h_m = head losses minor (m)

k_{kb} = koefisien kerugian belokan

$$k_{kb} = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2R} \right)^{3,5} \right] \left(\frac{\theta}{90} \right)^{0,5}$$

$$k_{kb} = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{1,75}{2 \times 5,75} \right)^{3,5} \right] \left(\frac{90}{90} \right)^{0,5}$$

$$= 0,1335$$

v = kecepatan fluida (m/s)

g = gravitasi bumi = 9,80665 m/s²

maka perhitungannya sebagai berikut:

$$h_{m \text{ II}} = 0,1335 \frac{16,04^2}{2 \times 9,80665}$$

$$h_{m \text{ II}} = 1,75 \text{ m}$$

$$h_{m \text{ III}} = 0,1335 \frac{16,42^2}{2 \times 9,80665}$$

$$h_{m \text{ III}} = 1,84 \text{ m}$$

L1.5 Perhitungan *Head Losses* Total

Menggunakan rumus:

$$h_t = h_{f \text{ I}} + (h_{f \text{ II}} + h_{m \text{ II}}) + (h_{f \text{ III}} + h_{m \text{ III}})$$

Dimana : h_t = *head losses* total (m)

$h_{f \text{ I}}$ = *head losses* mayor pada kecepatan I (m)

$h_{f \text{ II}}$ = *head losses* mayor pada kecepatan II (m)

$h_{f \text{ III}}$ = *head losses* mayor pada kecepatan III (m)

$h_{m \text{ II}}$ = *head losses* minor pada kecepatan II (m)

$h_{m \text{ III}}$ = *head losses* minor pada kecepatan III (m)

maka perhitungannya sebagai berikut :

$$h_t = h_{f \text{ I}} + (h_{f \text{ II}} + h_{m \text{ II}}) + (h_{f \text{ III}} + h_{m \text{ III}})$$

$$= 9,29 + (0,91 + \mathbf{1,75}) + (0,62 + \mathbf{1,84}) = 14,40 \text{ m}$$

Head losses total pada variasi 3D arah keluaran 45°

$$h_t = h_{fI} + (h_{fII} + h_{mII}) + (h_{fIII} + h_{mIII})$$
$$= 9,35 + (0,93 + \mathbf{1,80}) + (0,62 + \mathbf{1,84}) = 14,53 \text{ m}$$

Head losses total pada variasi 3D arah keluaran 90°

$$h_t = h_{fI} + (h_{fII} + h_{mII}) + (h_{fIII} + h_{mIII})$$
$$= 9,45 + (0,93 + \mathbf{1,81}) + (0,62 + \mathbf{1,83}) = 14,65 \text{ m}$$

Head losses total pada variasi 5D arah keluaran 0°

$$h_t = h_{fI} + (h_{fII} + h_{mII}) + (h_{fIII} + h_{mIII})$$
$$= 9,46 + (1,50 + \mathbf{1,74}) + (0,64 + \mathbf{1,88}) = 15,22 \text{ m}$$

Head losses total pada variasi 5D arah keluaran 45°

$$h_t = h_{fI} + (h_{fII} + h_{mII}) + (h_{fIII} + h_{mIII})$$
$$= 9,41 + (1,52 + \mathbf{1,77}) + (0,64 + \mathbf{1,89}) = 15,23 \text{ m}$$

Head losses total pada variasi 5D arah keluaran 90°

$$h_t = h_{fI} + (h_{fII} + h_{mII}) + (h_{fIII} + h_{mIII})$$
$$= 9,45 + (1,54 + \mathbf{1,79}) + (0,63 + \mathbf{1,85}) = 15,26 \text{ m}$$

Head losses total pada variasi 7D arah keluaran 0°

$$h_t = h_{fI} + (h_{fII} + h_{mII}) + (h_{fIII} + h_{mIII})$$
$$= 9,58 + (2,21 + \mathbf{1,83}) + (0,62 + \mathbf{1,84}) = 16,07 \text{ m}$$

Head losses total pada variasi 7D arah keluaran 45°

$$h_t = h_{fI} + (h_{fII} + h_{mII}) + (h_{fIII} + h_{mIII})$$
$$= 9,58 + (2,22 + \mathbf{1,84}) + (0,62 + \mathbf{1,83}) = 16,08 \text{ m}$$

Head losses total pada variasi 7D arah keluaran 90°

$$h_t = h_{fI} + (h_{fII} + h_{mII}) + (h_{fIII} + h_{mIII})$$
$$= 9,57 + (2,23 + \mathbf{1,85}) + (0,62 + \mathbf{1,82}) = 16,09 \text{ m}$$

LAMPIRAN 2 TABEL

L2.1 Hasil Perhitungan Kecepatan dan Tekanan pada Variasi Jarak Antara Elbow 90° dan Arah Keluaran

Tabel L2.1 Hasil Perhitungan Kecepatan dan Tekanan pada Variasi Jarak Antara Elbow 90° 3D dan Arah Keluaran 0°

Kecepatan (v)			
Posisi alat ukur	v _I (m/s)	v _{II} (m/s)	v _{III} (m/s)
1	16,33	15,79	18,55
2	17,10	15,24	17,60
3	18,55	14,37	16,06
4	17,35	15,79	14,66
5	16,33	19,01	15,24
Tekanan (ΔP)			
Posisi alat ukur	ΔP _I (N/m ²)	ΔP _{II} (N/m ²)	ΔP _{III} (N/m ²)
1	254,26	176,03	68,45
2	224,92	156,47	68,45
3	205,36	156,47	78,23
4	224,92	171,14	88,01
5	254,26	205,36	97,79

Tabel L2.2 Hasil Perhitungan Kecepatan dan Tekanan pada Variasi Jarak Antara Elbow 90° 3D dan Arah Keluaran 45°

Kecepatan (v)			
Posisi alat ukur	v _I (m/s)	v _{II} (m/s)	v _{III} (m/s)
1	16,85	15,52	18,55
2	17,10	15,52	17,60
3	18,55	14,66	16,06
4	17,35	16,06	14,66
5	16,06	19,45	15,24
Tekanan (ΔP)			
Posisi alat ukur	ΔP _I (N/m ²)	ΔP _{II} (N/m ²)	ΔP _{III} (N/m ²)
1	254,26	176,03	63,57
2	224,92	161,36	68,45
3	205,36	156,47	78,23
4	224,92	166,25	88,01
5	244,48	195,58	97,79

Tabel L2.3 Hasil Perhitungan Kecepatan dan Tekanan pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 3D dan Arah Keluaran 90°

Kecepatan (v)			
Posisi alat ukur	v _I (m/s)	v _{II} (m/s)	v _{III} (m/s)
1	16,85	15,24	18,55
2	17,35	15,52	18,08
3	18,55	14,66	16,06
4	17,60	16,59	14,37
5	16,06	19,45	14,95
Tekanan (ΔP)			
Posisi alat ukur	ΔP_I (N/m ²)	ΔP_{II} (N/m ²)	ΔP_{III} (N/m ²)
1	254,26	185,81	63,57
2	234,70	166,25	68,45
3	195,58	156,47	78,23
4	224,92	166,25	88,01
5	244,48	185,81	107,57

Tabel L2.4 Hasil Perhitungan Kecepatan dan Tekanan pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 5D dan Arah Keluaran 0°

Kecepatan (v)			
Posisi alat ukur	v _I (m/s)	v _{II} (m/s)	v _{III} (m/s)
1	16,85	16,59	18,78
2	17,35	14,37	17,84
3	18,55	14,95	16,06
4	17,35	15,52	14,66
5	16,33	18,55	15,79
Tekanan (ΔP)			
Posisi alat ukur	ΔP_I (N/m ²)	ΔP_{II} (N/m ²)	ΔP_{III} (N/m ²)
1	254,26	166,25	68,45
2	224,92	156,47	78,23
3	195,58	151,58	78,23
4	224,92	166,25	88,01
5	244,48	185,81	97,79

Tabel L2.5 Hasil Perhitungan Kecepatan dan Tekanan pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 5D dan Arah Keluaran 45°

Kecepatan (v)			
Posisi alat ukur	v _I (m/s)	v _{II} (m/s)	v _{III} (m/s)
1	16,85	16,33	19,01
2	17,35	14,66	18,08
3	18,55	15,52	16,06
4	17,35	15,52	14,66
5	16,06	18,55	15,52
Tekanan (ΔP)			
Posisi alat ukur	ΔP_I (N/m ²)	ΔP_{II} (N/m ²)	ΔP_{III} (N/m ²)
1	254,26	166,25	68,45
2	224,92	156,47	68,45
3	195,58	146,69	78,23
4	215,14	166,25	88,01
5	244,48	180,92	102,68

Tabel L2.6 Hasil Perhitungan Kecepatan dan Tekanan pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 5D dan Arah Keluaran 90°

Kecepatan (v)			
Posisi alat ukur	v _I (m/s)	v _{II} (m/s)	v _{III} (m/s)
1	16,85	16,06	19,01
2	17,60	14,95	18,08
3	18,55	15,52	16,06
4	17,35	16,06	14,37
5	16,06	18,55	14,95
Tekanan (ΔP)			
Posisi alat ukur	ΔP_I (N/m ²)	ΔP_{II} (N/m ²)	ΔP_{III} (N/m ²)
1	254,26	171,14	63,57
2	234,70	166,25	68,45
3	195,58	146,69	83,12
4	224,92	156,47	88,01
5	244,48	176,03	107,57

Tabel L2.7 Hasil Perhitungan Kecepatan dan Tekanan pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 7D dan Arah Keluaran 0°

Kecepatan (v)			
Posisi alat ukur	v _I (m/s)	v _{II} (m/s)	v _{III} (m/s)
1	16,85	16,85	18,78
2	17,60	14,95	18,08
3	18,55	16,06	16,06
4	17,35	16,06	14,36
5	16,59	18,08	14,95
Tekanan (ΔP)			
Posisi alat ukur	ΔP_I (N/m ²)	ΔP_{II} (N/m ²)	ΔP_{III} (N/m ²)
1	264,04	176,03	68,45
2	234,70	156,47	73,34
3	205,36	146,69	78,23
4	234,70	176,03	92,90
5	254,26	195,58	102,68

Tabel L2.8 Hasil Perhitungan Kecepatan dan Tekanan pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 7D dan Arah Keluaran 45°

Kecepatan (v)			
Posisi alat ukur	v _I (m/s)	v _{II} (m/s)	v _{III} (m/s)
1	16,85	16,59	18,78
2	17,60	14,95	18,08
3	18,55	16,06	16,06
4	17,35	16,33	14,06
5	16,59	18,31	14,95
Tekanan (ΔP)			
Posisi alat ukur	ΔP_I (N/m ²)	ΔP_{II} (N/m ²)	ΔP_{III} (N/m ²)
1	254,26	176,03	63,57
2	234,70	166,25	68,45
3	205,36	146,69	78,23
4	234,70	176,03	92,90
5	254,26	195,58	107,57

Tabel L2.9 Hasil Perhitungan Kecepatan dan Tekanan pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 7D dan Arah Keluaran 90°

Kecepatan (v)			
Posisi alat ukur	v _I (m/s)	v _{II} (m/s)	v _{III} (m/s)
1	17,10	16,06	19,01
2	17,60	14,66	18,08
3	18,55	16,06	16,06
4	17,35	17,10	14,06
5	16,33	18,55	14,66
Tekanan (ΔP)			
Posisi alat ukur	ΔP_I (N/m ²)	ΔP_{II} (N/m ²)	ΔP_{III} (N/m ²)
1	254,26	185,81	63,57
2	234,70	176,03	68,45
3	205,36	146,69	78,23
4	225,92	166,25	97,79
5	254,26	190,70	107,57

L2.2 Hasil Perhitungan *Head Losses* Total pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° dan Arah Keluaran

Tabel L2.10 Hasil Perhitungan *Head Losses* Total pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 3D dan Arah Keluaran 0°

<i>Head losses</i> total (m)			
Posisi alat ukur	h _{II} (m)	h _{III} (m)	h _{III} (m)
1	9,29	11,04	14,40

Tabel L2.11 Hasil Perhitungan *Head Losses* Total pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 3D dan Arah Keluaran 45°

<i>Head losses</i> total (m)			
Posisi alat ukur	h _{II} (m)	h _{III} (m)	h _{III} (m)
1	9,35	11,14	14,53

Tabel L2.12 Hasil Perhitungan *Head Losses* Total pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 3D dan Arah Keluaran 90°

<i>Head losses</i> total (m)			
Posisi alat ukur	h _{II} (m)	h _{III} (m)	h _{III} (m)
1	9,45	11,26	14,65

Tabel L2.13 Hasil Perhitungan *Head Losses* Total pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 5D dan Arah Keluaran 0°

<i>Head losses total (m)</i>			
Posisi alat ukur	h_{II} (m)	h_{III} (m)	h_{III} (m)
1	9,46	11,20	15,22

Tabel L2.14 Hasil Perhitungan *Head Losses* Total pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 5D dan Arah Keluaran 45°

<i>Head losses total (m)</i>			
Posisi alat ukur	h_{II} (m)	h_{III} (m)	h_{III} (m)
1	9,41	11,18	15,23

Tabel L2.15 Hasil Perhitungan *Head Losses* Total pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 5D dan Arah Keluaran 90°

<i>Head losses total (m)</i>			
Posisi alat ukur	h_{II} (m)	h_{III} (m)	h_{III} (m)
1	9,45	11,25	15,26

Tabel L2.16 Hasil Perhitungan *Head Losses* Total pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 7D dan Arah Keluaran 0°

<i>Head losses total (m)</i>			
Posisi alat ukur	h_{II} (m)	h_{III} (m)	h_{III} (m)
1	9,57	11,40	16,07

Tabel L2.17 Hasil Perhitungan *Head Losses* Total pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 7D dan Arah Keluaran 45°

<i>Head losses total (m)</i>			
Posisi alat ukur	h_{II} (m)	h_{III} (m)	h_{III} (m)
1	9,57	11,41	16,08

Tabel L2.18 Hasil Perhitungan *Head Losses* Total pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 7D dan Arah Keluaran 90°

<i>Head losses total (m)</i>			
Posisi alat ukur	h_{II} (m)	h_{III} (m)	h_{III} (m)
1	9,57	11,42	16,09

L2.3 Hasil Perhitungan Bilangan *Reynolds* pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° dan arah Keluaran

Tabel L2.19 Hasil Perhitungan Bilangan *Reynolds* pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 3D dan Arah Keluaran 0°

Bilangan <i>Reynolds</i>			
Posisi alat ukur	Re I	Re II	Re III
1	38.942,13	37.664,99	44.235,28
2	40.782,92	36.342,99	41.965,28
3	44.235,28	34.264,50	38.308,88
4	41.378,32	37.664,99	34.971,06
5	38.942,13	45.327,68	36.342,99

Tabel L2.20 Hasil Perhitungan Bilangan *Reynolds* pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 3D dan Arah Keluaran 45°

Bilangan <i>Reynolds</i>			
Posisi alat ukur	Re I	Re II	Re III
1	40.178,69	37.009,89	44.235,28
2	40.782,92	37.009,89	41.965,28
3	44.235,28	34.971,06	38.308,88
4	41.378,32	38.308,88	34.971,06
5	38.308,88	46.394,36	36.342,99

Tabel L2.21 Hasil Perhitungan Bilangan *Reynolds* pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 3D dan Arah Keluaran 90°

Bilangan <i>Reynolds</i>			
Posisi alat ukur	Re I	Re II	Re III
1	40.178,69	36.342,99	44.235,28
2	41.378,32	37.009,89	43.115,22
3	44.235,28	34.971,06	38.308,88
4	41.965,28	39.565,24	34.264,50
5	38.308,88	46.394,36	35.663,63

Tabel L2.22 Hasil Perhitungan Bilangan *Reynolds* pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 5D dan Arah Keluaran 0°

Bilangan <i>Reynolds</i>			
Posisi alat ukur	Re I	Re II	Re III
1	40.178,69	39.565,24	44.784,81
2	41.378,32	34.264,50	42.544,13
3	44.235,28	35.663,63	38.308,88
4	41.378,32	37.009,89	34.971,06
5	38.942,13	44.235,28	37.664,99

Tabel L2.23 Hasil Perhitungan Bilangan *Reynolds* pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 5D dan Arah Keluaran 45°

Bilangan <i>Reynolds</i>			
Posisi alat ukur	Re I	Re II	Re III
1	40.178,69	38.942,13	45.327,68
2	41.378,32	34.971,06	43.115,22
3	44.235,28	37.009,89	38.308,88
4	41.378,32	37.009,89	34.971,06
5	38.308,88	44.235,28	37.009,89

Tabel L2.24 Hasil Perhitungan Bilangan *Reynolds* pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 5D dan Arah Keluaran 90°

Bilangan <i>Reynolds</i>			
Posisi alat ukur	Re I	Re II	Re III
1	40.178,69	38.308,88	45.327,68
2	41.965,28	35.663,63	43.115,22
3	44.235,28	37.009,89	38.308,88
4	41.378,32	38.308,88	34.264,50
5	38.308,88	44.235,28	35.663,63

Tabel L2.25 Hasil Perhitungan Bilangan *Reynolds* pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 7D dan Arah Keluaran 0°

Bilangan <i>Reynolds</i>			
Posisi alat ukur	Re I	Re II	Re III
1	40.178,69	40.178,69	44.784,81
2	41.965,28	35.663,63	43.115,22
3	44.235,28	38.308,88	38.308,88
4	41.378,32	38.308,88	34.264,50
5	39.565,24	43.115,22	35.663,63

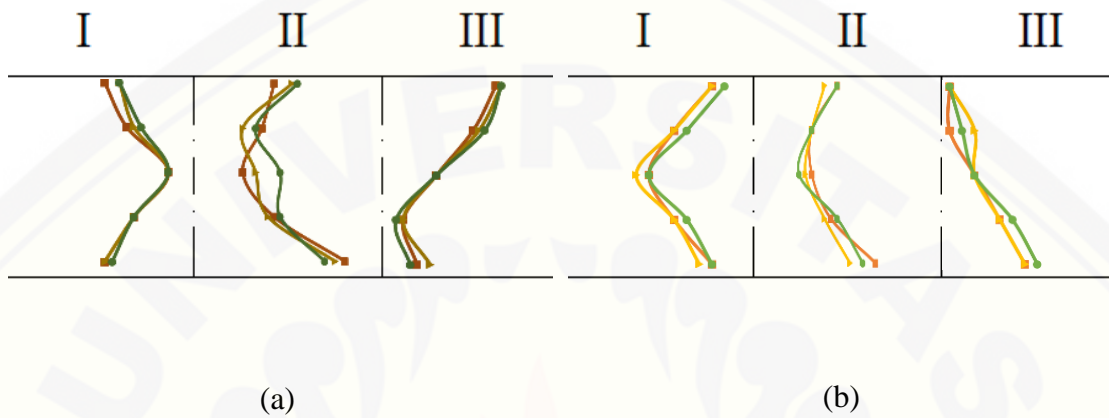
Tabel L2.26 Hasil Perhitungan Bilangan *Reynolds* pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 7D dan Arah Keluaran 45°

Bilangan <i>Reynolds</i>			
Posisi alat ukur	Re I	Re II	Re III
1	40.178,69	39.565,24	44.784,81
2	41.965,28	35.663,63	43.115,22
3	44.235,28	38.308,88	38.308,88
4	41.378,32	38.942,13	33.543,07
5	39.565,24	43.678,84	35.663,63

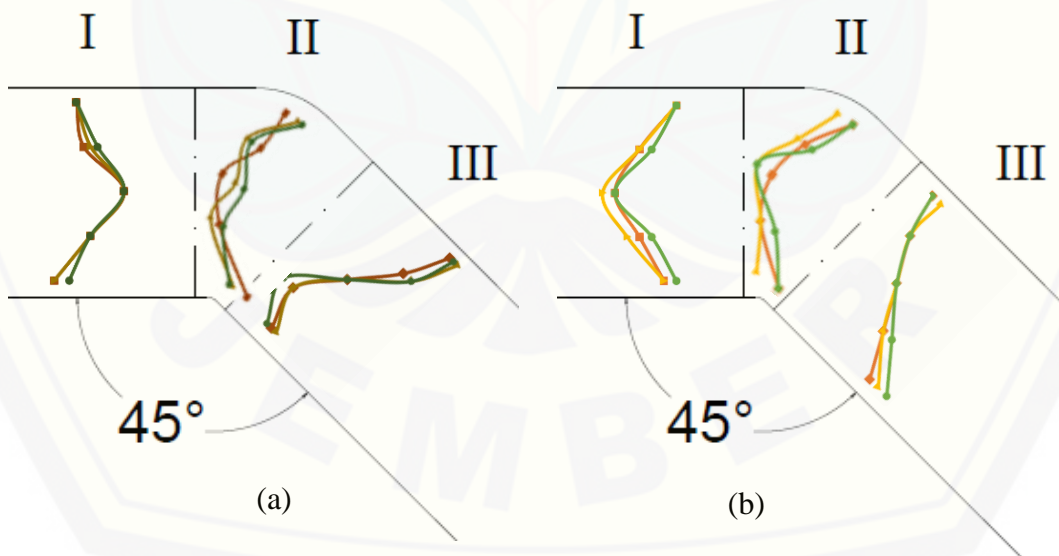
Tabel L2.27 Hasil Perhitungan Bilangan *Reynolds* pada Variasi Jarak Antara *Elbow* 90° 7D dan Arah Keluaran 90°

Bilangan <i>Reynolds</i>			
Posisi alat ukur	Re I	Re II	Re III
1	40.782,92	38.308,88	45.327,68
2	41.965,28	34.971,06	43.115,22
3	44.235,28	38.308,88	38.308,88
4	41.378,32	40.782,92	33.543,07
5	38.942,13	44.235,28	34.971,06

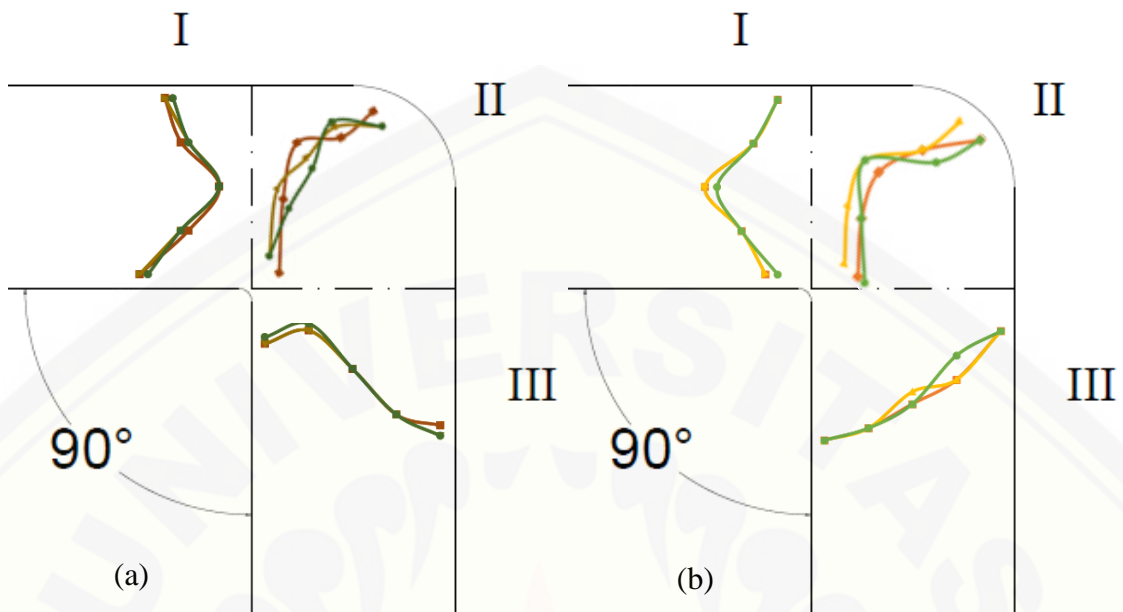
LAMPIRAN 3 GAMBAR



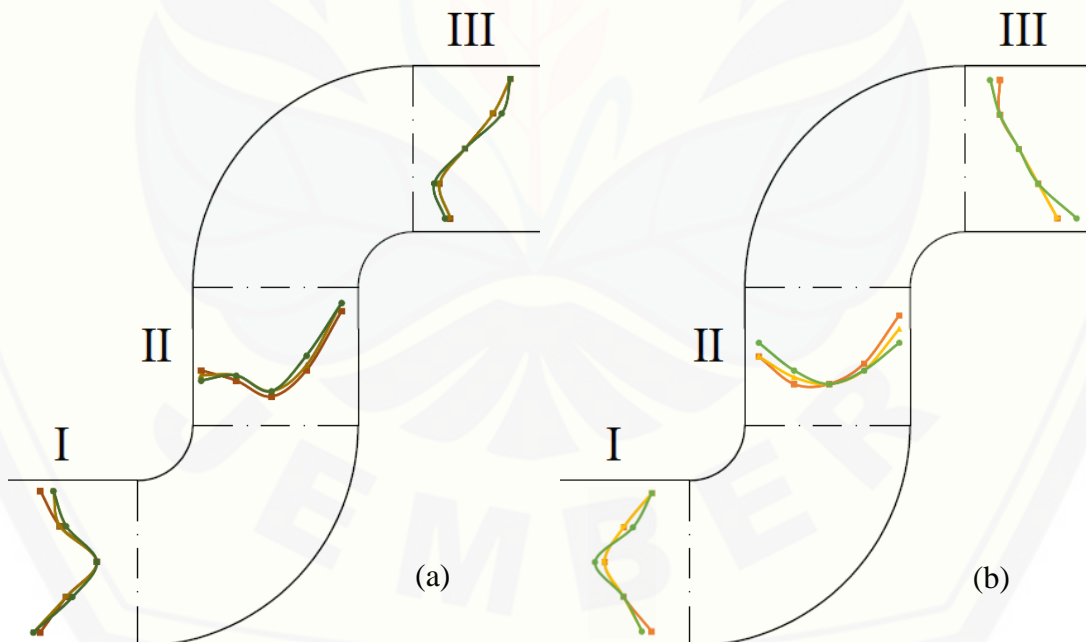
Gambar L3.1 Profil Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 0° (a) Kecepatan dan (b) Tekanan



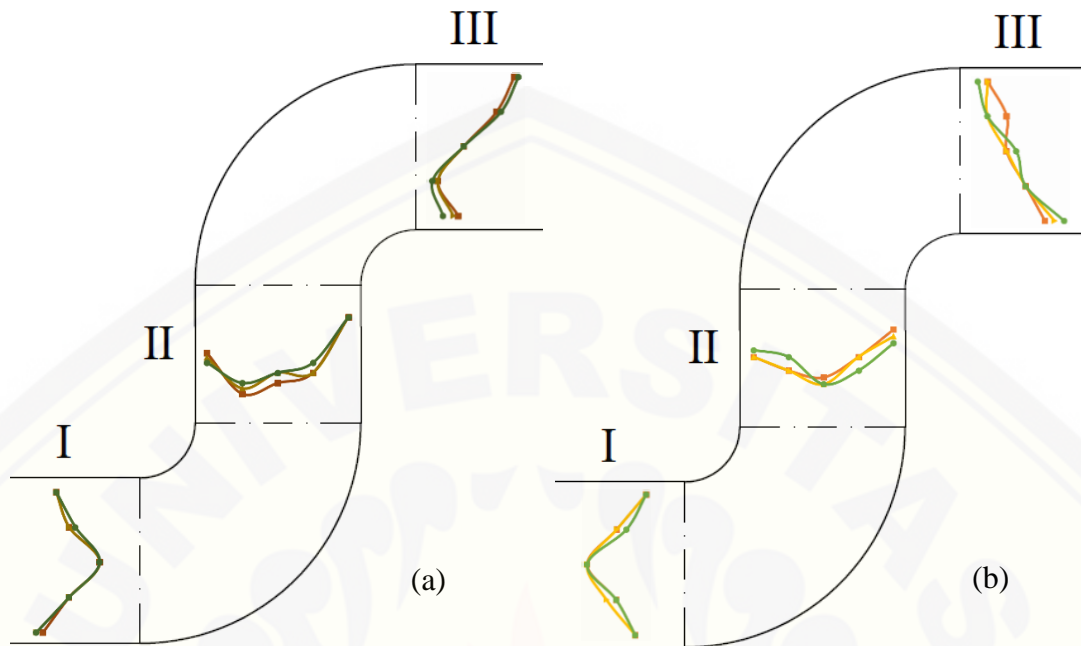
Gambar L3.2 Profil Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 45° (a) Kecepatan dan (b) Tekanan



Gambar L3.3 Profil Fluida Udara Variasi 3D, 5D, dan 7D Arah Keluaran 90° (a) Kecepatan dan (b) Tekanan

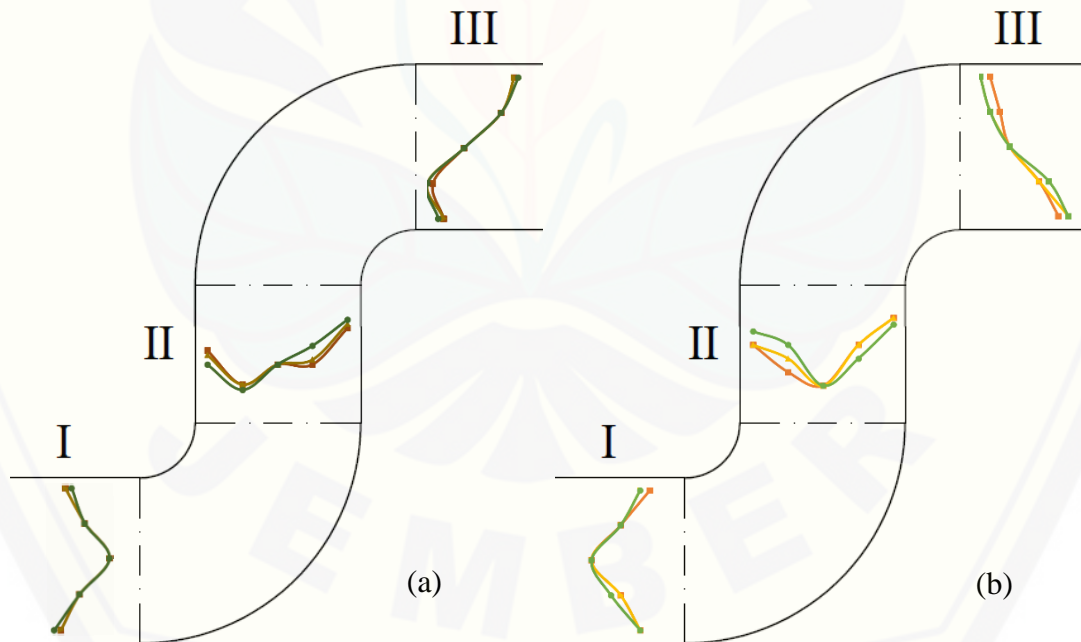


Gambar L3.4 Profil Fluida Udara Variasi 3D Arah Keluaran 0° , 45° , dan 90° (a) Kecepatan dan (b) Tekanan



P Gambar L3.5 Profil Fluida Udara Variasi 5D Arah Keluaran 0° , 45° , dan 90° (a)

Kecepatan dan (b) Tekanan



Gambar L3.6 Profil Fluida Udara Variasi 7D Arah Keluaran 0° , 45° , dan 90° (a)

Kecepatan dan (b) Tekanan



Gambar L3.7 Tabung Pitot



Gambar L3.8 Manometer U



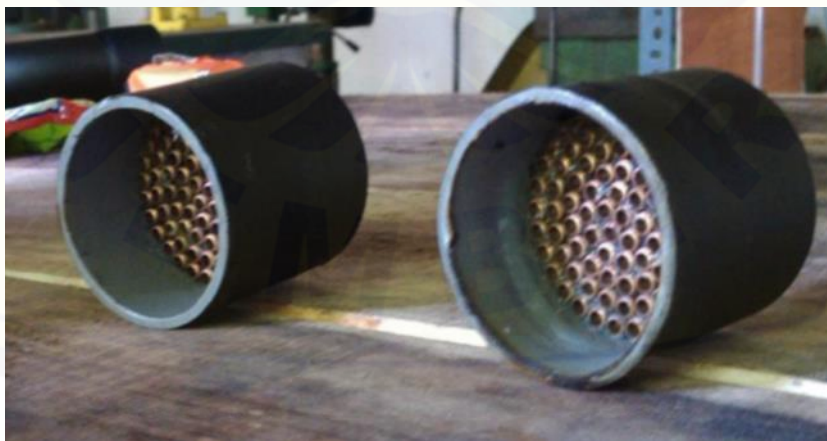
Gambar L3.9 Anemometer



Gambar L3.10 Pengatur Tegangan



Gambar L3.11 *Hand Blower*



Gambar L3.12 *Flow Conditioner*



Gambar L3.13 Lengkungan S Variasi 3D



Gambar L3.14 Lengkungan S Variasi 5D



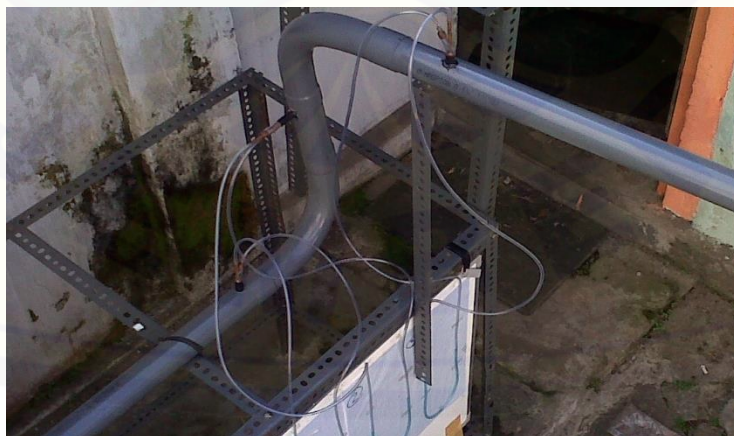
Gambar L3.15 Lengkungan S Variasi 7D



Gambar L3.16 Lengkungan S Variasi Arah Keluaran 0°



Gambar L3.17 Lengkungan S Variasi Arah Keluaran 45°



Gambar L3.18 Lengkungan S Variasi Arah Keluaran 90°