

SKRIPSI

ANALISIS PERUBAHAN TINGGI TEKANAN AKIBAT SUDUT BELOKAN 90° DAN 45° DENGAN MENGGUNAKAN *FLUID FRICTION APPARATUS*



Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

Oleh :

SUMARDI
10581247415

**PROGRAM STUDI TEKNIK PENGAIRAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
2019**



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **ANALISIS PERUBAHAN TINGGI TEKANAN AKIBAT SUDUT BELOKAN 90° DAN 45° DENGAN MENGGUNAKAN FLUID FRICTION APPARATUS**

Nama : SUMARDI

Stambuk : 105 81 2474 15

Makassar, 29 Juni 2019

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, MT.

Dr. Ir. Hj. Nurnawaty, ST., MT.

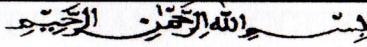
Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Pengairan



Andi Makhbul Syamsuri, ST., MT.

NPM 1183 084



PENGESAHAN

Skripsi atas nama Sumardi dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 2474 15, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0003/SK-Y/22201/091004/2019, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu tanggal 29 Juni 2019

Makassar, 25 Syawal 1440 H
29 Juni 2019 M

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Abd. Rahman Rahim, SE., MM.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT.

2. Penguji

a. Ketua : Dr. Ir. H. Darwis Panguriseng, M.Sc.

b. Sekretaris : Lutfi Hair Djunur, ST., MT.

3. Anggota : 1. Dr. Hj. Arsyuni Ali Mustari, ST., MT.

2. Ir. Amrullah Mansida, ST., MT.

3. Ir. Hamzah Al Imran, ST., MT.

Mengetahui :

Pembimbing I

Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, MT..

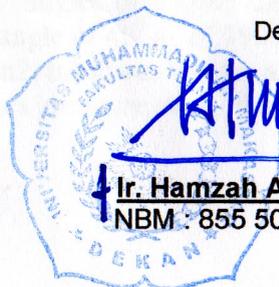
Pembimbing II

Dr. Ir. Hj. Nurnawaty, ST., MT.

Dekan

Ir. Hamzah Al Imran, ST., MT.

NBM : 855 500



ANALISIS PERUBAHAN TINGGI TEKANAN AKIBAT SUDUT BELOKAN 90⁰ DAN 45⁰ DENGAN MENGGUNAKAN *FLUID FRICTION* *APPARATUS*

Sumardi

Mahasiswa Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Makassar
Email : Sumardi.galaxy@gmail.com

Abstrak

Head losses merupakan atau perubahan tinggi tekanan merupakan suatu fenomena rugi-rugi aliran di dalam sistem perpipaan. Head losses sangat merugikan dalam aliran fluida di dalam sistem perpipaan, karena head losses dapat menurunkan tingkat efisiensi aliran fluida. Head losses yang terjadi pada prinsipnya dapat dinyatakan dalam dua bagian besar, yaitu minor losses dan mayor losses. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui besarnya perubahan nilai tinggi tekanan akibat sudut belokan dan juga nilai penurunan tekanan (*pressure drop*) pada belokan 90⁰ dan 45⁰. Penelitian ini dilakukan dengan cara mengalirkan fluida pada rangkaian pipa (*fluid friction apparatus*) yang mengalami belokan 90⁰ dan 45⁰. Dengan menggunakan persamaan mayor losses dan minor losses akan didapat nilai perubahan tinggi tekanan. Hasil eksperimen menunjukkan nilai perubahan tinggi tekanan terbesar terjadi pada sudut 90⁰ sebesar 41.685 cm dan nilai perubahan tinggi tekanan terendah terjadi pada sudut 45⁰ sebesar 27.790 cm. Sedangkan untuk nilai *pressure drop* tertinggi terjadi pada sudut 90⁰ sebesar 5.8 N/cm² terendah terjadi pada sudut 45⁰ sebesar 3.4 N/m².

Kata Kunci : *Perubahan tinggi tekanan, pressure drop, minor losses, mayor losses*

Abstact

Head losses are or changes in high pressure is a phenomenon of flow losses in the piping system. Head losses are very detrimental in fluid flow in the piping system, because head losses can reduce the level of fluid flow efficiency. Head losses that occur in principle can be expressed in two major parts, namely minor losses and major losses. The purpose of this study was to determine the magnitude of changes in the value of high pressure due to the angle of the turn and also the value of pressure drop on curves 90⁰ and 45⁰. This research was carried out by flowing fluid in a fluid friction apparatus which experienced 90⁰ and 45⁰ slides. By using major losses and minor losses equations will be obtained the value of high pressure changes. The experimental results show that the highest value of change in the highest pressure occurs at 90⁰ angles of 41,685 cm and the highest value of change in the lowest pressure occurs at an angle of 45⁰ at 27,790 cm. While the highest pressure drop occurs at the 90⁰ angle of 5.8 N / cm², the lowest occurs at an angle of 45⁰ at 3.4 N / m².

Keywords: *Head losses, pressure drop, minor losses, major losses*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena dengan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan segala aktivitas dalam merampungkan skripsi yang berjudul : **“ANALISIS PERUBAHAN TINGGI TEKANAN AKIBAT SUDUT BELOKAN 90^0 DAN 45^0 DENGAN MENGGUNAKAN *FLUID FRICTION APPAR ATUS*”**

” merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan studi untuk program strata satu pada jurusan teknik sipil fakultas teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Berbagai kesulitan dan hambatan dalam penulisan proposal ini banyak dihadapi penulis, namun berkat bimbingan dan petunjuk serta dorongan dari berbagai pihak, baik moral maupun materil sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.

Olehnya itu dengan segala kerendahan hati penulis ucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua, yang selalu mendukung dan menjadi menyemangat untuk menyelesaikan pendidikan serta yang selalu memberikan bantuan materi selama pendidikan.
2. Bapak Ir. Hamzah Al Imran, ST., MT., IPM selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

3. Bapak Ir. Andi Makbul Syamsuri, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Bapak Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, MT., IPM selaku pembimbing I atas bimbingan, arahan dan masukan dalam proses pembuatan proposal ini.
5. Ibu Dr. Ir. Hj. Nurnawaty, MT., IPM. selaku pembimbing II atas segala arahan, bimbingan dan petunjuk dalam proses pembuatan proposal ini.
6. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar, khususnya pada Jurusan Teknik Sipil atas jasa-jasanya dalam membimbing penulis.
7. Kepada teman-teman Reaksi 2015 dan kakanda senior yang selalu membantu selama menempuh pendidikan.

Akhirnya tiada harapan selain ridha Allah SWT atas segala jerih payah dan jasa baik kita semua serta limpahan rahmat dan hidayah-Nya senantiasa tetap tercurah kepada kita sekalian, Aamiin.

Makassar, 01 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KETERANGAN PERBAIKAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	2
C. Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
D. Batasan Masalah	4
E. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Penampang Saluran Tertutup (Pipa).....	6
1. Debit Air Melalui Pipa.....	7
2. Kehilangan Energi pada Saluran Pipa.....	9
3. Bilangan Reynolds	12
4. Kehilangan Tenaga pada Belokan.....	13
5. Penerapan pada Perencanaan Bidang Ilmu	14
B. Kehilangan Tinggi Tekanan (Head Losses).....	17

1. Mayor Losses.....	18
2. Minor Losses	19
3. Koefisien Kerugian pada Belokan Pipa.....	20
4. Penurunan Tekanan (Pressure Drop).....	21
C. Pengukuran Tekanan Aliran.....	22
D. Sambungan Belokan (Elbow)	24
E. Matriks Penelitian Terdahulu.....	27
BAB III METODE PENELITIAN	
A. Lokasi dan Waktu Penelitian	31
B. Metode Pengumpulan Data.....	31
C. Rancangan Model Penelitian	31
1. Alat dan Bahan Penelitian.....	31
2. Skema Fluid Friction Apparatus.....	37
3. Jenis Pipa yang Diteliti.....	38
4. Pengamatan Parameter Model Uji.....	39
D. Prosedur Penelitian	40
E. Analisis Data.....	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil Pengamatan.....	45
1. Hubungan Debit (Q) dengan Tekanan (P) dan Tinggi Air (h) pada tiap belokan.....	45
2. Perhitungan Perubahan Tinggi Tekanan.....	52
B. Analisis Perubahan Tinggi Tekanan	81

1. Pipa belokan 90^0 arah horizontal ke vertikal	81
2. Pipa belokan 90^0 arah vertikal ke horizontal	82
3. Pipa belokan 45^0 arah horizontal ke vertikal	84
C. Pembahasan Hasil Penelitian	87

BAB IV PENUTUP

A. Kesimpulan	91
B. Saran	91

DAFTAR PUSTAKA	93
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram Moody	19
Gambar 2. Grafik Koefisien Kerugian	21
Gambar 3. Koefisien Kerugian Komponen Pipa	21
Gambar 4. Lubang Pengukuran Tekanan yang Salah	24
Gambar 5. Lubang Pengukuran Tekanan yang Benar	24
Gambar 6. Elbow 90°	26
Gambar 7. Flange Elbow 90°	26
Gambar 8. Thread Elbow 90°	26
Gambar 9. Elbow 45°	26
Gambar 10. Fluid Friction Apparatus	32
Gambar 11. Manometer	34
Gambar 12. Hydraulic Bench (Reservoir)	35
Gambar 13. Skema Fluid Friction Apparatus	37
Gambar 14. Model Sambungan 90°	38
Gambar 15. Model Sambungan 45°	39
Gambar 16. Bagan Alur Penelitian	44
Gambar 17. Grafik Hubungan antara debit dan tekanan sudut 90° γ	46
Gambar 18. Grafik Hubungan antara debit dan tinggi air manometer sudut 90° γ	47
Gambar 19. Grafik Hubungan antara debit dan tekanan sudut 90° L	48
Gambar 20. Grafik Hubungan antara debit dan tinggi air manometer sudut 90° L	49

Gambar 21. Grafik Hubungan antara debit dan tekanan sudut 45° ̸	50
Gambar 22. Grafik Hubungan antara debit dan tinggi air manometer sudut 45° ̸	51
Gambar 23. Grafik Hubungan antara debit dan pressure drop sudut 90° ̸	62
Gambar 24. Grafik Hubungan antara debit dan pressure drop sudut 90° L.....	64
Gambar 25. Grafik Hubungan antara debit dan pressure drop sudut 45° ̸	66
Gambar 26 Grafik Hubungan antara debit dan mayor losses sudut 90° ̸	69
Gambar 27. Grafik Hubungan antara debit dan mayor losses sudut 90° L	71
Gambar 28. Grafik Hubungan antara debit dan mayor losses sudut 45° ̸	73
Gambar 29 Grafik Hubungan antara debit dan minor losses sudut 90° ̸	76
Gambar 30. Grafik Hubungan antara debit dan minor losses sudut 90° L.....	78
Gambar 31. Grafik Hubungan antara debit dan minor losses sudut 45° ̸	80
Gambar 32 Grafik Hubungan antara debit dan head losses sudut 90° ̸	82
Gambar 33. Grafik Hubungan antara debit dan head losses sudut 90° L.....	83
Gambar 34. Grafik Hubungan antara debit dan head losses sudut 45° ̸	85
Gambar 35. Grafik Hubungan antara debit, head losses dan sudut sambungan	86

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai Kekasaran Pipa.....	12
Tabel 2. Tabel Data Pengamatan	36
Tabel 3. Koversi satuan debit.....	52
Tabel 4. Hasil perhitungan luas penampang sudut	53
Tabel 5. Hasil perhitungan bilangan reynold belokan 90^0 γ	57
Tabel 6. Hasil perhitungan bilangan reynold belokan 90^0 L.....	58
Tabel 7. Hasil perhitungan bilangan reynold belokan 45^0 γ	59
Tabel 8. Hasil perhitungan nilai pressure drop belokan 90^0 γ	61
Tabel 9. Hasil perhitungan nilai pressure drop belokan 90^0 L.....	63
Tabel 10. Hasil perhitungan nilai pressure drop belokan 45^0 γ	65
Tabel 11. Hasil perhitungan nilai mayor losses belokan 90^0 γ	68
Tabel 12. Hasil perhitungan nilai mayor losses belokan 90^0 L.....	70
Tabel 13. Hasil perhitungan nilai mayor losses belokan 45^0 γ	72
Tabel 14. Hasil perhitungan nilai minor losses belokan 90^0 γ	75
Tabel 15. Hasil perhitungan nilai minor losses belokan 90^0 L.....	77
Tabel 16. Hasil perhitungan nilai minor losses belokan 45^0 γ	79
Tabel 17. Hasil perhitungan nilai head losses belokan 90^0 γ	81
Tabel 18. Hasil perhitungan nilai head losses belokan 90^0 L.....	83
Tabel 19. Hasil perhitungan nilai head losses belokan 45^0 γ	84
Tabel 20. Nilai kehilangan tekanan.....	85

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Air menjadi kebutuhan manusia yang sangat penting, begitu juga dengan seluruh makhluk hidup yang ada di bumi ini. Dalam pemenuhan air tersebut manusia melakukan berbagai upaya untuk mendapatkannya. Dalam hal ini pemenuhan air bersih untuk dikonsumsi, baik untuk air minum, maupun untuk kebutuhan rumah tangga lainnya.

Penanganan akan pemenuhan kebutuhan air bersih dapat dilakukan dengan berbagai cara, disesuaikan dengan sarana dan prasarana yang ada. Sistem penyediaan air bersih dilakukan dengan sistem perpipaan dan non perpipaan. Penggunaan pipa banyak digunakan oleh umum, baik perusahaan-perusahaan sebagai pendistribusian air minum, minyak maupun gas bumi. Demikian juga dengan kebutuhan air pada rumah tangga, penggunaan pipa ini paling banyak digunakan baik untuk penyaluran air bersih maupun sanitasi. Karena pipa merupakan sarana pendistribusian fluida yang murah, memiliki berbagai ukuran dan bentuk penampang. Bentuk penampang pipa dapat berupa lingkaran maupun kotak. Sedangkan material pipa bermacam-macam pula, yaitu baja, plastik, PVC, tembaga, kuningan, dan lain sebagainya.

Salah satu bagian dari instalasi perpipaan yang dapat menyebabkan kerugian-kerugian adalah gesekan pada dinding pipa dan sambungan belokan

pipa. Jika sistem perpipaan memiliki banyak percabangan yang lebih banyak maka akan memperbesar rugi alirannya, selain itu aliran yang semula dalam keadaan laminar pada saat melalui pipa lurus yang koefisien geseknya besar akan berubah menjadi aliran turbulen. Kondisi aliran turbulen inilah yang dapat merugikan dalam sistem perpipaan tersebut, seperti akan menimbulkan getaran dan juga pengelupasan dinding pipa. Selain itu, akibat yang paling mendasar dengan adanya kerugian aliran ialah dapat menyebabkan besarnya energy yang dibutuhkan untuk menggerakkan aliran fluida yang berdampak meningkatnya penggunaan listrik pada mesin penggerak fluida. Selain itu, kehilangan tinggi tekanan merupakan faktor yang perlu diperhatikan karena apabila kehilangan tinggi tekanan cukup besar dapat mengakibatkan tidak terdistribusinya air dengan baik.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka kami akan melakukan suatu penelitian mengenai perubahan tinggi tekanan yang terjadi akibat sudut belokan dengan menggunakan alat *Fluid Friction Apparatus*. Dan selanjutnya kami tuangkan dalam sebuah karya tulis ilmiah sebagai tugas akhir dengan judul ***”ANALISIS PERUBAHAN TINGGI TEKANAN AKIBAT SUDUT BELOKAN 90⁰ dan 45⁰ DENGAN MENGGUNAKAN FLUID FRICTION APPARATUS “***.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana hubungan antara kehilangan energi akibat belokan dan kehilangan energi akibat gesekan dengan kecepatan aliran. ?
2. Bagaimana penurunan tekanan (*pressure drop*) dalam pipa pada tiap perubahan sudut sambungan belokan pipa ?
3. Bagaimana pengaruh variasi sudut sambungan belokan terhadap perubahan tinggi tekanan pada pipa ?

C. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui hubungan antara kehilangan energi akibat belokan dan kehilangan energi akibat gesekan dengan kecepatan aliran.
2. Untuk mengetahui penurunan tekanan (*pressure drop*) dalam pipa pada tiap perubahan sudut sambungan belokan pipa.
3. Untuk mengetahui pengaruh variasi sudut sambungan belokan terhadap perubahan tinggi tekanan pada pipa.

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Bagi penulis, penelitian ini bermanfaat sebagai salah satu syarat dalam mencapai gelar Strata 1 (S1) jurusan Teknik Sipil Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Dapat menambah pengetahuan mengenai kehilangan tinggi tekanan akibat variasi sudut sambungan belokan.

3. Dapat menjadi referensi bagi peneliti lain yang ingin meneliti mengenai kehilangan tinggi tekanan akibat variasi sudut sambungan belokan.

D. Batasan Masalah

Dalam memberikan penjelasan dari permasalahan guna memudahkan dalam menganalisa, maka terdapat batasan masalah yang diberikan pada penulisan tugas akhir ini mengenai Analisa Kehilangan Tinggi Tekanan Akibat Variasi Sudut Sambungan Belokan Menggunakan *Fluid Friction Apparatus*, terdiri dari :

1. Penelitian ini dilaksanakan pada Laboratorium Hidrolika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Jenis fluida yang digunakan adalah zat cair (Aliran air).
3. Alat yang digunakan adalah *Fluid Friction Apparatus*.

E. Sistematika Penulisan

Susunan dari sistematika dalam proposal ini dapat di uraikan sebagai berikut ;

Bab I, Merupakan Pendahuluan, yang berisikan penjelasan umum tentang materi pembahasan yakni Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, Batasan Masalah dan Sistematika Penulisan.

Bab II, adalah Tinjauan Pustaka, yang berisikan kajian tentang penampang saluran tertutup (pipa), kehilangan tekanan (*Head Losses*), pengukuran tekanan aliran dan sambungan belokan (*Elbow*).

Bab III, yaitu Metode Penelitian, yang menguraikan secara lengkap mengetahui metode yang digunakan dalam penelitian. Metode dalam dalam penelitian ini berupa pengambilan data primer dengan menggunakan model *Fluid Friction Apparatus*.

Bab IV, yaitu hasil penelitian dan pembahasan mengenai rumusan masalah diuraikan berdasarkan teori-teori yang ada di dalam Bab II.

Bab V, yaitu penutup kesimpulan dan saran, Bab ini berisi tentang kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan, serta saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Penampang Saluran Tertutup (Pipa)

Saluran tertutup adalah saluran yang alirannya tidak dipengaruhi oleh tekanan udara secara langsung kecuali oleh tekanan hidrolis. Pipa adalah saluran tertutup yang biasanya berpenampang lingkaran yang digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh (Triatmojo, 1996).

Pipa merupakan sarana fluida yang memiliki berbagai ukuran dan bentuk penampang. Baik bentuk penampang lingkaran maupun kotak. Penggunaan pipa banyak digunakan oleh umum, baik perusahaan – perusahaan sebagai pendistribusian air minum, minyak maupun gas. Demikian juga dengan kebutuhan air pada rumah tangga, penggunaan pipa ini paling banyak digunakan baik untuk penyaluran air bersih maupun sanitasi (Rini Sriyani dan Tryantini Sundi P, 2017).

Air dan bahan cair lain seperti minyak, bensin adalah kebutuhan pokok yang bisa dikatakan terpenting, karena kalau kita perhatikan dalam kehidupan hampir semua atau apapun yang akan kita lakukan pasti akan membutuhkan yang namanya air. Kebutuhan – kebutuhan ini juga menyangkut penyediaan air bersih atau air minum sampai dengan kebutuhan di bidang industri (Gatut Rubiono, 2016).

Salah satu bagian dari instalasi perpipaan yang dapat menyebabkan kerugian-kerugian adalah gesekan pada dinding pipa dan sambungan belokan

pipa. Jika sistem perpipaan memiliki banyak percabangan yang lebih banyak maka akan memperbesar rugi alirannya, selain itu aliran yang semula dalam keadaan laminar pada saat melalui pipa lurus yang koefisien geseknya besar akan berubah menjadi aliran turbulen. Kondisi aliran turbulen inilah yang dapat merugikan dalam sistem perpipaan tersebut, seperti akan menimbulkan getaran dan juga pengelupasan dinding pipa. Selain itu, akibat yang paling mendasar dengan adanya kerugian aliran ialah dapat menyebabkan besarnya energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan aliran fluida yang berdampak meningkatnya penggunaan listrik pada mesin penggerak fluida.

Rini Sriyani dan Triyantini Sudi P (2017) melakukan penelitian tentang perubahan debit terhadap penampang pada pipa. Penelitian ini menunjukkan bahwa pada daerah sambungan (*fitting*) atau belokan (*bend*) menyebabkan kehilangan tekanan dalam instalasi pipa.

Dalam penampang saluran tertutup (pipa), terdapat beberapa parameter-parameter yang digunakan dalam analisis karakteristik sebagai berikut :

1. Debit Air Melalui Pipa

Penyelidikan *head loss* pada permukaan mendatar dengan aliran fluida tak kompresibel turbulen dimulai dengan mengumpulkan faktor-faktor yang akan mempengaruhi, yaitu : perubahan tekanan, diameter pipa (d), ketebalan mutlak fluida, kerapatan fluida, panjang pipa (L), kecepatan fluida (v), dan kekasaran relatif pipa (K), merupakan perbandingan relatif dari ukuran pipa.

Nurcholis (2008), meneliti tentang perhitungan laju aliran fluida pada jaringan pipa. Hasil dari perhitungan ini menunjukkan bahwa hubungan antara

kehilangan tenaga dan debit aliran, jika aliran semakin besar dengan koefisien rugi *head* tinggi, maka rugi *head* pada setiap panjang pipa semakin besar.

Aliran debit Q_1 (*input*) akan melewati pipa dengan perbedaan *head* dan keluar adalah Q_{2+3+4} (*output*), debit inilah yang akan diukur kapasitasnya, baik pada pipa dengan perubahan bentuk penampang pipa maupun pada pipa tanpa perubahan bentuk. Bila diameter pipa pemasukan D , maka kecepatan air yang keluar dari pipa pemasukan adalah $V = \sqrt{2gh}$, dimana g adalah kecepatan gravitasi yang besarnya $9,81 \text{ m/dt}^2$ dan h adalah tinggi *head* dan bilangan yang besarnya tergantung bahan pipa dan besarnya diameter D atau V dan dapat pula dihitung dengan rumus :

$$h = 0.5 \frac{v^2}{2g} + \frac{4.f.L}{D} \frac{v^2}{2g} + \frac{v^2}{2g} + \text{Sin}^2 O \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(1)$$

(Sumber: Hidrolika Terapan, Hal. 261)

dimana D adalah angka gesekan pipa, tergantung pipa lama atau baru dan juga tergantung diameter pipa.

Bila V sudah dihitung, maka debit air yang keluar debit air yang keluar dapat dihitung dengan rumus $Q_1 = \frac{\pi}{4} D^2 V$ dan Q_1 ini harus lebih besar dari Q_0 , maka perhitungan diameter pipa pemasukan D harus diulangi dengan memisalkan diameter yang lebih kecil lagi, sehingga tercapai $Q_1 < Q_0$. Sedangkan besarnya debit *output* Q_2 liter/menit inilah yang akan diukur kapasitas air yang keluar setelah fluida melewati pipa-pipa percabangan tersebut.

2. Kehilangan Energi Pada Saluran Pipa

Harjono (2003), melakukan penelitian untuk menguji kekasaran pada beberapa pipa pada beberapa produk yang berlainan dan diameter yang berbeda. Kesimpulan yang didapat dari hasil perhitungan dan analisisnya adalah :

- a. Koefisien gesekan pada saluran pipa PVC berbanding terbalik dengan kerugian tenaga aliran.
- b. Koefisien gesekan pada saluran dipengaruhi oleh kecepatan tekanan serta laju aliran volumetrik.
- c. Apabila debit naik, angka Reynolds pun naik, begitu juga beda tekanan dan rugi head.
- d. Semakin kecil luas penampang yang dilewati aliran fluida semakin besar kerugian gesekan yang terjadi.

Kehilangan energi karena gesekan dapat dirumuskan dengan berbagai persamaan antara lain :

- a. Persamaan Darcy Weisbach

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

(Sumber: Hidrolika Terapan, Hal. 257)

$$f = 64/Re \text{ (untuk aliran laminar, } Re < 2300)$$

$$Re = VD/v$$

Untuk aliran turbulen ($Re > 4000$) koefisien gesek (f) dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini.

1) *Universal Colebrook & White*

$$\frac{1}{f} = -2 \log \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \dots\dots\dots (3)$$

(Sumber: *Mekanika Fluida Jilid 2, Hal. 46*)

Dari persamaan di atas nilai f harus ditrial sedemikian sehingga ruas kiri sama dengan ruas kanan.

2) *Persamaan pendekatan Colebrook & White*

$$f = 0.0055 \left(1 + \left(20000 \frac{k}{D} + \frac{10^6}{Re} \right)^{\frac{1}{3}} \right) \dots\dots\dots (4)$$

$$f = -2 \log \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{5.1286}{Re^{0.89}} \right) \dots\dots\dots (5)$$

(Sumber: *Hidrolika Terapan, Hal. 258*)

Dimana :

f = koefisien gesek antara fluida dengan dinding pipa

k = kekasaran pipa (tergantung bahan pipa) (m)

Re = bilangan Reynold(VD/v)

v = kekentalan kinematic

D = diameter pipa (m)

L = panjang pipa

V = kecepatan aliran (m/dt)

b. *Persamaan Hazen Willian*

$$hf = 3.02 LD^{-1.167} \left(\frac{v}{ch} \right)^{1.85} \dots\dots\dots (6)$$

(Sumber: *Hidrolika Terapan, Hal 241*)

dimana :

h_f = kehilangan energy karena gesekan fluida dengan pipa (m)

L = panjang pipa (m)

D = diameter pipa (m)

v = kecepatan rata-rata (m/dt)

C_{HW} = koefisien hazen William

c. Persamaan Manning

$$h_f = \frac{10.29359 n^2 L Q^2}{D^{16/3}} \dots\dots\dots(7)$$

(Sumber: Mekanika Fluida Jilid 2, Hal. 72)

dimana :

h_f = kehilangan energy karena gesekan fluida dengan pipa (m)

L = panjang pipa (m)

D = diameter pipa (m)

Q = debit aliran (m^3/dt)

n = koefisien manning dari bahan pipa

Baik untuk persamaan Hazen William maupun persamaan Manning digunakan untuk aliran turbulen.

Nilai kekasaran pipa, nilai koefisien Hazen William dan koefisien Manning untuk masing-masing pipa disajikan pada tabel berikut ini.

Tabel 1. Nilai kekasaran pipa

Material	K	K
	(cm)	(inchi)
Concrete	3-30	0,012-0,12
Cast Iron	2,6	0,01
Galvanized Iron	1,5	0,006
Asphalted Cast Iron	1,2	0,0048
Commercial or Welded Steel	0,45	0,0018
PVC, Glass, Other Drawn Tubing	0,015	0,00006

Sumber: *Mekanika Fluida Jilid 2 Hal 44*

Dalam perencanaan nilai k , C_{HW} dan manning dapat dihitung langsung dipakai dengan mengasumsikan nilai k , C_{HW} dan manning yang paling kasar, untuk sisi keamanan perencanaan. Akan tetapi nilai k , C_{HW} dan n dapat dicari di laboratorium dengan mengamati debit yang lewat, perbedaan tinggi tekanan (pada *piezometer*), menghitung kecepatan yang terjadi dan menghitung nilai kekasaran dengan persamaan yang telah ada.

3. Bilangan *Reynolds*

Bilangan *Reynolds* merupakan bilangan tak berdimensi yang dapat membedakan suatu bilangan yang dilihat dari kecepatan aliran. Diasumsikan laminar bila aliran mempunyai bilangan Re kurang dari 2300, untuk aliran transisi berada pada bilangan Re 2300 dan 4000.

Tekanan sangat berpengaruh terhadap viskositas zat cair, semakin besar tekanan maka viskositas makin tinggi pula. Selain tekanan, temperatur juga sangat

berpengaruh terhadap viskositas zat cair, dimana viskositas akan mempengaruhi besarnya angka Reynolds yang besarnya adalah :

$$Rn = \frac{v \times D}{\nu} \dots\dots\dots(8)$$

Dimana :

v = Kecepatan aliran (m/dt)

μ = Viskositas dinamis (cP)

D = Diameter (m)

4. Kehilangan Tenaga Pada Belokan

Disamping adanya kehilangan tenaga akibat gesekan pipa, terjadi pula kehilangan tenaga dalam pipa yang diakibatkan karena perubahan penampang pipa, sambungan, belokan, dan katup. Kehilangan tenaga akibat gesekan pada pipa panjang biasanya jauh lebih besar dari pada kehilangan tenaga sekunder, sehingga pada keadaan tersebut biasanya kehilangan tenaga sekunder harus diperhitungkan. Apabila kehilangan tenaga sekunder lebih dari 5 % dari kehilangan tenaga akibat gesekan maka kehilangan tersebut diabaikan. Untuk memperkecil tenaga sekunder, perubahan penampang atau belokan jangan dibuat mendadak tetapi berangsur-angsur (Triatmodjo : 1996).

Kehilangan energi yang terjadi akibat aliran melalui sambungan dan percabangan standar adalah sebanding dengan kuadrat dari kecepatan aliran sebagai berikut :

$$h_e = \alpha \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(9)$$

keterangan :

h_e = Kehilangan energi (m)

α = faktor sambungan atau percabangan

v = kecepatan aliran (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

5. Penerapan pada Perencanaan Bidang Ilmu

a. Manajemen Sumber Daya Air (*Water Resources management*)

Manajemen air sangat penting dalam proses penyediaan kebutuhan air bersih berkualitas bagi penduduk agar bisa mencukupi kebutuhan masyarakat. Penyediaan air ini bisa dipengaruhi oleh cepatnya laju pertumbuhan penduduk, sehingga program pembangunan harus berkejaran dengan laju pertumbuhan penduduk. Pada tahun 2012 laju pertumbuhan penduduk yang masih berada pada tingkat 1,49%, merupakan tantangan tersendiri bagi penyediaan air nasional. Apalagi kondisi geografis Indonesia sebagai negara kepulauan yang jumlah penduduk di setiap pulau tidak merata menjadi persoalan yang unik dan berbeda dengan negara-negara lainnya.

Sebagaimana diketahui, bahwa penduduk Indonesia masih terkonsentrasi di Pulau Jawa (58%) sedangkan lainnya tersebar di berbagai pulau. Masalah air bersih merupakan masalah yang vital bagi kehidupan manusia. Setiap hari kita membutuhkan air bersih untuk keperluan sehari-hari seperti minum, memasak, mandi, mencuci, kakus dan sebagainya. Karena itu, penyediaan air bersih menjadi hal yang sangat penting untuk dikaji mengingat air merupakan kebutuhan pokok yang selalu dikonsumsi oleh masyarakat dan dapat berpengaruh besar pada kelancaran aktivitas masyarakat tersebut. Keterbatasan penyediaan air bersih masyarakat yang berkualitas dapat

mempengaruhi kesehatan masyarakat, produktivitas ekonomi dan kualitas kehidupan masyarakat secara keseluruhan.

Manajemen air atau yang lebih dikenal sebagai pengelolaan air adalah suatu cara pengelolaan air dari suatu daerah aliran sungai untuk berbagai kepentingan. Jadi yang dimaksud sebagai pengelolaan air yaitu lebih ditekankan pada pola pembagian airnya, yang tentunya akan dihadapkan dengan berbagai alternatif pola. Untuk keperluan pengambilan keputusan, pola mana yang paling optimal dipakai riset operasi. Dengan demikian riset operasi diartikan sebagai suatu cara pengambilan keputusan dengan menggunakan pendekatan-pendekatan ilmiah. Riset operasi bukan hanya dipakai di manajemen air. Bidang-bidang lain yang menyangkut perindustrian dan perekonomian sering dijumpai pengambilan keputusan yang optimal memakai metode ini. Tujuan dari mempelajari manajemen air adalah agar di dapat seperangkat pengetahuan, keterampilan, pola berpikir yang menunjang dalam pengelolaan air suatu sistem sampai pada pengambilan keputusan yang optimal.

Air merupakan kebutuhan penting dalam proses produksi dan kegiatan dalam suatu industri. Oleh karena itu, diperlukan penyediaan air bersih yang secara kualitas memenuhi standar yang berlaku dan secara kuantitas dan kointinuitas harus memenuhi kebutuhan industri sehingga proses produksi tersebut dapat berjalan dengan baik. Dengan adanya standar baku mutu untuk air bersih industri, setiap industri memiliki pengolahan air sendiri-sendiri sesuai kebutuhan industri. Air baku adalah air bersih yang dipakai untuk

keperluan air minum, rumah tangga, dan industri. Air siap dikonsumsi (*portable water*) adalah air yang aman dan sehat karena air rentan terhadap penyebaran penyakit yang disebarkan melalui air (*water borne disease*). Adapun sumber air baku adalah air permukaan, mata air, dan air tanah. Sedangkan macam-macam air baku di alam adalah air sungai, air danau/waduk, rawa, air tanah dan mata air serta air laut.

Sumber air baku memegang peranan sangat penting dalam industri air minum. Air baku atau *raw water* merupakan awal dari suatu proses dalam penyediaan dan pengolahan air bersih. Berdasarkan SNI 6773:2008 tentang spesifikasi unit paket instalasi pengolahan air dan SNI 6774:2008 tentang Tata Cara perencanaan unit paket instalasi pengolahan air pada bagian istilah dan definisi yang disebut dengan air baku adalah “Air yang berasal dari sumber air permukaan, cekungan air tanah dan air hujan yang memenuhi ketentuan baku mutu tertentu sebagai air baku untuk air minum”.

b. Rekayasa Sumber Daya Air (*Water Resources Engineering*)

Rekayasa sumber daya air yang meliputi perencanaan dan perancangan bangunan air, perencanaan dan pengelolaan sumber daya air, rekayasa dan pengelolaan daerah aliran sungai, pantai dan rawa. Rekayasa yang digunakan untuk memanfaatkan dan mengkonservasi air, baik sebagai sumber kehidupan maupun untuk kesejahteraan umat manusia. Rekayasa sumber daya air adalah penerapan ilmu yang terkait dengan pemanfaatan seluruh sumber daya air atau buatan manusia dalam merancang produk akhir yang bermanfaat bagi masyarakat.

Penggunaan sumber daya air merupakan upaya penyediaan, penggunaan, pengembangan dan pengusahaan sumber daya air secara optimal agar berhasil guna dan berdaya guna. Hampir disetiap kebutuhan manusia penggunaan sumber daya air sangat di nomor satukan. Penggunaan SDA bisa dipergunakan untuk sumber makanan dari perairan, prasarana lalulintas air antar pulau, sebagai fungsi energi pembangkit tenaga, pengaturan iklim, dan yang terpenting adalah sebagai sumber mineral.

Penggunaan sumber daya air dilaksanakan berdasarkan prinsip penghematan penggunaan, ketertiban dan keadilan, ketepatan penggunaan, keberlanjutan penggunaan, dan penggunaan yang saling menunjang antara air permukaan dan air tanah dengan memprioritaskan penggunaan air permukaan. Merupakan upaya merencanakan, melaksanakan dan mengevaluasi konservasi sumber daya air, pendayagunaan sumber daya air, dan pengendalian daya rusak air. Cara pengelolaan sumber daya air bisa dilakukan olehsiapapun. Dampak dari pengelolaan sumber daya air yang baik adalah masyarakat mendapatkan kualitas air dan kuantitas air yang sangat baik sehingga masyarakat dapat mengolah dan menggunakan sumber daya air tersebut sesuai kebutuhan masyarakat.

B. Kehilangan Tinggi Tekanan (*Head Losses*)

Head Losses adalah head atau kerugian-kerugian dalam aliran pipa yang terdiri atas *major losses* dan *minor losses* (Sularso, 2000).

$$H = H_f + H_m \dots \dots \dots (10)$$

Dimana :

H = Head Losses (m)

H_f = Mayor Losses (m)

H_m = Minor Losses (m)

Berikut beberapa parameter yang digunakan untuk menghitung nilai perubahan kehilangan tekanan.

1. *Mayor Losses*

Kerugian *mayor* adalah kehilangan tekanan akibat gesekan aliran fluida pada sistem aliran dengan luas penampang tetap atau konstan (Helmizar, 2010). Aliran fluida yang melalui pipa akan selalu mengalami kerugian head. Hal ini disebabkan oleh gesekan yang terjadi antara fluida dengan dinding pipa atau perubahan kecepatan yang dialami oleh fluida.

Kerugian head akibat dari gesekan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Darcy – Weisbach yaitu :

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (11)$$

(Sumber: *Hidrolika Terapan*, Hal. 257)

Dimana :

H_f = head mayor (m)

L = panjang pipa (m)

D = diameter pipa (m)

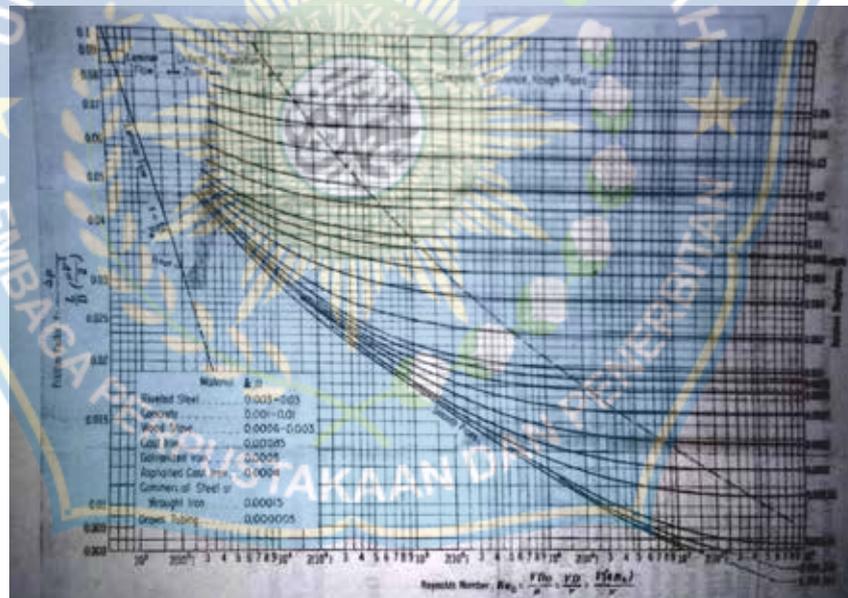
v = kecepatan (m/s)

g = gravitasi bumi (m/s^2)

f = faktor gesek (didapat dari diagram mody)

Diagram mody telah digunakan untuk menyelesaikan permasalahan aliran fluida dalam pipa dengan menggunakan faktor gesekan pipa (f) dari rumus Darcy – Weisbach. Untuk aliran laminar dimana bilangan Reynolds kurang dari 2000 ($Re < 2300$), faktor gesekan pada persamaan (7) dihubungkan dengan bilangan Reynold, dengan rumus : $f = 64/Re$.

Untuk aliran turbulen dimana bilangan Reynold lebih besar dari 4000 ($Re > 4000$), maka fungsional dari faktor gesekan (f) pada persamaan (7) tergantung pada bilangan Reynold dan kekasaran relative, $f = f(Re, \epsilon/D)$. Nilai ϵ untuk pipa PVC adalah 0,0015-0,007 mm.



Gambar 1. Diagram Moody (Sumber : Hidrolika Terapan Hal.244)

2. Minor Losses

Kerugian *minor* adalah kehilangan tekanan akibat gesekan yang terjadi pada katup-katup, sambungan Tee, sambungan belokan dan pada luas penampang yang tidak konstan (Helmizar, 2010). Pada aliran yang melewati belokan dan

katup *head loss minor* yang terjadi dapat dihitung dengan rumus Darcy – Weisbach (White, 1988) yaitu :

$$H_m = k \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(12)$$

(Sumber: Hidrolika Terapan, Hal. 259)

Dimana :

H_m = head minor (m)

v = kecepatan (m/dt)

g = gravitasi bumi (m/dt²)

k = Koefisien kerugian pada fitting

3. Koefisien Kerugian Pada Belokan Pipa

Ada dua macam belokan pipa yaitu belokan lengkung dan belokan patah.

Untuk belokan lengkung sering dipakai rumus *Fuller* dimana k pada persamaan (8) dinyatakan sebagai berikut (Sularso, Haruo Tahara : 2000).

$$k = \left(0,131 + 1,847 \left(\frac{Db}{2R} \right)^{3,5} \right) \left(\frac{\theta}{90} \right)^{0,5} \dots\dots\dots(13)$$

(Sumber: Jurnal ISSN:2088-088X)

Dimana :

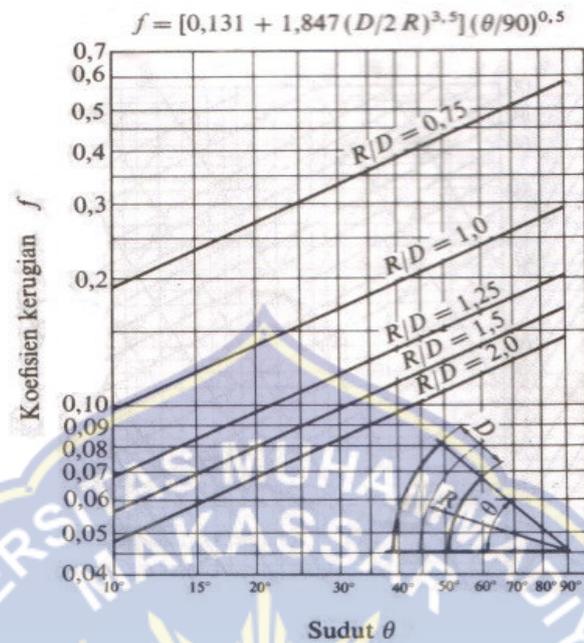
Db = Diameter dalam belokan (m)

R = Jari-jari lengkung sumbu belokan (m)

θ = Sudut belokan (derajat)

k = Koefisien kerugian

Hubungan di atas dapat di lihatkan dalam gambar berikut



Gambar 2. Grafik koefisien kerugian (Sumber: Jurnal ISSN:2088-088X)

TABEL 6.2 Koefisien Kerugian untuk Komponen Pipa ($h_L = K_L \frac{V^2}{2g}$)
(Data dari Ref. 5, 10, 27)

Komponen	K_L
a. Sambungan siku	
Biasa 90° berflensa	0,3
Biasa 90° berflensa	1,5
Radius panjang 90°, berflensa	0,2
Radius panjang 90°, berflensa	0,7
Radius panjang 90°, berflensa	0,2
Biasa 45°, berulir	0,4
b. Berlokak balik 180°	
Balik 180°, berflensa	0,2
Balik 180°, berulir	1,5
c. Sambungan T	
Aliran lurus, berflensa	0,2
Aliran lurus, berulir	0,9
Aliran cabang, berflensa	1,0
Aliran cabang, berulir	2,0
d. Keti, berulir	
	0,08
e. Katup	
Globe, bukaan penuh	10
Sudut, bukaan penuh	2
Gerbang, bukaan penuh	0,15
Gerbang, $\frac{1}{2}$ tertutup	0,26
Gerbang, $\frac{1}{4}$ tertutup	2,1
Gerbang, $\frac{1}{4}$ tertutup	17
Cek swing, aliran maju	2
Cek swing, aliran mundur	∞
Katup bola, bukaan penuh	0,05
Katup bola, $\frac{1}{2}$ tertutup	5,5
Katup bola, $\frac{1}{4}$ tertutup	210

Gambar 3. Koefisien kerugian komponen pipa (Sumber: Mekanika Fluida Jilid 2 Hal. 59)

Dari percobaan *Weisbach* dihasilkan rumus yang umum dipakai untuk belokan patah sebagai berikut (Sularso, Haruo Tahara : 2000).

$$k = 0.946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2.047 \sin^4 \frac{\theta}{2} \dots\dots\dots (14)$$

Dimana :

Θ = Sudut belokan (derajat)

k = koefisien kerugian

4. Penurunan Tekanan (*Pressure Drop*)

Pressure Drop adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan penurunan tekanan dari satu titik di dalam pipa atau aliran air (Hasris Mujianto, 2016). Penurunan tekanan adalah hasil dari gaya gesek pada fluida seperti yang mengalir melalui tabung. Gaya gesek disebabkan oleh resistensi terhadap aliran. Faktor utama yang mempengaruhi resistensi terhadap aliran fluida adalah kecepatan fluida melalui pipa dan viskositas fluida. Aliran cairan atau gas selalu akan mengalir ke arah perlawanan sedikit (kurang tekanan). Pada aliran satu fase, *pressure drop* dipengaruhi oleh Reynold number yang merupakan fungsi dari viskositas, densitas fluida dan diameter pipa.

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

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta h \dots\dots\dots (15)$$

Dimana :

Δp = *Pressure Drop* (N/m²)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

Δh = selisih ketinggian pada manometer (m)

g = gravitasi (m/s^2)

C. Pengukuran Tekanan Aliran

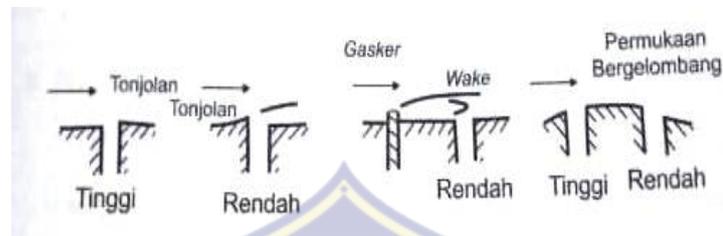
Fluida yang mengalir dalam saluran memiliki tiga macam tekanan yaitu sebagai berikut :

1. Tekanan static (P) adalah tekanan yang diukur pada arahnya tegak lurus saluran. Untuk menentukan tekanan ini, dapat digunakan persamaan Hidrostatik berikut:

$$p = p^0 + h \gamma$$
 2. Terlihat tekanan static terdiri dari tekanan-luar (p^0) yang bekerja pada bidang batas zat cair dan tekanan akibat beratnya zat cair yang berada diatas luasan yang kita tinjau
2. Tekanan dinamik (P_0) adalah tekanan yang besarnya ekuivalen dengan energy kinetic.
3. Tekanan stagnasi (P_0) adalah tekanan yang merupakan jumlah dari tekanan statik dengan energy kinetic.

Cara mengukur tekanan statik adalah dengan membuat lubang berdiameter 3 mm, kemudian menghubungkan lubang tersebut dengan pipa manometer. Tinggi air dalam pipa manometer menunjukkan tekanan statik pada lubang yang diukur. Jika dalam membuat lubang tidak benar, misalnya posisinya tidak tegak lurus aliran, maka hasil pengukurannya tidak akan akurat. Beberapa contoh pembuatan lubang yang salah ditunjukkan pada gambar 4. Pada gambar 4 disebutkan bahwa penempatan lubang pada dinding yang tidak rata dapat

menghasilkan tekanan yang lebih rendah atau lebih tinggi dari tekanan statik yang sebenarnya.



Gambar 4. Lubang Pengukuran Tekanan yang salah.

Misalnya pada permukaan yang bergelombang, lubang yang ditempatkan sebelum permukaan menonjol menghasilkan tekanan yang tinggi. Sedangkan lubang yang ditempatkan sesudah permukaan menonjol menghasilkan tekanan rendah. Hal ini dikarenakan permukaan saluran yang menonjol menyebabkan terjadinya perubahan arah garis arus sehingga posisi lubang tidak lagi tegak lurus pada arah aliran. Gambar 5 menunjukkan pembuatan lubang pengukuran yang benar.



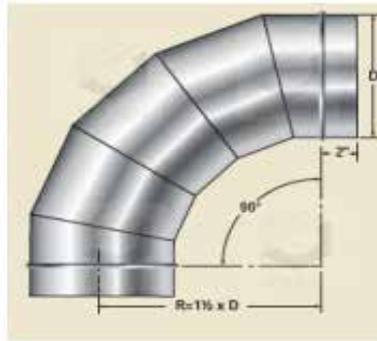
Gambar 5. Lubang Pengukuran Tekanan yang benar

D. Sambungan Belokan (*Elbow*)

Elbow atau belokan merupakan suatu piranti yang seringkali digunakan pada suatu sistem perpipaan (Sandi Setya W, 2015). Dalam perencanaan suatu sistem aliran, sulit dihindari adanya suatu belokan atau elbow. Adanya elbow dalam suatu sistem dapat menyebabkan terjadinya kerugian pada aliran. Hal ini disebabkan karena adanya perubahan arah aliran fluida yang melalui saluran atau pipa tersebut. Besar kecilnya jari-jari kelengkungan dan sudut belok dari elbow itu sendiri.

Layaknya tikungan kalau kita sedang berada di jalan, tikungan tersebut mau tidak mau membuat kita berbelok arah ketika melaluinya, begitu pula elbow yang bertugas untuk membelokkan aliran fluida. Elbow terdiri dari dua jenis yang paling umum yaitu 45 dan 90 derajat. Untuk memperoleh sudut di selain sudut diatas, terkadang elbow tersebut di potong. Atau bisa juga dengan menggunakan dua elbow yang disatukan untuk memperoleh sudut tertentu.

Dipasaran, elbow dibagi menjadi dua tipe, tipe *short radius* dan *long radius*. Namun umumnya digunakan *long radius*, yang memiliki diameter belokan 1.5 kali NPS (nominal Pipe size)nya. Ada pula yang sampai dengan 3D atau bahkan 6D, yang biasa digunakan untuk *flare*. Elbow pada umumnya memiliki diameter yang sama antara masukan dan keluaran, walaupun ada juga yang memiliki ukuran berbeda, yang kita sebut dengan *reducing elbow*. Selain itu, ada satu komponen *fitting* yang mirip *elbow*, sama sama berfungsi untuk membelokkan aliran, namun di buat dari potongan pipa, kita menyebutnya dengan miter.

Gambar 6. Elbow 90⁰

Sesuai standar yang ada dipasaran, elbow tersedia dalam ukuran sudut 45⁰ dan 90⁰. Berdasarkan cara pemasangannya, elbow dibedakan menjadi dua macam, yaitu elbow yang dilengkapi dengan flange dan elbow yang dilengkapi dengan ulir atau thread.

Gambar 7. Flange Elbow 90⁰Gambar 8. Thread Elbow 90⁰Gambar 9. Elbow 45⁰

E. Matriks Penelitian Terdahulu

NO	JUDUL	PENULIS/ TAHUN	TUJUAN PENELITIAN	METODE	HASIL
1.	Study Eksperimental Perilaku Aliran Fluida Pada Sambungan Belokan Pipa.	Hariyono ; Gatut Rubiono ; dan Haris Mujianto. 2016	Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan perilaku aliran fluida pada sambungan belokan pipa. Perilaku aliran yang dimaksud dalam penelitian ini adalah besar kerugian tekanan yang disebabkan oleh sambungan belokan (elbow).	Penelitian ini menggunakan metode variable bebas dan variable terikat. Variabel bebas terdiri dari jmlah belokan 90° dan variasi debit aliran dengan bukaan katup $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ dan bukaan penuh sedangkan variabel terikat berupa beda tekanan sebelum dan sesudah belokan sambungan di 5 titik yang diukur melalui beda tinggi manometer.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Perilaku aliran fluida pada sambungan belokan pipa adalah terjadi penurunan tekanan dimana tekanan sebelum belokan lebih besar daripada sesudah belokan. 2. Kerugian gesek cenderung semakin besar jika kecepatan aliran atau bilangan Reynold juga bertambah besar.
2.	Analisa Distribusi Kapasitas Aliran Fluida di Daerah Percabangan pada Sistem Perpipaan.	Eswanto dan Dian Syahputra. 2017	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sambungan Tee terhadap koefisien kerugian tekanan akibat pemisahan aliran fluida yang menyebabkan penurunan unjuk kerja dari suatu sistem.	Dalam penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen. Dalam eksperimen yang dilakukan untuk pengambilan data yaitu secara deskriptif.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Semakin besar diameter pipa yang digunakan maka nilai koefisien kerugian percabangan Tee semakin kecil sehingga nilai debit keluar percabangan meningkat. 2. Tingginya bilangan Reynolds yang didapatkan

					dengan variasi diameter pada seksi uji mengakibatkan menurunnya koefisien kerugian total. Peningkatan bilangan Reynold akan berpengaruh terhadap kerugian tekanan (h) pada tiap sambungan.
3.	Analisa Pengaruh Variasi Sudut Sambungan Belokan Terhadap Head Losses Aliran Pipa.	Zainuddin ; I Made Adi Sayoga ; dan I Made Nuarsa. 2012.	1. Mengetahui besar head losses terhadap perubahan sudut sambungan belokan pipa. 2. Mengetahui perbedaan tekanan (pressure drop) dalam pipa pada tiap perubahan sudut sambungan belokan pipa.	Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan melakukan uji model.	Hasil Pengujian menunjukkan bahwa pada variasi sudut sambungan belokan pipa mengakibatkan pressure drop berbanding terbalik dengan bilangan Reynolds. Semakin besar nilai pressure drop maka bilangan Reynold semakin kecil. Naiknya nilai pressure drop disebabkan oleh semakin besarnya sudut sambungan belokan pipa sehingga mengakibatkan perbedaan tinggi tekanan meningkat, sedangkan mengecilnya bilangan Reynold disebabkan oleh semakin besarnya sudut sambungan belokan pipa sehingga mengakibatkan kecepatan air dalam pipa semakin menurun.
4.	Studi	Helmizar.	Penelitian ini	Untuk	Hasil eksperimen

	Eksperimental Pengukuran Head Losses Mayor (Pipa PVC Dia $\frac{3}{4}$ ") dan Head Losses Minor (Belokan Knee 90° Dia $\frac{3}{4}$ ") Pada Sistem Instalasi Pipa.	2010	bertujuan untuk menentukan head losses mayor pada pipa PVC lurus diameter $\frac{3}{4}$ " dengan mencari nilai kekasaran. Penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan head losses minor pada pipa PVC lurus diameter $\frac{3}{4}$ " dengan mencari nilai koefisien kerugian (K)	mengetahui besarnya rugi-rugi aliran (head losses) di dalam sistem perpipaan maka dilakukan penelitian dengan metode eksperimen.	menunjukkan nilai kekasaran rata-rata pada pipa PVC diameter $\frac{3}{4}$ " adalah 0,000562. Koefisien head losses minor (K) pada knee (belokan) pipa PVC diameter $\frac{3}{4}$ " adalah $K = 0,297920$
5.	Perbandingan Analisis Pressure Drop pada Pipa Lengkung 90° Standar ANSI B36.10 dengan COSMOSflo Works 2007.	Wendy Priana Negara.	Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai pressure drop pada pipa lengkung 90°	Percobaan ini menggunakan metode penelitian dengan uji model lalu mengolah data dengan aplikasi.	Hasil analisis didapat tekanan maksimum tertinggi ada pada pipa lengkung 1 yaitu sebesar 208509 Pa dan nilai pressure drop terbesar ada pada lengkung 1 dengan jari-jari lengkung 880 mm dan diameter dalam pipa sebesar 202.7 mm adalah 42105 Pa
6.	Pengaruh Rasio Diameter Pipa Terhadap Perubahan Tekanan pada Bernoulli Theorem Apparatus	Ahmad Afa ; Gatut Rubiono dan Haris Mujianto. 2016	Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pengaruh rasio diameter pipa terhadap perubahan tekanan pada Bernoulli theorem apparatus.	Penelitian ini menggunakan metode variable bebas dan variable terikat. Variabel bebas terdiri dari rasio diameter (d/D) 0.67 , 0.50 , 0.33 dan bukaan katup 45° , 60° , 90° sedangkan variabel terikat	Apabila rasio diameter semakin besar maka tekanan menjadi besar.

				volume air yang keluar, waktu yang dibutuhkan, dan tekanan di 7 titik.	
7	Analisa Perubahan Debit Terhadap Perubahan Penampang Pada Pipa (Uji Laboratorium)	Tryantini Sundi Putridan Rini Sriyani. 2017	Bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh debit terhadap kehilangan tekanan pada perubahan penampang di dalam satu rangkaian pipa	Metode yang digunakan adalah metode uji laboratorium	Hasil dari penelitian ini adalah semakin besar debit yang diberikan maka semakin besar pula kehilangan tekanan yang terjadi di perubahan penampang, baik itu pembesaran penampang maupun pengecilan penampang
8.	Analisa Debit Fluida pada Pipa Elbow 90° dengan Variasi Diameter Pipa	Sandi Setya Wibowo ; Kun Suharno dan Sri Widodo	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang fluid friction apparatus dengan variasi pipa elbow berdiameter 1 ¼ “ . 1” , ¾ “ dan ½ “ dengan tinggi 10 cm.	Metode penelitian ini menggunakan metode uji model.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan elbow 90 dengan variasi diameter pipa akan menghasilkan turbulensi yang besar dan mengakibatkan hilangnya aliran pada pelepasan yang dihasilkan, yaitu semakin besar diameter pipa yang digunakan maka semakin tinggi turbulensi dan gesekan yang terjadi. Sebaliknya jika diameter pipa yang digunakan semakin kecil turbulensi dan gesekan yang dihasilkan akan kecil juga.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar dengan waktu penelitian selama 2 bulan mulai april – mei 2019.

B. Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini akan menggunakan data primer yakni data yang diteliti langsung dari Laboratorium Hidrolika dengan menggunakan alat sistem jaringan perpipaan.

C. Rancangan Model Penelitian

Berikut adalah hal-hal yang berkaitan dengan rancangan model penelitian yang akan dilakukan :

1. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :

a. Fluid Friction Apparatus

Alat ini digunakan untuk menyelidiki fenomena aliran laminar, transisi dan turbulen dalam sistem pipa. Alat ini membantu dalam

mempelajari aliran, teknik pengukuran aliran dan kerugian dalam berbagai macam pipa.

Alat ini memiliki berbagai komponen dan instrument sistem perpipaan. Hal ini memungkinkan kita untuk memeriksa dan membandingkan karakteristik komponen yang berbeda.



Gambar 10. *Fluid Friction Apparatus*

Keterangan :

- a. Dinding / papan rangkaian
- b. Keran pengatur aliran fluida
- c. Pipa PVC
- d. Rangkaian pipa yang mengalami belokan
- e. Rangkaian pipa
- f. Katup pembuangan air dari seluruh rangkaian pipa
- g. Selang output fluida
- h. Keran pembuangan dari input fluida
- i. Selang input fluida

j. Sambungan selang input dengan rangkaian pipa

k. Rotameter / *water flow meter*

b. *Manometer*

Manometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur tekanan dengan menggunakan kolom cairan. Sebuah pengukur vakum digunakan untuk mengukur tekanan dalam ruang hampa yang selanjutnya dibagi menjadi dua subkategori, tinggi dan rendah vakum. Satuan dari alat ukur tekanan ini biasanya berupa psi (*pound per square inch*), psf (*pound per square foot*), mmHg (*millimeter of mercury*), bar, atm (*atmosphere*), N/m^2 (*pascal*).

Manometer adalah alat yang digunakan secara luas pada audit energi untuk mengukur tekanan dua titik yang berlawanan. Jenis manometer tertua adalah manometer kolom cairan. Versi manometer sederhana kolom cairan adalah bentuk pipa U yang diisi cairan setengahnya dimana pengukuran dilakukan pada satu sisi pipa, sementara tekanan diterapkan pada tabung yang lainnya.

Tekanan atmosfer di suatu titik secara numerik adalah sama dengan berat kolom udara sebanyak satu satuan luas penampang yang membentang dari titik tersebut ke puncak atmosfer. Maka, tekanan atmosfer di suatu titik akan berkurang dengan ketinggian.



Gambar 11. *Manometer* di Laboratorium

c. *Hydraulic Bench* dengan *Reservoir*

Alat ini berfungsi sebagai pemasok air dengan sirkulasi yang terkontrol dan *flowmeter* yang akurat untuk eksperimen mekanika hidrolis dan mekanika fluida.

Alat ini memasok aliran air yang dikontrol ke berbagai macam modul percobaan laboratorium. Tubuh bangku membentuk reservoir atau sump tank dengan pompa submersible. Setelah diisi, bangku tidak perlu pasokan air eksternal.

Katup kontrol yang dioperasikan dengan tangan menyesuaikan laju aliran air dari pompa. Sebuah kotak listrik di sisi bangku termasuk saklar pompa, casing sirkuit dan tampilan digital aliran. Dalam rangkaian hydraulic bench ini juga sudah dilengkapi dengan thermometer untuk mengukur suhu air pada reservoir.



Gambar 12. *Hydraulic Bench (Reservoir)*

d. Air Bersih

Berperan sebagai fluida yang akan dialirkan pada alat *fluid friction apparatus*. Pemilihan air yang digunakan harus air benar-benar bersih, untuk menghindari terjadinya karatan, penyumbatan dan sedimentasi pada rangkaian pipa dan bak penampungan (reservoir).

e. Ember Penampungan

Ember penampungan digunakan untuk menampung sisa-sisa pemakaian air dari alat *apparatus* dan *manometer* yang telah dipakai.

f. Tabel Pengamatan

Tabel pengamatan digunakan untuk hasil data yang diperoleh dari setiap percobaan yang dilaksanakan.

Tabel 2. Tabel data pengamatan

Da = - cm

Db = - cm

Suhu air = - $^{\circ}\text{C}$ Luas Reservoir = - cm^2

No	Q m ³ /jam	Manometer Borden		Tinggi air pada Manometer	
		Pa kg/cm ²	Pb kg/cm ²	a cm	b cm
1	Q1	Pa1	Pb1	ha1	hb1
		Pa2	Pb2	ha2	hb2
		Pa3	Pb3	ha3	hb3
		Pa4	Pb4	ha4	hb4
		Pa5	Pb5	ha5	hb5
		Pa6	Pb6	ha6	hb6
		Pa7	Pb7	ha7	hb7
		Pa8	Pb8	ha8	hb8
		Pa9	Pb9	ha9	hb9
		Pa10	Pb10	ha10	hb10
2	Q2	Pa1	Pb1	ha1	hb1
		Pa2	Pb2	ha2	hb2
		Pa3	Pb3	ha3	hb3
		Pa4	Pb4	ha4	hb4
		Pa5	Pb5	ha5	hb5
		Pa6	Pb6	ha6	hb6
		Pa7	Pb7	ha7	hb7
		Pa8	Pb8	ha8	hb8
		Pa9	Pb9	ha9	hb9
		Pa10	Pb10	ha10	hb10
3	Q3	Pa1	Pb1	ha1	hb1
		Pa2	Pb2	ha2	hb2
		Pa3	Pb3	ha3	hb3
		Pa4	Pb4	ha4	hb4
		Pa5	Pb5	ha5	hb5
		Pa6	Pb6	ha6	hb6
		Pa7	Pb7	ha7	hb7
		Pa8	Pb8	ha8	hb8
		Pa9	Pb9	ha9	hb9
		Pa10	Pb10	ha10	hb10
4	Q4	Pa1	Pb1	ha1	hb1
		Pa2	Pb2	ha2	hb2
		Pa3	Pb3	ha3	hb3
		Pa4	Pb4	ha4	hb4
		Pa5	Pb5	ha5	hb5
		Pa6	Pb6	ha6	hb6
		Pa7	Pb7	ha7	hb7
		Pa8	Pb8	ha8	hb8
		Pa9	Pb9	ha9	hb9
		Pa10	Pb10	ha10	hb10

g. Alat Tulis

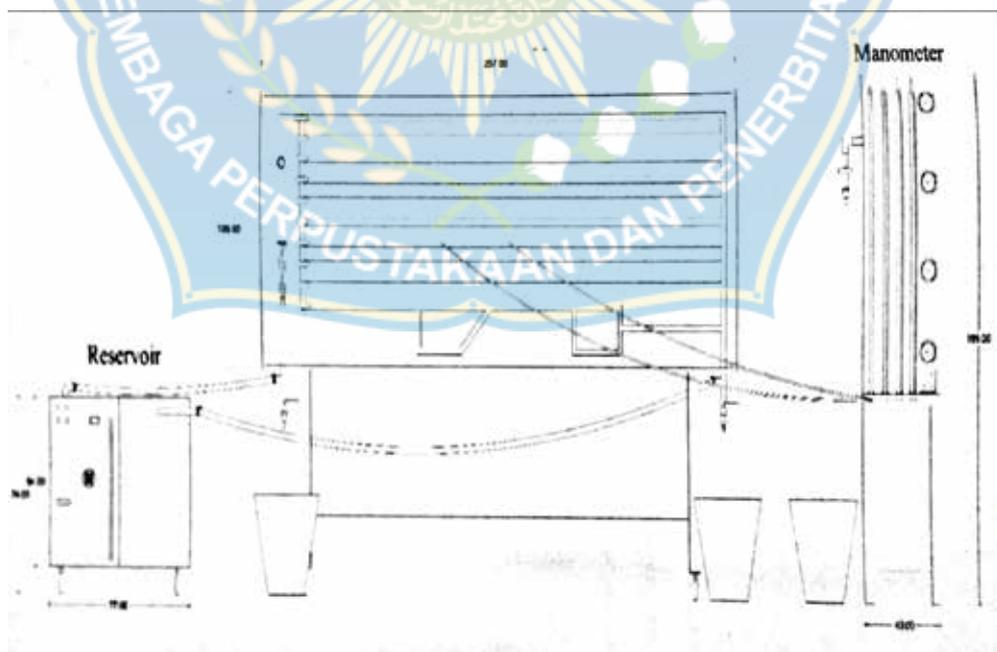
Alat tulis yang digunakan yaitu pensil untuk mencatat semua hasil data percobaan yang diperoleh.

h. Peralatan Pendukung

Peralatan yang digunakan untuk perbaikan pada alat hydraulic bench yaitu berupa obeng, kunci inggris dan peralatan lainnya.

2. Skema *Fluid Friction Apparatus*

Dimulai dari pengaliran air dari reservoir ke rangkaian *fluid friction apparatus*. Air yang mengalir diatur debitnya pada *flowmeter* kemudian dialirkan ke jenis pipa yang hendak diuji. Manometer dihubungkan pada titik pengujian, kemudian diambil data tekanan statis dan dinamis pada manometer.



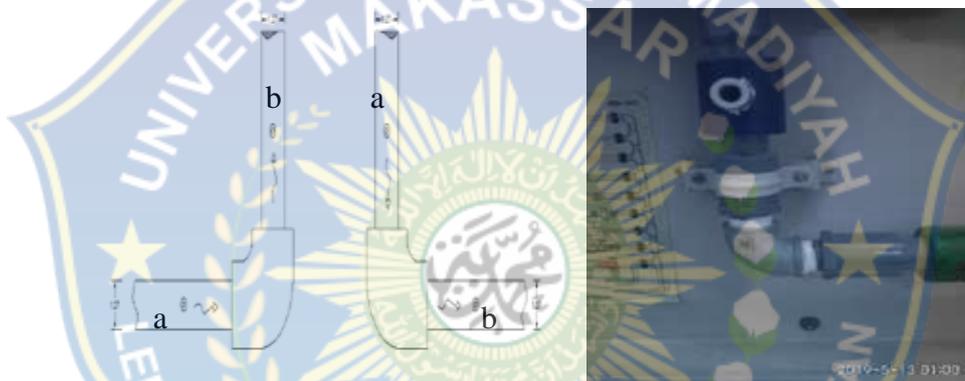
Gambar 13. Skema *Fluid Friction Apparatus*

3. Jenis Pipa yang Diteliti

Pada penelitian ini, ada dua jenis sambungan belokan pipa yang diteliti. Namun memiliki diameter pipa yang sama dan juga jenis material pipa yang sama.

a. Sambungan belokan pipa 90^0 dengan \varnothing 1,27 cm

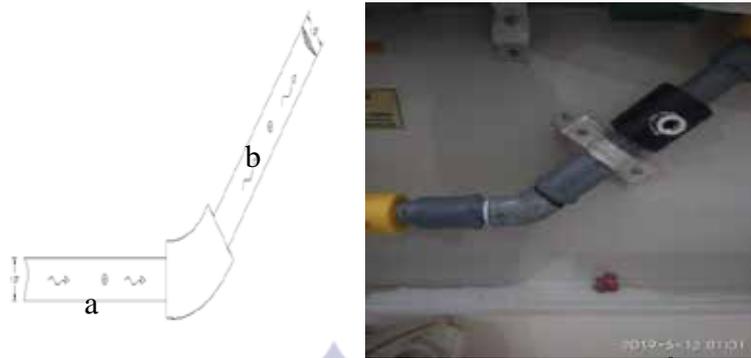
Pada model ini, air akan dialirkan dari pipa berdiameter 1,27 cm yang akan melewati sambungan belokan 90^0 menuju arah vertikal ke atas. Kemudian, data tekanan aliran diambil pada masing-masing penampang tersebut.



Gambar 14. Model sambungan 90^0

b. Sambungan belokan pipa 45^0 dengan \varnothing 1,27 cm

Pada model ini, air akan dialirkan dari pipa berdiameter 1,27 cm yang akan melewati sambungan belokan 45^0 menuju arah vertikal ke atas. Kemudian, data tekanan aliran diambil pada masing-masing penampang tersebut.



Gambar 15. Model sambungan 45^0

4. Pengamatan Parameter Model Uji

Ada beberapa parameter yang perlu diperhatikan pada penelitian ini, yaitu

:

a. Debit Aliran (Q)

Untuk penentuan debit, dapat dilihat pada *flowmeter* yang ada pada rangkaian alat *fluid friction apparatus*. Ada empat macam debit yang digunakan, yaitu debit $0,8 \text{ m}^3/\text{jam}$, $1,0 \text{ m}^3/\text{jam}$, $1,2 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan $1,4 \text{ m}^3/\text{jam}$.

Debit aliran berfungsi untuk menentukan kecepatan aliran air yang mengalir dalam pipa yang akan diuji.

b. Diameter Penampang Pipa (D)

Ukuran diameter penampang pipa dapat dilihat pada papan keterangan alat *fluid friction apparatus*. Pada penelitian ini, diameter pipa yang digunakan adalah $\frac{1}{2}$ “.

c. Tinggi air pada reservoir (h)

Tinggi air pada reservoir dapat dilihat pada rangkaian *hydraulic bench* (reservoir).

d. Suhu air pada reservoir ($^{\circ}\text{C}$)

Suhu air pada reservoir dapat dilihat pada rangkaian *hydraulic bench* (reservoir). Suhu air berfungsi untuk menentukan viskositas kinematik yang akan digunakan pada perhitungan bilangan Reynold.

e. Luas Reservoir (cm^2)

Luas reservoir didapatkan dari hasil perkalian panjang dan lebar reservoir.

f. Volume air pada reservoir (cm^3)

Volume air didapatkan dari hasil kali antara luas reservoir dengan tinggi air pada reservoir.

g. Tekanan statis dan tekanan dinamis

Untuk tekanan statis, dapat dilihat pada manometer air yang ada pada rangkaian manometer. Sedangkan tekanan dinamik dapat dilihat pada manometer bourden yang ada pada rangkaian manometer.

Parameter-parameter yang telah disebutkan diatas kemudian dicatat pada tabel pengamatan untuk masing-masing model konfigurasi penampang pipa yang digunakan.

D. Prosedur Penelitian

Langkah-langkah percobaan kecepatan aliran dengan menggunakan alat uji *fluid friction apparatus* adalah :

1. Siapkan alat percobaan fluid friction apparatus termasuk *hydraulic bench*, reservoir dan manometer.

2. Aturlah posisi katub pengatur debit air pada posisi maksimal. Atur posisi dari katub pengatur suplai air pada posisi buka.
3. Kemudian isi reservoir dengan air bersih, lalu tekan ON.
4. Pastikan seluruh katub percobaan dalam posisi terbuka.
5. Membiarkan aliran mengalir melalui manometer dan membuka semua stop value untuk membuang semua udara, kemudian menutup stop value keluaran air dan menutup stop value bagian atas manometer air ketika level aliran pada manometer sudah steady.
6. Ukurlah panjang titik penampang yang akan dilakukan percobaan. Untuk ukuran diameter pipa dapat dilihat pada dinding *fluid friction apparatus*. Catat hasil pengukuran pada tabel pengamatan.
7. Ukur temperature air pada reservoir dan catat pada tabel pengamatan.
8. Kemudian hubungkan selang dari manometer air kepada *fitting fluid friction apparatus*.
9. Membuka katub yang akan digunakan dan menutup katub yang tidak digunakan.
10. Atur posisi katub pengatur suplai air pada posisi buka. Lalu aturlah posisi dari katub pengatur debit air pada posisi minimal. Kemudian ON kan sumber suplay air.
11. Aturlah posisi dari katub pengatur debit air sampai water flow meter bergerak sampai posisi skala terbaca bagian bawah. Biarkan beberapa saat agar airnya mengalir stabil, lalu lakukan pembacaan dari manometer air. Catat hasil pengukuran pada tabel pengamatan.

12. Matikan air suplay lalu lepas selang manometer air. Kemudian pasang selang manometer bourden pada fitting. Nyalakan suplay air dan biarkan air mengalir sampai stabil. Catat hasil pengukuran pada tabel pengamatan.
13. Ulangi langkah diatas dengan empat jenis debit yang berbeda, dimana satu jenis debit dilakukan sebanyak 5 kali percobaan untuk mendapatkan data yang akurat.

E. Analisis Data

Setelah semua data telah diperoleh, selanjutnya dilakukan analisis data sebagai berikut :

1. Menghitung luas penampang pipa

Luas penampang pipa dihitung berdasarkan diameter pipa yang hendak diuji.

2. Menghitung kecepatan air yang mengalir dalam pipa

Setelah luas penampang dan debit diketahui, maka selanjutnya dapat dilakukan perhitungan kecepatan aliran air yang mengalir dalam pipa.

3. Menghitung kehilangan tinggi energi yang terjadi pada pipa

Kehilangan energy dihitung berdasarkan jenis pipa yang digunakan.

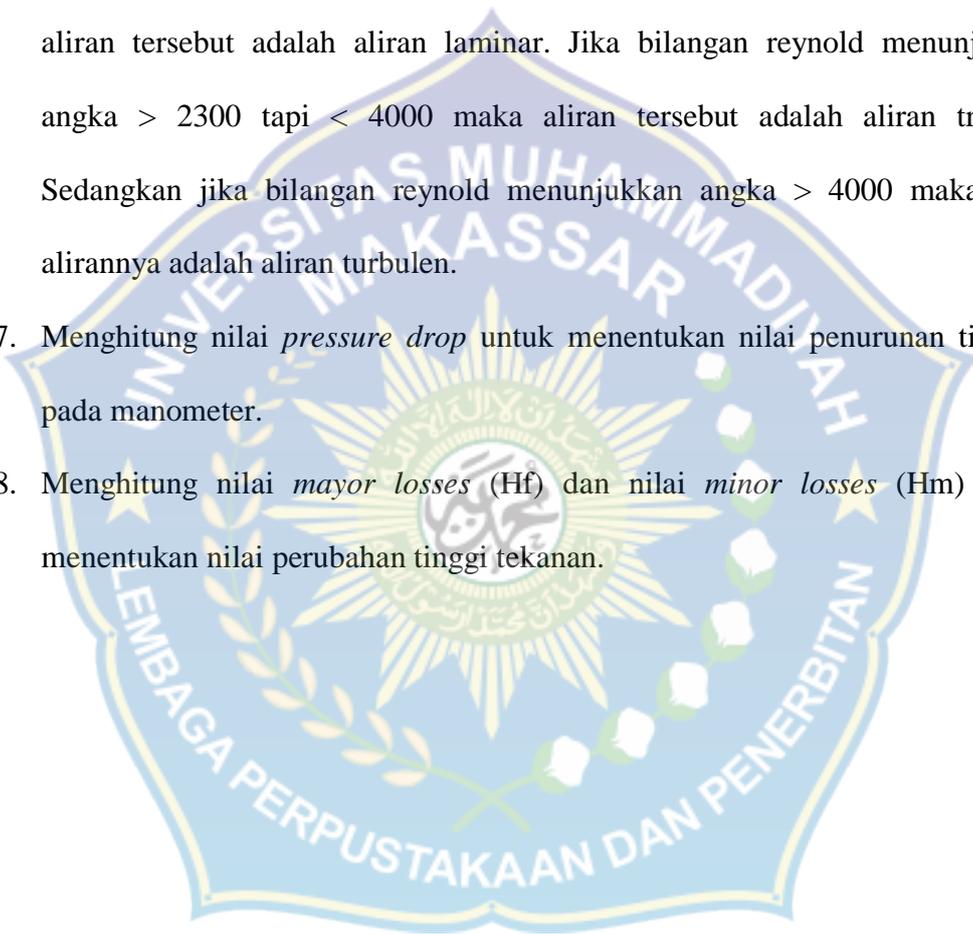
Kehilangan energy dipengaruhi oleh kekasaran pipa dan diameter pipa.

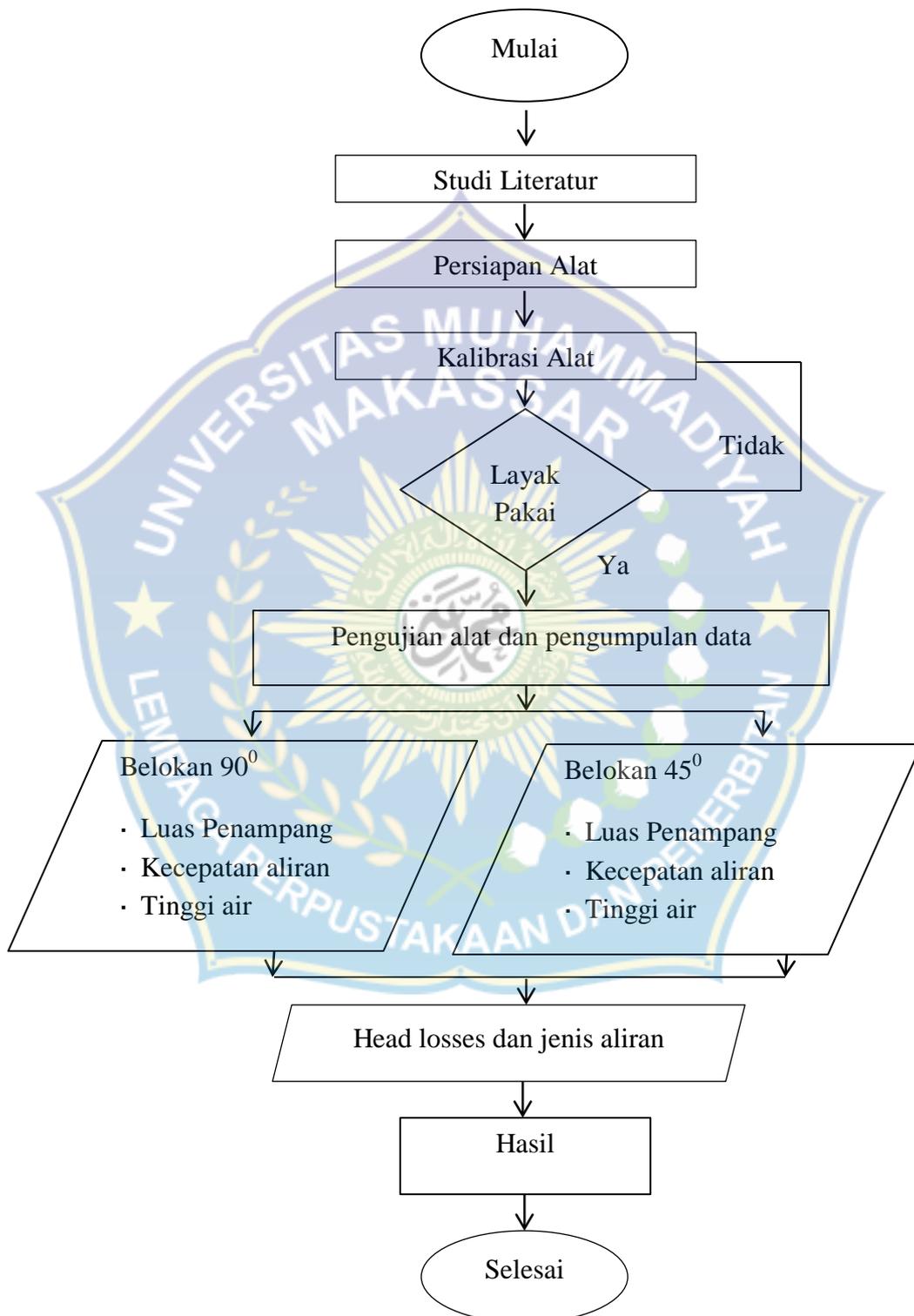
4. Tentukan viskositas kinematik. Viskositas kinematik ditentukan berdasarkan suhu air pada reservoir.

5. Menghitung bilangan Reynold

Bilangan Reynold berfungsi untuk mengetahui jenis aliran yang mengalir dalam pipa.

6. Tentukan jenis aliran yang mengalir dalam pipa dengan mengacu pada bilangan Reynold. Jika bilangan Reynold menunjukkan angka < 2300 maka aliran tersebut adalah aliran laminar. Jika bilangan Reynold menunjukkan angka > 2300 tapi < 4000 maka aliran tersebut adalah aliran transisi. Sedangkan jika bilangan Reynold menunjukkan angka > 4000 maka jenis alirannya adalah aliran turbulen.
7. Menghitung nilai *pressure drop* untuk menentukan nilai penurunan titik air pada manometer.
8. Menghitung nilai *major losses* (H_f) dan nilai *minor losses* (H_m) untuk menentukan nilai perubahan tinggi tekanan.





Gambar 16. Bagan Alur Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengamatan dengan menggunakan *fluid friction apparatus* pada laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar, didapatkan data tekanan dan tinggi air pada manometer yang mengalir dalam yang mengalami belokan.

Data-data yang diperoleh pada pengamatan *fluid friction apparatus* berupa debit (Q), diameter pipa (d), panjang pipa yang diuji (l), luas reservoir (L), suhu air yang ada pada reservoir ($^{\circ}C$), tekanan pada manometer borden (p_a dan p_b) dan tinggi air pada manometer (h_a dan h_b).

Data-data tersebut kemudian dianalisa untuk mendapatkan kehilangan tinggi tekanan yang diakibatkan oleh belokan pada pipa. Data tersebut berupa luas penampang (A), kecepatan (v), viskositas kinematik air yang mengalir dalam pipa, bilangan reynold (Re), *Pressure Drop* (Δp), dan perubahan tinggi tekanan.

A. Hasil Pengamatan

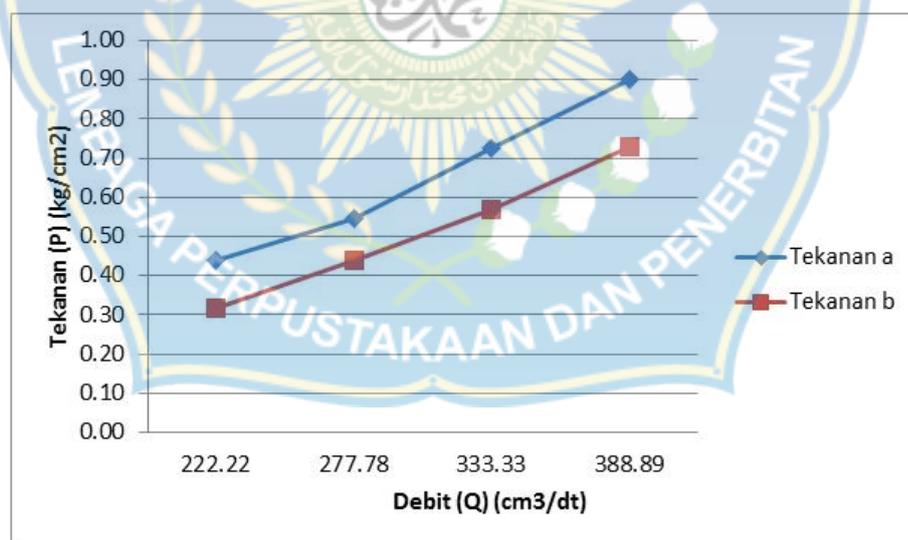
1. Hubungan Debit (Q) dengan Tekanan (P) dan Tinggi Air (h) pada Tiap Belokan

Berikut adalah hasil pengamatan data untuk nilai tekanan, tinggi air dan debit untuk tiap belokan :

a. Belokan pipa 90^0 dari arah horizontal ke vertikal

Pada belokan 90^0 dari arah horizontal ke vertikal diameter yang digunakan adalah 1.27 cm (da) dan 1.27 cm (db), jarak antar titik uji dari da dan db 18 cm (l), luas reservoir adalah 2052 cm^2 , dan suhu air pada reservoir adalah $30.83 \text{ }^0\text{C}$. Nilai tekanan (P) dan tinggi air pada manometer (h) pada titik a dan titik b didapatkan pada pengamatan manometer borden dan manometer air. Untuk data selanjutnya disajikan dalam lampiran 1.

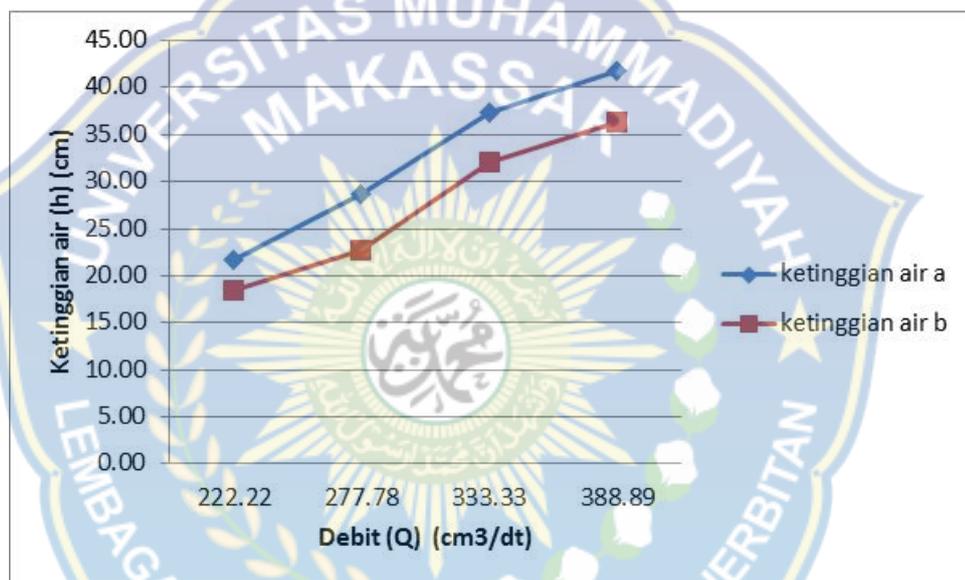
Untuk mendapatkan nilai rata-rata debit, tekanan, dan tinggi air pada titik a dan titik b dari sepuluh kali percobaan dapat dilihat pada lampiran 1, hasil yang didapatkan dijumlahkan kemudian dibagi dengan jumlah percobaan sehingga didapatkan nilai rata-ratanya, selanjutnya dapat dibuat grafik hubungan antara debit dan tekan serta hubungan antara debit dan tinggi air.



Gambar 17. Grafik hubungan antara debit (Q) dan tekanan (P)

Dari grafik 17 dapat dilihat bahwa nilai tekanan pada debit $222.22 \text{ cm}^3/\text{dt}$ untuk titik a sebesar $0.44 \text{ kg}/\text{cm}^2$ dan titik b sebesar $0.32 \text{ kg}/\text{cm}^2$, nilai tekanan pada debit $2777.78 \text{ cm}^3/\text{dt}$ untuk titik a sebesar $0.55 \text{ kg}/\text{cm}^2$ dan titik b sebesar

0.44 kg/cm², nilai tekanan pada debit 333.33 cm³/dt untuk titik a sebesar 0.73 kg/cm² dan untuk titik b sebesar 0.57 kg/cm², nilai tekanan pada debit 388.89 cm³/dt untuk titik a sebesar 0.90 kg/cm² dan untuk titik b sebesar 0.73 kg/cm². Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa tekanan air berbanding lurus dengan debit air, semakin besar debit yang diberikan maka semakin besar pula tekanan yang terjadi dan sebaliknya jika debit air yang diberikan kecil maka kecil pula tekanan yang terjadi.



Gambar 18. Grafik hubungan antara debit (Q) dan ketinggian air pada manometer (h)

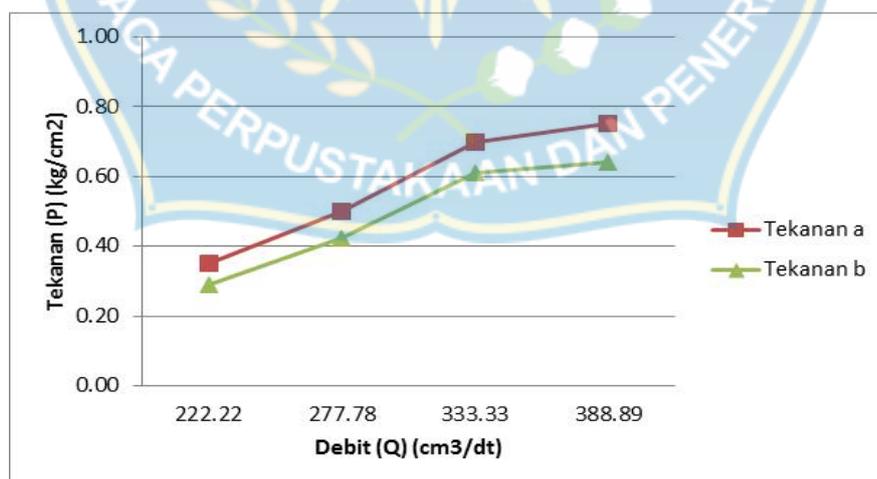
Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa tinggi air pada debit 222.22 cm³/dt untuk titik a sebesar 21.76 cm dan titik b sebesar 18.49 cm, tinggi air pada debit 277.78 cm³/dt untuk titik a sebesar 28.67 cm dan titik b sebesar 22.74 cm, tinggi air pada debit 333.33 cm³/dt untuk titik a sebesar 37.37 cm dan untuk titik b sebesar 32.15, tinggi air pada debit 388.89 cm³/dt untuk titik a sebesar 41.78 cm dan untuk titik b 36.37 cm. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa tinggi air berbanding lurus dengan debit air, semakin besar debit yang diberikan maka

semakin besar pula tinggi air dan sebaliknya jika debit air yang diberikan kecil maka kecil pula tinggi air.

b. Belokan pipa 90^0 dari arah vertikal ke horizontal

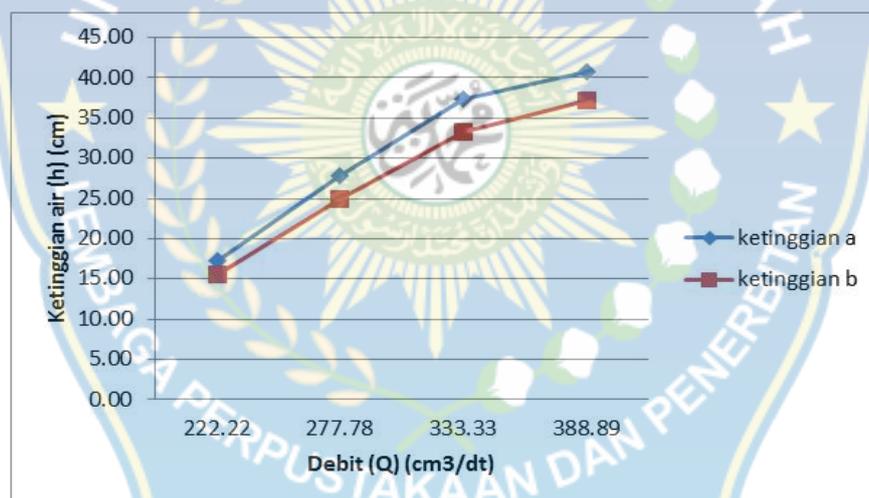
Pada belokan 90^0 dari arah vertikal ke horizontal diameter yang digunakan adalah 1.27 cm (da) dan 1.27 cm (db), jarak antar titik uji dari da dan db 30 cm (l), luas reservoir adalah 2052 cm^2 , dan suhu air pada reservoir adalah $32.13 \text{ }^0\text{C}$. Nilai tekanan (P) dan tinggi air pada manometer (h) pada titik a dan titik b didapatkan pada pengamatan manometer borden dan manometer air. Untuk data selanjutnya disajikan dalam lampiran 2.

Untuk mendapatkan nilai rata-rata debit, tekanan, dan tinggi air pada titik dan titik b dari sepuluh kali percobaan dapat dilihat pada lampiran 2, hasil yang didapatkan dijumlahkan kemudian dibagi dengan jumlah percobaan sehingga didapatkan nilai rata-ratanya, selanjutnya dapat dibuat grafik hubungan antara debit dan tekan serta hubungan antara debit dan tinggi air.



Gambar 19. Grafik hubungan antara debit (Q) dan tekanan (P)

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai tekanan pada debit 222.22 cm^3/dt untuk titik a sebesar $0.35 \text{ kg}/\text{cm}^2$ dan titik b sebesar $0.29 \text{ kg}/\text{cm}^2$, nilai tekanan pada debit 2777.78 cm^3/dt untuk titik a sebesar $0.50 \text{ kg}/\text{cm}^2$ dan titik b sebesar $0.43 \text{ kg}/\text{cm}^2$, nilai tekanan pada debit 333.33 cm^3/dt untuk titik a sebesar $0.70 \text{ kg}/\text{cm}^2$ dan untuk titik b sebesar $0.61 \text{ kg}/\text{cm}^2$, nilai tekanan pada debit 388.89 cm^3/dt untuk titik a sebesar $0.75 \text{ kg}/\text{cm}^2$ dan untuk titik b sebesar $0.764 \text{ kg}/\text{cm}^2$. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa tekanan air berbanding lurus dengan debit air, semakin besar debit yang diberikan maka semakin besar pula tekanan yang terjadi dan sebaliknya jika debit air yang diberikan kecil maka kecil pula tekanan yang terjadi.



Gambar 20. Grafik hubungan antara debit (Q) dan ketinggian air pada manometer (h)

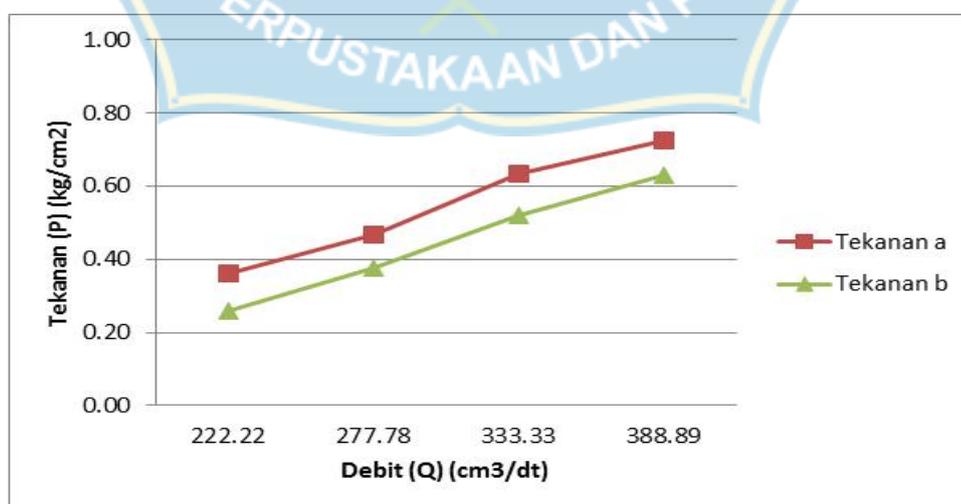
Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa tinggi air pada debit 222.22 cm^3/dt untuk titik a sebesar 17.18 cm dan titik b sebesar 15.52 cm, tinggi air pada debit 2777.78 cm^3/dt untuk titik a sebesar 27.74 cm dan titik b sebesar 24.84 cm, tinggi air pada debit 333.33 cm^3/dt untuk titik a sebesar 37.33 cm dan untuk titik b sebesar 33.32, tinggi air pada debit 388.89 cm^3/dt untuk titik a sebesar 40.78 cm

dan untuk titik b 37.13 cm. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa tinggi air berbanding lurus dengan debit air, semakin besar debit yang diberikan maka semakin besar pula tinggi air dan sebaliknya jika debit air yang diberikan kecil maka kecil pula tinggi air.

c. Belokan pipa 45° dari arah vertikal ke horizontal

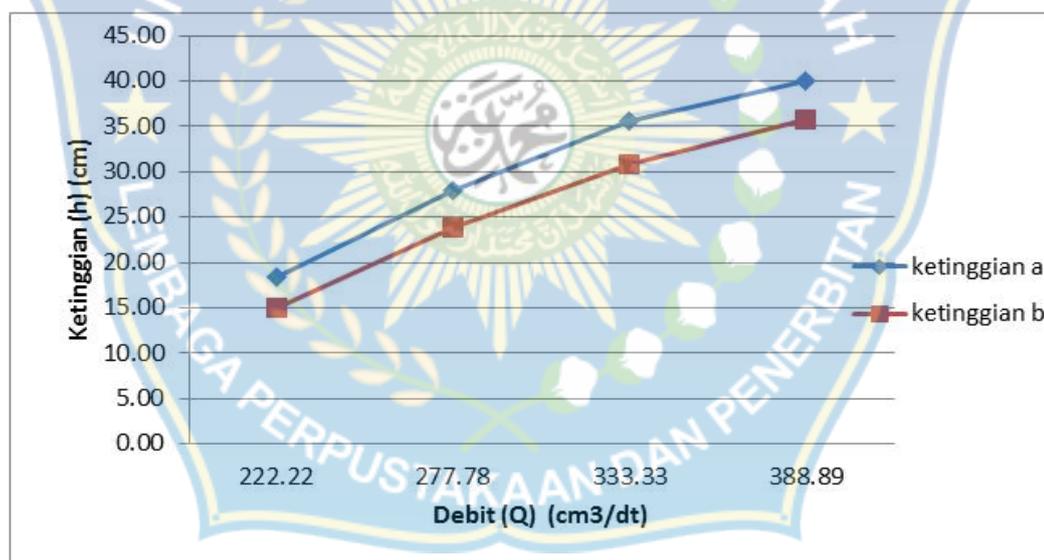
Pada belokan 45° dari arah horizontal ke vertikal diameter yang digunakan adalah 1.27 cm (da) dan 1.27 cm (db), jarak antar titik uji dari da dan db 20 cm (l), luas reservoir adalah 2052 cm^2 , dan suhu air pada reservoir adalah 31.8°C . Nilai tekanan (P) dan tinggi air pada manometer (h) pada titik a dan titik b didapatkan pada pengamatan manometer borden dan manometer air. Untuk data selanjutnya

Untuk mendapatkan nilai rata-rata debit, tekanan, dan tinggi air pada titik dan titik b dari sepuluh kali percobaan dapat dilihat pada lampiran 3, hasil yang didapatkan dijumlahkan kemudian dibagi dengan jumlah percobaan sehingga didapatkan nilai rata-ratanya, selanjutnya dapat dibuat grafik hubungan antara debit dan tekan serta hubungan antara debit dan tinggi air.



Gambar 21. Grafik hubungan antara debit (Q) dan tekanan (P)

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai tekanan pada debit 222.22 cm^3/dt untuk titik a sebesar $0.36 \text{ kg}/\text{cm}^2$ dan titik b sebesar $0.26 \text{ kg}/\text{cm}^2$, nilai tekanan pada debit 2777.78 cm^3/dt untuk titik a sebesar $0.47 \text{ kg}/\text{cm}^2$ dan titik b sebesar $0.38 \text{ kg}/\text{cm}^2$, nilai tekanan pada debit 333.33 cm^3/dt untuk titik a sebesar $0.64 \text{ kg}/\text{cm}^2$ dan untuk titik b sebesar $0.52 \text{ kg}/\text{cm}^2$, nilai tekanan pada debit 388.89 cm^3/dt untuk titik a sebesar $0.73 \text{ kg}/\text{cm}^2$ dan untuk titik b sebesar $0.63 \text{ kg}/\text{cm}^2$. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa tekanan air berbanding lurus dengan debit air, semakin besar debit yang diberikan maka semakin besar pula tekanan yang terjadi dan sebaliknya jika debit air yang diberikan kecil maka kecil pula tekanan yang terjadi.



Gambar 22. Grafik hubungan antara debit (Q) dan ketinggian air pada manometer (h)

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa tinggi air pada debit 222.22 cm^3/dt untuk titik a sebesar 18.38 cm dan titik b sebesar 14.94 cm, tinggi air pada debit 2777.78 cm^3/dt untuk titik a sebesar 27.99 cm dan titik b sebesar 23.88 cm, tinggi air pada debit 333.33 cm^3/dt untuk titik a sebesar 35.60 cm dan untuk titik b

sebesar 30.76, tinggi air pada debit 388.89 cm³/dt untuk titik a sebesar 39.94 cm dan untuk titik b 35.90 cm. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa tinggi air berbanding lurus dengan debit air, semakin besar debit yang diberikan maka semakin besar pula tinggi air dan sebaliknya jika debit air yang diberikan kecil maka kecil pula tinggi air.

2. Perhitungan Perubahan Tinggi Tekanan

Dari hasil data-data pengamatan dengan menggunakan *fluid friction apparatus*, didapatkan hasil berupa data tekanan dan tinggi air pada manometer aliran air dalam pipa yang mengalami belokan.

Sebelum memulai perhitungan, terlebih dahulu kita mengkonversi data yang memiliki satuan yang berbeda seperti pada data debit dari m³/jam menjadi cm³/dt dan juga data viskositas kinematik dari m²/dt menjadi cm²/dt.

Tabel 3. Konversi satuan debit

Satuan	Debit			
m ³ /jam	0.80	1.00	1.20	1.40
cm ³ /dt	222.22	277.78	333.33	388.89

Setelah satuannya dikonversi, selanjutnya dapat diperhitungkan lebih lanjut.

a. Luas Penampang (A)

Perhitungan luas penampang dengan menggunakan rumus $A = \frac{1}{4} \pi D^2$ dimana nilai $\pi = 3.14$ dari luas lingkaran sedangkan nilai (D) = 1.27 cm diambil dari diameter pipa yang diuji, maka :

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2 \quad A = \frac{1}{4} 3.14 1.27^2 \quad A = 1.27 \text{ cm}^2$$

Untuk perhitungan selanjutnya disajikan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan luas penampang

No	Q	Luas Penampang	
	cm ³ /dt	Aa cm ²	Ab cm ²
1	222.22	1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
2	277.78	1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
3	333.33	1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
4	388.89	1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27
		1.27	1.27

Sumber: Hasil perhitungan

b. Kecepatan Aliran Air dalam Pipa (v)

Perhitungan kecepatan aliran air dalam pipa dengan menggunakan rumus $= \frac{Q}{A}$. Dimana nilai (Q) = 222.22 cm³/dt diambil dari debit percobaan pertama dan nilai (A) = 1.27 cm² diambil pada perhitungan luas penampang sehingga didapatkan kecepatan aliran (v) :

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{222.22}{1.27}$$

$$v = 175.51 \text{ cm/dt}$$

Untuk kecepatan aliran pada saluran pipa semuanya sama karena hanya menggunakan satu jenis diameter pipa.

c. Viskositas Kinematik (μ)

Viskositas kinematik ditentukan oleh suhu air pada reservoir, yaitu 30.83 °C untuk belokan 90° arah horizontal ke vertikal, 32.13 °C untuk belokan 90° arah vertikal ke horizontal dan 31.8 °C untuk belokan 45° arah horizontal ke vertikal. Kemudian diinterpolasi untuk menentukan nilai viskositas kinematik berdasarkan tabel yang terlampir pada lampiran.

Interpolasi untuk suhu 30.83 °C :

$$y = y_1 + \left(\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \right) x (y_2 - y_1)$$

$$y = 0.0080 + \left(\frac{30.83 - 30}{40 - 30} \right) x (0.0066 - 0.0080)$$

$$y = 0.00789$$

Interpolasi untuk suhu 32.13 °C :

$$y = y_1 + \left(\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \right) x (y_2 - y_1)$$

$$y = 0.0080 + \left(\frac{32.13 - 30}{40 - 30} \right) x (0.0066 - 0.0080)$$

$$y = 0.00770$$

Interpolasi untuk suhu 31.8 °C :

$$y = y_1 + \left(\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \right) x (y_2 - y_1)$$

$$y = 0.0080 + \left(\frac{31.8 - 30}{40 - 30} \right) x (0.0066 - 0.0080)$$

$$y = 0.00775$$

d. Bilangan Reynold (Re)

Bilangan Reynold dipengaruhi oleh kecepatan aliran, diameter pipa dan viskositas kinematic.

1) Pipa belokan 90° arah horizontal ke vertikal

Perhitungan bilangan reynold pada percobaan pertama dengan menggunakan rumus $Re = \frac{v \times D}{\nu}$ dimana kecepatan aliran dalam pipa (v) = 175.71 cm/dt, diameter pipa (D) = 1.27 cm dan viskositas kinematic (ν) = 0.0079 cm²/dt. Sehingga bilangan reynold (Re) didapatkan sebagai berikut:

$$Re = \frac{v \times D}{\nu}$$

$$Re = \frac{175.71 \times 1.27}{0.0079}$$

$$Re = 28263.39$$

Untuk perhitungan selanjutnya disajikan pada tabel 5.

2) Pipa belokan 90^0 arah vertikal ke horizontal

Perhitungan bilangan reynold pada percobaan pertama dengan menggunakan rumus $Re = \frac{v \times D}{\nu}$ dimana kecepatan aliran dalam pipa (v) = 175.71 cm/dt, diameter pipa (D) = 1.27 cm dan viskositas kinematic (ν) = 0.00770 cm²/dt. Sehingga bilangan reynold (Re) didapatkan sebagai berikut:

$$Re = \frac{v \times D}{\nu}$$

$$Re = \frac{175.71 \times 1.27}{0.00770}$$

$$Re = 28941.56$$

Untuk perhitungan selanjutnya disajikan pada tabel 6.

3) Pipa belokan 45^0 arah horizontal ke vertikal

Perhitungan bilangan reynold pada percobaan pertama dengan menggunakan rumus $Re = \frac{v \times D}{\nu}$ dimana kecepatan aliran dalam pipa (v) = 175.71 cm/dt, diameter pipa (D) = 1.27 cm dan viskositas kinematic (ν) = 0.00775 cm²/dt. Sehingga bilangan reynold (Re) didapatkan sebagai berikut:

$$Re = \frac{v \times D}{\nu}$$

$$Re = \frac{175.71 \times 1.27}{0.00775}$$

$$Re = 28768.98$$

Untuk perhitungan selanjutnya disajikan pada tabel 7.

Tabel 5. Hasil perhitungan bilangan reynold dengan belokan 90⁰ (bentuk “ γ ”)

No	Q cm ³ /dt	Luas Penampang		Kecepatan		Viskositas V cm ² /dt	Bilangan Reynold	
		Aa cm ²	Ab cm ²	va cm/dt	vb cm/dt		Re a	Re b
1	222.22	1.27	1.27	175.51	175.51	0.0079	28263.39	28263.39
		1.27	1.27	175.51	175.51	0.0079	28263.39	28263.39
		1.27	1.27	175.51	175.51	0.0079	28263.39	28263.39
		1.27	1.27	175.51	175.51	0.0079	28263.39	28263.39
		1.27	1.27	175.51	175.51	0.0079	28263.39	28263.39
		1.27	1.27	175.51	175.51	0.0079	28263.39	28263.39
		1.27	1.27	175.51	175.51	0.0079	28263.39	28263.39
		1.27	1.27	175.51	175.51	0.0079	28263.39	28263.39
		1.27	1.27	175.51	175.51	0.0079	28263.39	28263.39
2	277.78	1.27	1.27	219.39	219.39	0.0079	35329.24	35329.24
		1.27	1.27	219.39	219.39	0.0079	35329.24	35329.24
		1.27	1.27	219.39	219.39	0.0079	35329.24	35329.24
		1.27	1.27	219.39	219.39	0.0079	35329.24	35329.24
		1.27	1.27	219.39	219.39	0.0079	35329.24	35329.24
		1.27	1.27	219.39	219.39	0.0079	35329.24	35329.24
		1.27	1.27	219.39	219.39	0.0079	35329.24	35329.24
		1.27	1.27	219.39	219.39	0.0079	35329.24	35329.24
		1.27	1.27	219.39	219.39	0.0079	35329.24	35329.24
3	333.33	1.27	1.27	263.27	263.27	0.0079	42395.09	42395.09
		1.27	1.27	263.27	263.27	0.0079	42395.09	42395.09
		1.27	1.27	263.27	263.27	0.0079	42395.09	42395.09
		1.27	1.27	263.27	263.27	0.0079	42395.09	42395.09
		1.27	1.27	263.27	263.27	0.0079	42395.09	42395.09
		1.27	1.27	263.27	263.27	0.0079	42395.09	42395.09
		1.27	1.27	263.27	263.27	0.0079	42395.09	42395.09
		1.27	1.27	263.27	263.27	0.0079	42395.09	42395.09
		1.27	1.27	263.27	263.27	0.0079	42395.09	42395.09
4	388.89	1.27	1.27	307.15	307.15	0.0079	49460.94	49460.94
		1.27	1.27	307.15	307.15	0.0079	49460.94	49460.94
		1.27	1.27	307.15	307.15	0.0079	49460.94	49460.94
		1.27	1.27	307.15	307.15	0.0079	49460.94	49460.94
		1.27	1.27	307.15	307.15	0.0079	49460.94	49460.94
		1.27	1.27	307.15	307.15	0.0079	49460.94	49460.94
		1.27	1.27	307.15	307.15	0.0079	49460.94	49460.94
		1.27	1.27	307.15	307.15	0.0079	49460.94	49460.94
		1.27	1.27	307.15	307.15	0.0079	49460.94	49460.94

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6. Hasil perhitungan bilangan reynold dengan belokan 90⁰ (bentuk “L”)

No	Q cm ³ /dt	Luas Penampang		Kecepatan		Viskositas	Bilangan Reynold	
		Aa	Ab	Va	vb	V	Re a	Re b
		cm ²	cm ²	cm/dt	cm/dt	cm ² /dt		
1	222.22	1.27	1.27	175.51	175.51	0.00770	28941.56	28941.56
		1.27	1.27	175.51	175.51	0.00770	28941.56	28941.56
		1.27	1.27	175.51	175.51	0.00770	28941.56	28941.56
		1.27	1.27	175.51	175.51	0.00770	28941.56	28941.56
		1.27	1.27	175.51	175.51	0.00770	28941.56	28941.56
		1.27	1.27	175.51	175.51	0.00770	28941.56	28941.56
		1.27	1.27	175.51	175.51	0.00770	28941.56	28941.56
		1.27	1.27	175.51	175.51	0.00770	28941.56	28941.56
		1.27	1.27	175.51	175.51	0.00770	28941.56	28941.56
2	277.78	1.27	1.27	219.39	219.39	0.00770	36176.94	36176.94
		1.27	1.27	219.39	219.39	0.00770	36176.94	36176.94
		1.27	1.27	219.39	219.39	0.00770	36176.94	36176.94
		1.27	1.27	219.39	219.39	0.00770	36176.94	36176.94
		1.27	1.27	219.39	219.39	0.00770	36176.94	36176.94
		1.27	1.27	219.39	219.39	0.00770	36176.94	36176.94
		1.27	1.27	219.39	219.39	0.00770	36176.94	36176.94
		1.27	1.27	219.39	219.39	0.00770	36176.94	36176.94
		1.27	1.27	219.39	219.39	0.00770	36176.94	36176.94
3	333.33	1.27	1.27	263.27	263.27	0.00770	43412.33	43412.33
		1.27	1.27	263.27	263.27	0.00770	43412.33	43412.33
		1.27	1.27	263.27	263.27	0.00770	43412.33	43412.33
		1.27	1.27	263.27	263.27	0.00770	43412.33	43412.33
		1.27	1.27	263.27	263.27	0.00770	43412.33	43412.33
		1.27	1.27	263.27	263.27	0.00770	43412.33	43412.33
		1.27	1.27	263.27	263.27	0.00770	43412.33	43412.33
		1.27	1.27	263.27	263.27	0.00770	43412.33	43412.33
		1.27	1.27	263.27	263.27	0.00770	43412.33	43412.33
4	388.89	1.27	1.27	307.15	307.15	0.00770	50647.72	50647.72
		1.27	1.27	307.15	307.15	0.00770	50647.72	50647.72
		1.27	1.27	307.15	307.15	0.00770	50647.72	50647.72
		1.27	1.27	307.15	307.15	0.00770	50647.72	50647.72
		1.27	1.27	307.15	307.15	0.00770	50647.72	50647.72
		1.27	1.27	307.15	307.15	0.00770	50647.72	50647.72
		1.27	1.27	307.15	307.15	0.00770	50647.72	50647.72
		1.27	1.27	307.15	307.15	0.00770	50647.72	50647.72
		1.27	1.27	307.15	307.15	0.00770	50647.72	50647.72

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 7. Hasil perhitungan bilangan reynold dengan belokan 45⁰ (bentuk “ γ ”)

No	Q cm ³ /dt	Luas Penampang		Kecepatan		Viskositas	Bilangan Reynold	
		Aa	Ab	va	vb	V	Re a	Re b
		cm ²	cm ²	cm/dt	cm/dt	cm ² /dt		
1	222.22	1.27	1.27	175.51	175.51	0.00775	28768.98	28768.98
		1.27	1.27	175.51	175.51	0.00775	28768.98	28768.98
		1.27	1.27	175.51	175.51	0.00775	28768.98	28768.98
		1.27	1.27	175.51	175.51	0.00775	28768.98	28768.98
		1.27	1.27	175.51	175.51	0.00775	28768.98	28768.98
		1.27	1.27	175.51	175.51	0.00775	28768.98	28768.98
		1.27	1.27	175.51	175.51	0.00775	28768.98	28768.98
		1.27	1.27	175.51	175.51	0.00775	28768.98	28768.98
		1.27	1.27	175.51	175.51	0.00775	28768.98	28768.98
2	277.78	1.27	1.27	219.39	219.39	0.00775	35961.23	35961.23
		1.27	1.27	219.39	219.39	0.00775	35961.23	35961.23
		1.27	1.27	219.39	219.39	0.00775	35961.23	35961.23
		1.27	1.27	219.39	219.39	0.00775	35961.23	35961.23
		1.27	1.27	219.39	219.39	0.00775	35961.23	35961.23
		1.27	1.27	219.39	219.39	0.00775	35961.23	35961.23
		1.27	1.27	219.39	219.39	0.00775	35961.23	35961.23
		1.27	1.27	219.39	219.39	0.00775	35961.23	35961.23
		1.27	1.27	219.39	219.39	0.00775	35961.23	35961.23
3	333.33	1.27	1.27	263.27	263.27	0.00775	43153.47	43153.47
		1.27	1.27	263.27	263.27	0.00775	43153.47	43153.47
		1.27	1.27	263.27	263.27	0.00775	43153.47	43153.47
		1.27	1.27	263.27	263.27	0.00775	43153.47	43153.47
		1.27	1.27	263.27	263.27	0.00775	43153.47	43153.47
		1.27	1.27	263.27	263.27	0.00775	43153.47	43153.47
		1.27	1.27	263.27	263.27	0.00775	43153.47	43153.47
		1.27	1.27	263.27	263.27	0.00775	43153.47	43153.47
		1.27	1.27	263.27	263.27	0.00775	43153.47	43153.47
4	388.89	1.27	1.27	307.15	307.15	0.00775	50345.72	50345.72
		1.27	1.27	307.15	307.15	0.00775	50345.72	50345.72
		1.27	1.27	307.15	307.15	0.00775	50345.72	50345.72
		1.27	1.27	307.15	307.15	0.00775	50345.72	50345.72
		1.27	1.27	307.15	307.15	0.00775	50345.72	50345.72
		1.27	1.27	307.15	307.15	0.00775	50345.72	50345.72
		1.27	1.27	307.15	307.15	0.00775	50345.72	50345.72
		1.27	1.27	307.15	307.15	0.00775	50345.72	50345.72
		1.27	1.27	307.15	307.15	0.00775	50345.72	50345.72

Sumber: Hasil Perhitungan

e. *Pressure Drop* (Δp)

Pressure Drop dipengaruhi oleh massa jenis fluida, kecepatan gravitasi bumi dan perbedaan tinggi air ada pada manometer. Gaya gesek disebabkan oleh resistensi terhadap aliran. Faktor utama yang mempengaruhi resistensi terhadap aliran fluida adalah kecepatan fluida melalui pipa dan viskositas fluida. Aliran cairan atau gas selalu akan mengalir ke arah perlawanan sedikit (kurang tekanan). Pada aliran satu fase, *pressure drop* dipengaruhi oleh Reynold number yang merupakan fungsi dari viskositas, densitas fluida dan diameter pipa.

1) Pipa belokan 90° arah horizontal ke vertikal

Perhitungan *pressure drop* atau penurunan tekanan dihitung dengan menggunakan rumus $\Delta p = \rho \times g \times \Delta h$. Dimana nilai massa jenis fluida (ρ) = 0.001 kg/cm^3 , dan nilai gravitasi bumi (g) = 981 cm/dt^2 dan nilai perbedaan ketinggian air pada manometer (Δh) didapatkan dari data pengujian. Sehingga nilai *pressure drop* dapat dihitung sebagai berikut :

$$\Delta p = \rho \times g \times \Delta h.$$

$$\Delta p = 0.001 \times 981 \times (21.6 - 17.5)$$

$$\Delta p = 4.0 \text{ N/cm}^2$$

Perhitungan selanjutnya disajikan pada tabel 8.

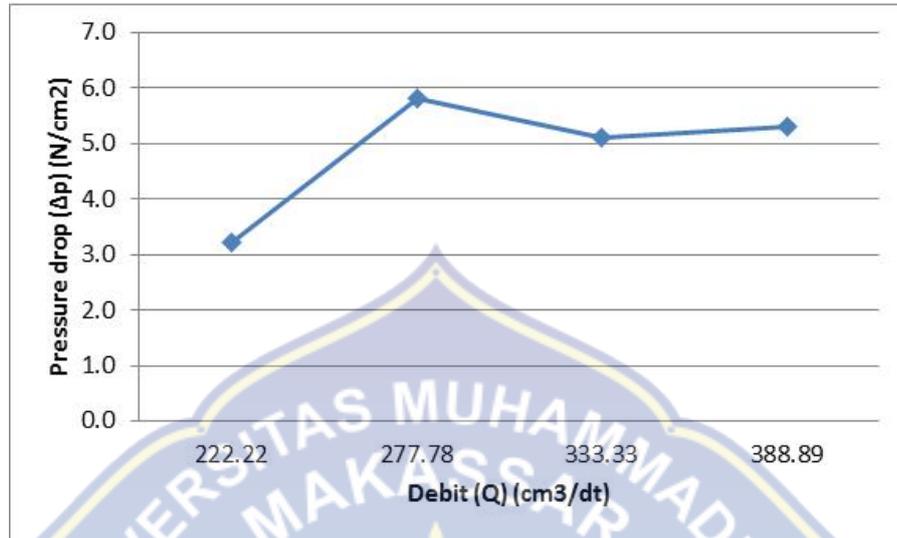
Dari grafik 23 dapat dilihat bahwa nilai *pressure drop* tertinggi berada pada debit $277.78 \text{ cm}^3/\text{dt}$ dengan nilai sebesar 5.8 N/cm^2 . Sedangkan nilai *pressure drop* terendah terjadi pada debit $222.22 \text{ cm}^3/\text{dt}$ dengan nilai sebesar 3.2 N/cm^2 .

Tabel 8. Perhitungan nilai *pressure drop* pada belokan 90⁰ (bentuk “ γ ”)

No	Q cm ³ /dt	Tinggi air pada Manometer		Pressure Drop
		ha cm	hb cm	Δp N/cm ²
1	222.22	21.6	17.5	4.0
		26.8	16.5	10.1
		20.5	18.4	2.1
		20.7	19.0	1.7
		21.2	18.8	2.4
		21.3	18.9	2.4
		21.2	19.0	2.2
		21.4	19.0	2.4
		21.5	18.9	2.6
		21.4	18.9	2.5
2	277.78	30.5	26.2	4.2
		29.9	22.1	7.7
		26.5	21.5	4.9
		30.1	25.4	4.6
		26.2	20.8	5.3
		26.4	22.6	3.7
		31.2	23.6	7.5
		28.6	21.8	6.7
		28.4	21.9	6.4
		28.9	21.5	7.3
3	333.33	37.1	32.1	4.9
		36.5	31.4	5.0
		35.8	30.9	4.8
		37.5	33.5	3.9
		37.1	32	5.0
		37.8	32.6	5.1
		38.2	32.5	5.6
		38.1	32.6	5.4
		37.7	31.4	6.2
		37.9	32.5	5.3
4	388.89	40.6	37	3.5
		41.6	35.2	6.3
		43.5	36.3	7.1
		44.9	37.6	7.2
		40.8	35.6	5.1
		42.1	37.2	4.8
		41.5	37.8	3.6
		40.5	34.8	5.6
		41.7	35.6	6.0
		40.6	36.6	3.9

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari tabel 8 dapat dibuat grafik perbandingan antara debit dan *pressure drop* dengan mengambil nilai rata-rata.



Gambar 23. Grafik hubungan antara debit (Q) dan *pressure drop* (Δp)

2) Pipa belokan 90⁰ arah vertikal ke horizontal

Perhitungan *pressure drop* atau penurunan tekanan dihitung dengan menggunakan rumus $\Delta p = \rho \times g \times \Delta h$. Dimana nilai massa jenis fluida (ρ) = 0.001 kg/cm³, dan nilai gravitasi bumi (g) = 981 cm/dt² dan nilai perbedaan ketinggian air pada manometer (Δh) didapatkan dari data pengujian. Sehingga nilai *pressure drop* dapat dihitung sebagai berikut :

$$\Delta p = \rho \times g \times \Delta h.$$

$$\Delta p = 0.001 \times 981 \times (15.6 - 14.8)$$

$$\Delta p = 0.8 \text{ N/cm}^2$$

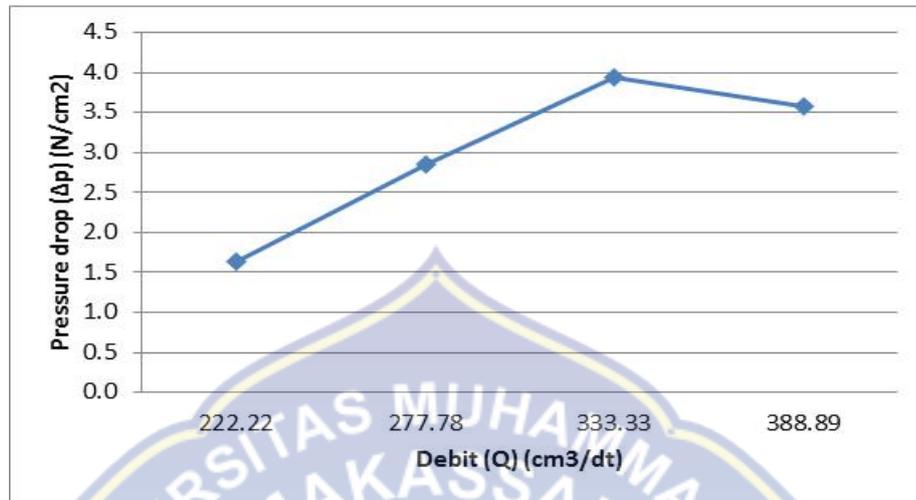
Perhitungan selanjutnya disajikan pada tabel 9.

Tabel 9. Perhitungan nilai *pressure drop* pada belokan 90⁰ (bentuk “L”)

No	Q cm ³ /dt	Tinggi air pada Manometer		Pressure Drop
		ha cm	hb cm	Δp N/cm ²
1	222.22	15.6	14.8	0.8
		17.5	16.1	1.4
		19.3	15.3	3.9
		16.3	14.9	1.4
		16.1	15.1	1.0
		17.7	15.3	2.4
		17.6	16.2	1.4
		16.3	14.9	1.4
		17.5	15.9	1.6
		17.9	16.7	1.2
2	277.78	26.9	21.7	5.1
		26.1	22.4	3.6
		29.6	25.4	4.1
		25.9	22.7	3.1
		27.5	25.6	1.9
		29.9	28.5	1.4
		27.8	25.3	2.5
		28.5	25.4	3.0
		27.4	25.8	1.6
		27.8	25.6	2.2
3	333.33	36.5	31.1	5.3
		37.3	33.8	3.4
		38.8	34.9	3.8
		36.2	31.5	4.6
		38.8	35.3	3.4
		36.3	31.3	4.9
		35.9	31.4	4.4
		38.5	34.6	3.8
		37.4	34.4	2.9
		37.6	34.9	2.6
4	388.89	39.9	35.4	4.4
		40.4	37.2	3.1
		39.8	36.4	3.3
		39.7	37.5	2.2
		40.8	37.4	3.3
		42.8	37.8	4.9
		41.2	36.9	4.2
		40.8	37.3	3.4
		39.9	37.9	2.0
42.5	37.5	4.9		

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari tabel 9 dapat dibuatkan grafik perbandingan antara debit dan *pressure drop* dengan mengambil nilai rata-rata.



Gambar 24. Grafik hubungan antara debit (Q) dan *pressure drop* (Δp)

Dari grafik 24 dapat dilihat bahwa nilai *pressure drop* tertinggi berada pada debit 333.33 cm³/dt dengan nilai sebesar 3.9 N/cm². Sedangkan nilai *pressure drop* terendah terjadi pada debit 222.22 cm³/dt dengan nilai sebesar 1.6 N/cm².

3) Pipa belokan 45⁰ arah horizontal ke vertikal

Perhitungan *pressure drop* atau penurunan tekanan dihitung dengan menggunakan rumus $\Delta p = \rho \times g \times \Delta h$. Dimana nilai massa jenis fluida (ρ) = 0.001 kg/cm³, dan nilai gravitasi bumi (g) = 981 cm/dt² dan nilai perbedaan ketinggian air pada manometer (Δh) didapatkan dari data pengujian. Sehingga nilai *pressure drop* dapat dihitung sebagai berikut :

$$\Delta p = \rho \times g \times \Delta h.$$

$$\Delta p = 0.001 \times 981 \times (20.1 - 14.5)$$

$$\Delta p = 5.5 \text{ N/cm}^2$$

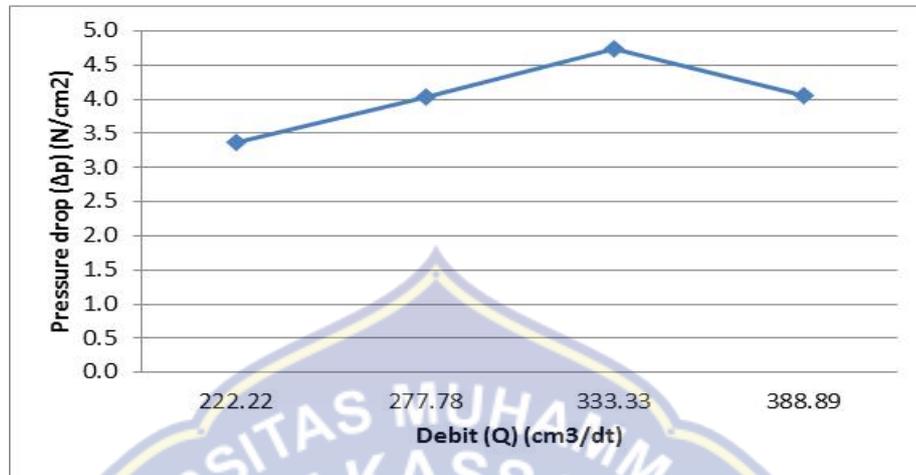
Perhitungan selanjutnya disajikan pada tabel 10.

Tabel 10. Perhitungan nilai *pressure drop* pada belokan 45^0 (bentuk “ γ ”)

No	Q cm ³ /dt	Tinggi air pada Manometer		Pressure Drop
		ha	hb	Δp
		cm	cm	N/cm ²
1	222.22	20.1	14.5	5.5
		17.4	14.2	3.1
		21.4	18.2	3.1
		17.8	15.4	2.4
		17.2	14.7	2.5
		17.4	14.5	2.8
		19.8	15.7	4.0
		17.2	13.6	3.5
		18.1	14.1	3.9
		17.4	14.5	2.8
2	277.78	28.1	25.4	2.6
		27.2	23.5	3.6
		28.2	23.9	4.2
		27.9	23.9	3.9
		28.1	23.1	4.9
		26.5	23	3.4
		31.3	24.1	7.1
		28.6	24.9	3.6
		27.1	24.1	2.9
		26.9	22.9	3.9
3	333.33	36.6	30.3	6.2
		37.1	30.2	6.8
		36.5	31.9	4.5
		36.5	32.2	4.2
		36.2	30.4	5.7
		34.6	30.7	3.8
		35.2	30.4	4.7
		34.4	29.9	4.4
		34.3	31.2	3.0
4	388.89	41.6	35.2	6.3
		37.4	35.9	1.5
		39.2	37.2	2.0
		39.6	35.6	3.9
		39.2	35.4	3.7
		40.2	35.8	4.3
		44.2	37.2	6.9
		39.6	34.9	4.6
		38.8	35.4	3.3
39.6	35.4	4.1		

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari tabel 10 dapat dibuat grafik perbandingan antara debit dan *pressure drop* dengan mengambil nilai rata-rata.



Gambar 25. Grafik hubungan antara debit (Q) dan *pressure drop* (Δp)

Dari grafik 23 dapat dilihat bahwa nilai *pressure drop* tertinggi berada pada debit 333.33 cm³/dt dengan nilai sebesar 4.7 N/cm². Sedangkan nilai *pressure drop* terendah terjadi pada debit 222.22 cm³/dt dengan nilai sebesar 3.4 N/cm².

f. *Mayor Losses* (Hf)

Perhitungan *major losses* dipengaruhi oleh faktor gesek, panjang titik pipa yang diamati, diameter pipa, kecepatan aliran dan kecepatan gravitasi.

1) Pipa belokan 90⁰ arah horizontal ke vertikal

Perhitungan *major losses* dihitung dengan menggunakan rumus

$$H_f = f \times \frac{L}{D} \times \left(\frac{v^2}{2g} \right).$$

Dimana untuk data pertama nilai (f) = 0.0280, nilai (l) =

18 cm, nilai (D) = 1.27 cm, nilai (v) = 175.51 cm/dt dan nilai (g) = 981 cm/dt².

Sehingga nilai *major losses* sebagai berikut :

$$Hf = f \times \frac{L}{D} \times \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

$$Hf = 0.0280 \times \frac{18}{1.27} \times \left(\frac{175.51^2}{2 \times 981} \right) \quad Hf = 6.231 \text{ cm}$$

Perhitungan selanjutnya disajikan pada tabel 11.

2) Pipa belokan 90^0 arah vertikal ke horizontal

Perhitungan *major losses* dihitung dengan menggunakan rumus

$$Hf = f \times \frac{L}{D} \times \left(\frac{v^2}{2g} \right).$$

Dimana untuk data pertama nilai (f) = 0.0260, nilai (l) = 30 cm, nilai (D) = 1.27 cm, nilai (v) = 175.51 cm/dt dan nilai (g) = 981 cm/dt².

Sehingga nilai *major losses* sebagai berikut :

$$Hf = f \times \frac{L}{D} \times \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

$$Hf = 0.0260 \times \frac{30}{1.27} \times \left(\frac{175.51^2}{2 \times 981} \right) \quad Hf = 9.643 \text{ cm}$$

Perhitungan selanjutnya disajikan pada tabel 12.

3) Pipa belokan 45^0 arah horizontal ke vertikal

Perhitungan *major losses* dihitung dengan menggunakan rumus

$$Hf = f \times \frac{L}{D} \times \left(\frac{v^2}{2g} \right).$$

Dimana untuk data pertama nilai (f) = 0.0260, nilai (l) = 20 cm, nilai (D) = 1.27 cm, nilai (v) = 175.51 cm/dt dan nilai (g) = 981 cm/dt².

Sehingga nilai *major losses* sebagai berikut :

$$Hf = f \times \frac{L}{D} \times \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

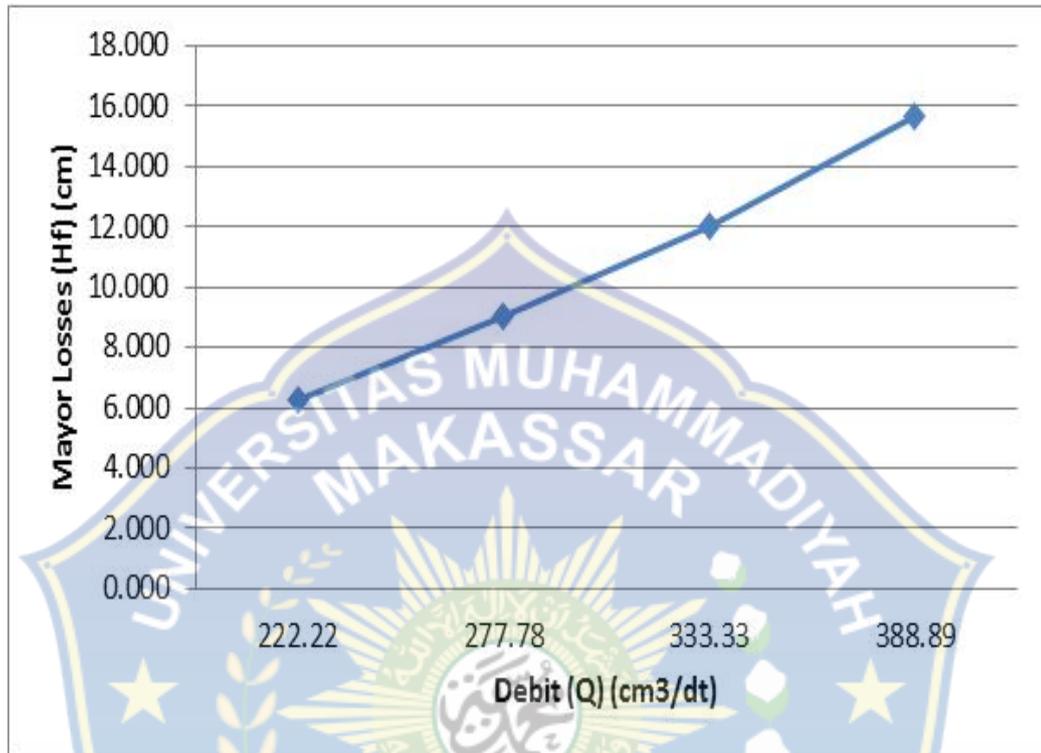
$$Hf = 0.0260 \times \frac{20}{1.27} \times \left(\frac{175.51^2}{2 \times 981} \right) \quad Hf = 6.429 \text{ cm}$$

Tabel 11. Hasil perhitungan nilai *mayor losses* belokan 90° (bentuk “ γ ”)

No	Q cm ³ /dt	Viskositas V cm ² /dt	Bilangan Reynold		Koefisien gesek F	Mayor Losses Hf cm
			Re a	Re b		
1	222.22	0.0079	28263.39	28263.39	0.0280	6.2309
		0.0079	28263.39	28263.39	0.0280	6.2309
		0.0079	28263.39	28263.39	0.0280	6.2309
		0.0079	28263.39	28263.39	0.0280	6.2309
		0.0079	28263.39	28263.39	0.0280	6.2309
		0.0079	28263.39	28263.39	0.0280	6.2309
		0.0079	28263.39	28263.39	0.0280	6.2309
		0.0079	28263.39	28263.39	0.0280	6.2309
		0.0079	28263.39	28263.39	0.0280	6.2309
2	277.78	0.0079	35329.24	35329.24	0.0260	9.0403
		0.0079	35329.24	35329.24	0.0260	9.0403
		0.0079	35329.24	35329.24	0.0260	9.0403
		0.0079	35329.24	35329.24	0.0260	9.0403
		0.0079	35329.24	35329.24	0.0260	9.0403
		0.0079	35329.24	35329.24	0.0260	9.0403
		0.0079	35329.24	35329.24	0.0260	9.0403
		0.0079	35329.24	35329.24	0.0260	9.0403
		0.0079	35329.24	35329.24	0.0260	9.0403
3	333.33	0.0079	42395.09	42395.09	0.0240	12.0167
		0.0079	42395.09	42395.09	0.0240	12.0167
		0.0079	42395.09	42395.09	0.0240	12.0167
		0.0079	42395.09	42395.09	0.0240	12.0167
		0.0079	42395.09	42395.09	0.0240	12.0167
		0.0079	42395.09	42395.09	0.0240	12.0167
		0.0079	42395.09	42395.09	0.0240	12.0167
		0.0079	42395.09	42395.09	0.0240	12.0167
		0.0079	42395.09	42395.09	0.0240	12.0167
4	388.89	0.0079	49460.94	49460.94	0.0230	15.6745
		0.0079	49460.94	49460.94	0.0230	15.6745
		0.0079	49460.94	49460.94	0.0230	15.6745
		0.0079	49460.94	49460.94	0.0230	15.6745
		0.0079	49460.94	49460.94	0.0230	15.6745
		0.0079	49460.94	49460.94	0.0230	15.6745
		0.0079	49460.94	49460.94	0.0230	15.6745
		0.0079	49460.94	49460.94	0.0230	15.6745
		0.0079	49460.94	49460.94	0.0230	15.6745

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari tabel 11 dapat dibuatkan grafik perbandingan antara debit dan *mayor losses* dengan mengambil nilai rata-rata.



Gambar 26. Grafik hubungan antara debit (Q) dan *mayor losses* (Hf)

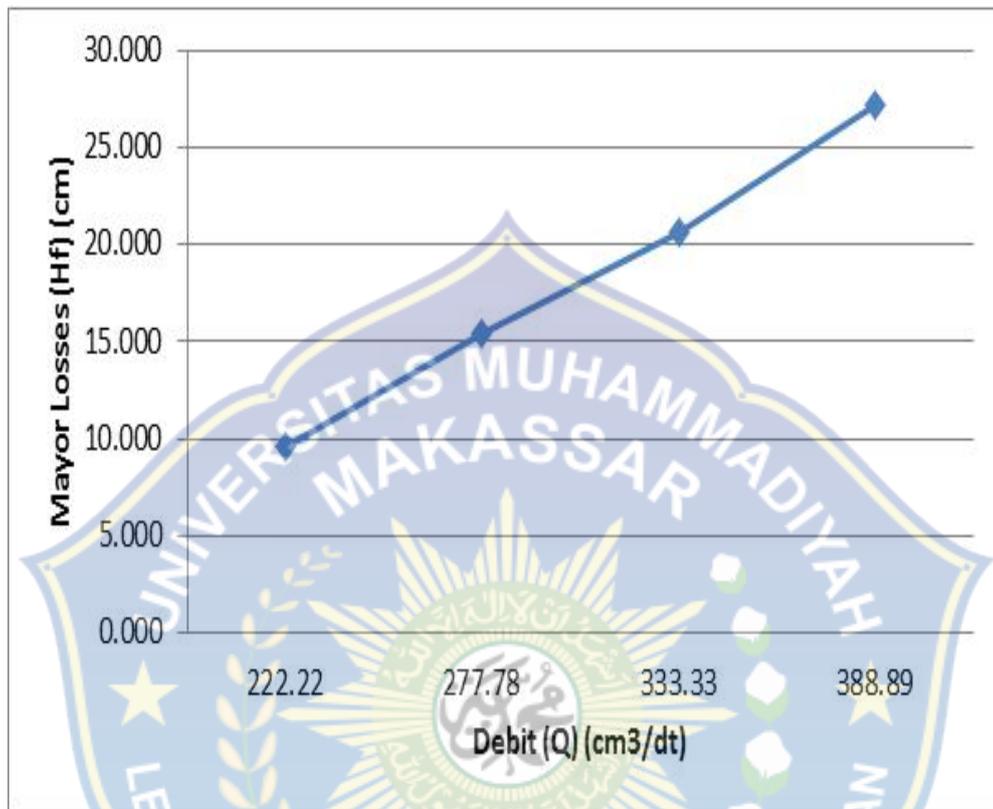
Dari grafik 26 dapat dilihat bahwa nilai *mayor losses* pada debit 222.22 cm³/dt sebesar 6.231 cm, *mayor losses* pada debit 277.78 cm³/dt sebesar 9.040 cm, *mayor losses* pada debit 333.33 cm³/dt sebesar 12.017 cm, *mayor losses* pada debit 388.89 cm³/dt sebesar 15.675 cm. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *mayor losses* berbanding lurus dengan debit air, semakin besar debit yang diberikan maka semakin besar pula nilai *mayor losses* dan sebaliknya jika debit air yang diberikan kecil maka kecil pula nilai *mayor losses*.

Tabel 12. Hasil perhitungan nilai *mayor losses* belokan 90° (bentuk “L”)

No	Q cm ³ /dt	Viskositas	Bilangan Reynold		Koefisien gesek f	Mayor Losses
		V	Re a	Re b		Hf
		cm ² /dt			Cm	
1	222.22	0.00770	28941.56	28941.56	0.0260	9.6430
		0.00770	28941.56	28941.56	0.0260	9.6430
		0.00770	28941.56	28941.56	0.0260	9.6430
		0.00770	28941.56	28941.56	0.0260	9.6430
		0.00770	28941.56	28941.56	0.0260	9.6430
		0.00770	28941.56	28941.56	0.0260	9.6430
		0.00770	28941.56	28941.56	0.0260	9.6430
		0.00770	28941.56	28941.56	0.0260	9.6430
		0.00770	28941.56	28941.56	0.0260	9.6430
2	277.78	0.00770	36176.94	36176.94	0.0267	15.4729
		0.00770	36176.94	36176.94	0.0267	15.4729
		0.00770	36176.94	36176.94	0.0267	15.4729
		0.00770	36176.94	36176.94	0.0267	15.4729
		0.00770	36176.94	36176.94	0.0267	15.4729
		0.00770	36176.94	36176.94	0.0267	15.4729
		0.00770	36176.94	36176.94	0.0267	15.4729
		0.00770	36176.94	36176.94	0.0267	15.4729
		0.00770	36176.94	36176.94	0.0267	15.4729
3	333.33	0.00770	43412.33	43412.33	0.0248	20.6954
		0.00770	43412.33	43412.33	0.0248	20.6954
		0.00770	43412.33	43412.33	0.0248	20.6954
		0.00770	43412.33	43412.33	0.0248	20.6954
		0.00770	43412.33	43412.33	0.0248	20.6954
		0.00770	43412.33	43412.33	0.0248	20.6954
		0.00770	43412.33	43412.33	0.0248	20.6954
		0.00770	43412.33	43412.33	0.0248	20.6954
		0.00770	43412.33	43412.33	0.0248	20.6954
4	388.89	0.00770	50647.72	50647.72	0.0240	27.2600
		0.00770	50647.72	50647.72	0.0240	27.2600
		0.00770	50647.72	50647.72	0.0240	27.2600
		0.00770	50647.72	50647.72	0.0240	27.2600
		0.00770	50647.72	50647.72	0.0240	27.2600
		0.00770	50647.72	50647.72	0.0240	27.2600
		0.00770	50647.72	50647.72	0.0240	27.2600
		0.00770	50647.72	50647.72	0.0240	27.2600
		0.00770	50647.72	50647.72	0.0240	27.2600

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari tabel 12 dapat dibuatkan grafik perbandingan antara debit dan *major losses* dengan mengambil nilai rata-rata.



Gambar 27. Grafik hubungan antara debit (Q) dan *major losses* (Hf)

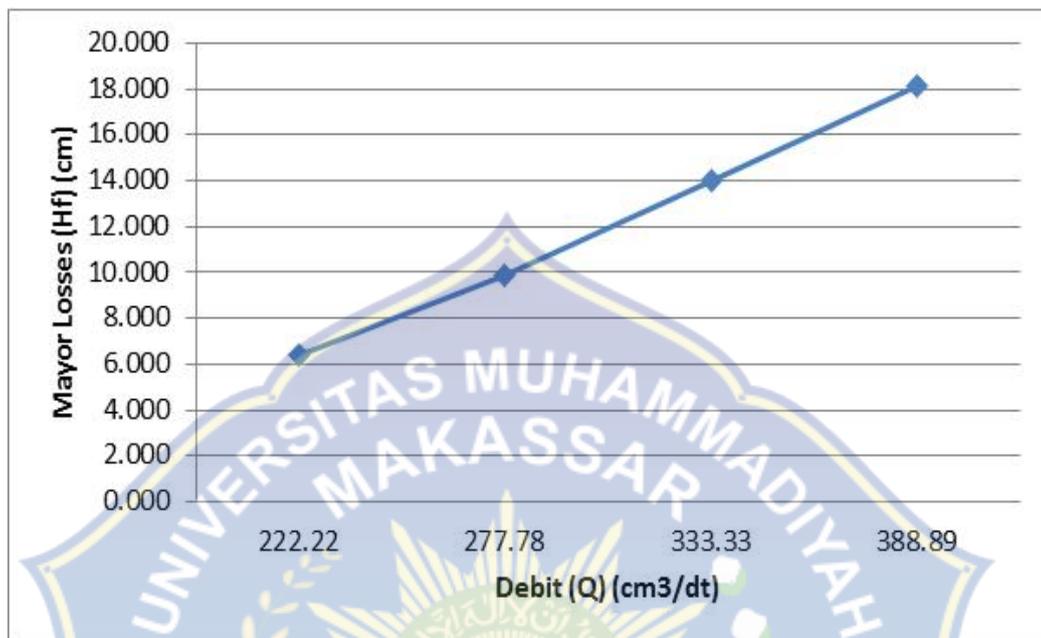
Dari grafik 27 dapat dilihat bahwa nilai *major losses* pada debit 222.22 cm³/dt sebesar 9.643 cm, *major losses* pada debit 277.78 cm³/dt sebesar 15.473 cm, *major losses* pada debit 333.33 cm³/dt sebesar 20.695 cm, *major losses* pada debit 388.89 cm³/dt sebesar 27.260 cm. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *major losses* berbanding lurus dengan debit air, semakin besar debit yang diberikan maka semakin besar pula nilai *major losses* dan sebaliknya jika debit air yang diberikan kecil maka kecil pula nilai *major losses*.

Tabel 13. Hasil perhitungan nilai *mayor losses* belokan 45⁰ (bentuk “ γ ”)

No	Q cm ³ /dt	Viskositas	Bilangan Reynold		Koefisien gesek	Mayor Losses
		V	Re a	Re b	f	Hf
		cm ² /dt				Cm
1	222.22	0.00775	28768.98	28768.98	0.0260	6.4287
		0.00775	28768.98	28768.98	0.0260	6.4287
		0.00775	28768.98	28768.98	0.0260	6.4287
		0.00775	28768.98	28768.98	0.0260	6.4287
		0.00775	28768.98	28768.98	0.0260	6.4287
		0.00775	28768.98	28768.98	0.0260	6.4287
		0.00775	28768.98	28768.98	0.0260	6.4287
		0.00775	28768.98	28768.98	0.0260	6.4287
		0.00775	28768.98	28768.98	0.0260	6.4287
2	277.78	0.00775	35961.23	35961.23	0.0255	9.8516
		0.00775	35961.23	35961.23	0.0255	9.8516
		0.00775	35961.23	35961.23	0.0255	9.8516
		0.00775	35961.23	35961.23	0.0255	9.8516
		0.00775	35961.23	35961.23	0.0255	9.8516
		0.00775	35961.23	35961.23	0.0255	9.8516
		0.00775	35961.23	35961.23	0.0255	9.8516
		0.00775	35961.23	35961.23	0.0255	9.8516
		0.00775	35961.23	35961.23	0.0255	9.8516
3	333.33	0.00775	43153.47	43153.47	0.0252	14.0195
		0.00775	43153.47	43153.47	0.0252	14.0195
		0.00775	43153.47	43153.47	0.0252	14.0195
		0.00775	43153.47	43153.47	0.0252	14.0195
		0.00775	43153.47	43153.47	0.0252	14.0195
		0.00775	43153.47	43153.47	0.0252	14.0195
		0.00775	43153.47	43153.47	0.0252	14.0195
		0.00775	43153.47	43153.47	0.0252	14.0195
		0.00775	43153.47	43153.47	0.0252	14.0195
4	388.89	0.00775	50345.72	50345.72	0.0240	18.1734
		0.00775	50345.72	50345.72	0.0240	18.1734
		0.00775	50345.72	50345.72	0.0240	18.1734
		0.00775	50345.72	50345.72	0.0240	18.1734
		0.00775	50345.72	50345.72	0.0240	18.1734
		0.00775	50345.72	50345.72	0.0240	18.1734
		0.00775	50345.72	50345.72	0.0240	18.1734
		0.00775	50345.72	50345.72	0.0240	18.1734
		0.00775	50345.72	50345.72	0.0240	18.1734

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari tabel 13 dapat dibuat grafik perbandingan antara debit dan *major losses* dengan mengambil nilai rata-rata.



Gambar 28. Grafik hubungan antara debit (Q) dan *major losses* (Hf)

Dari grafik 28 dapat dilihat bahwa nilai *major losses* pada debit 222.22 cm³/dt sebesar 6.429 cm, *major losses* pada debit 277.78 cm³/dt sebesar 9.852 cm, *major losses* pada debit 333.33 cm³/dt sebesar 14.019 cm, *major losses* pada debit 388.89 cm³/dt sebesar 18.173 cm. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *major losses* berbanding lurus dengan debit air, semakin besar debit yang diberikan maka semakin besar pula nilai *major losses* dan sebaliknya jika debit air yang diberikan kecil maka kecil pula nilai *major losses*.

g. *Minor Losses* (Hm)

Perhitungan *major losses* dipengaruhi oleh koefisien kerugian pada *fitting*, kecepatan aliran dan kecepatan gravitasi.

- 1) Pipa belokan 90^0 arah horizontal ke vertikal

Perhitungan *minor losses* dihitung dengan menggunakan rumus

$$H_m = k \times \left(\frac{v^2}{2g}\right). \text{ Dimana untuk data pertama nilai } (k) = 0.3, \text{ nilai } (v) = 175.51$$

cm/dt dan nilai $(g) = 981 \text{ cm/dt}^2$. Sehingga nilai *mayor losses* sebagai berikut :

$$H_f = k \times \left(\frac{v^2}{2g}\right) \quad H_f = 0.3 \times \left(\frac{175.51^2}{2 \times 981}\right) \quad H_f = 4.710 \text{ cm}$$

Perhitungan selanjutnya disajikan pada tabel 14.

- 2) Pipa belokan 90^0 arah vertikal ke horizontal

Perhitungan *minor losses* dihitung dengan menggunakan rumus

$$H_m = k \times \left(\frac{v^2}{2g}\right). \text{ Dimana untuk data pertama nilai } (k) = 0.3, \text{ nilai } (v) = 175.51$$

cm/dt dan nilai $(g) = 981 \text{ cm/dt}^2$. Sehingga nilai *minor losses* sebagai berikut :

$$H_f = k \times \left(\frac{v^2}{2g}\right) \quad H_f = 0.3 \times \left(\frac{175.51^2}{2 \times 981}\right) \quad H_f = 4.710 \text{ cm}$$

Perhitungan selanjutnya disajikan pada tabel 15.

- 3) Pipa belokan 45^0 arah horizontal ke vertikal

Perhitungan *minor losses* dihitung dengan menggunakan rumus

$$H_m = k \times \left(\frac{v^2}{2g}\right). \text{ Dimana untuk data pertama nilai } (k) = 0.2, \text{ nilai } (v) = 175.51$$

cm/dt dan nilai $(g) = 981 \text{ cm/dt}^2$. Sehingga nilai *minor losses* sebagai berikut :

$$H_f = k \times \left(\frac{v^2}{2g}\right) \quad H_f = 0.2 \times \left(\frac{175.51^2}{2 \times 981}\right) \quad H_f = 3.140 \text{ cm}$$

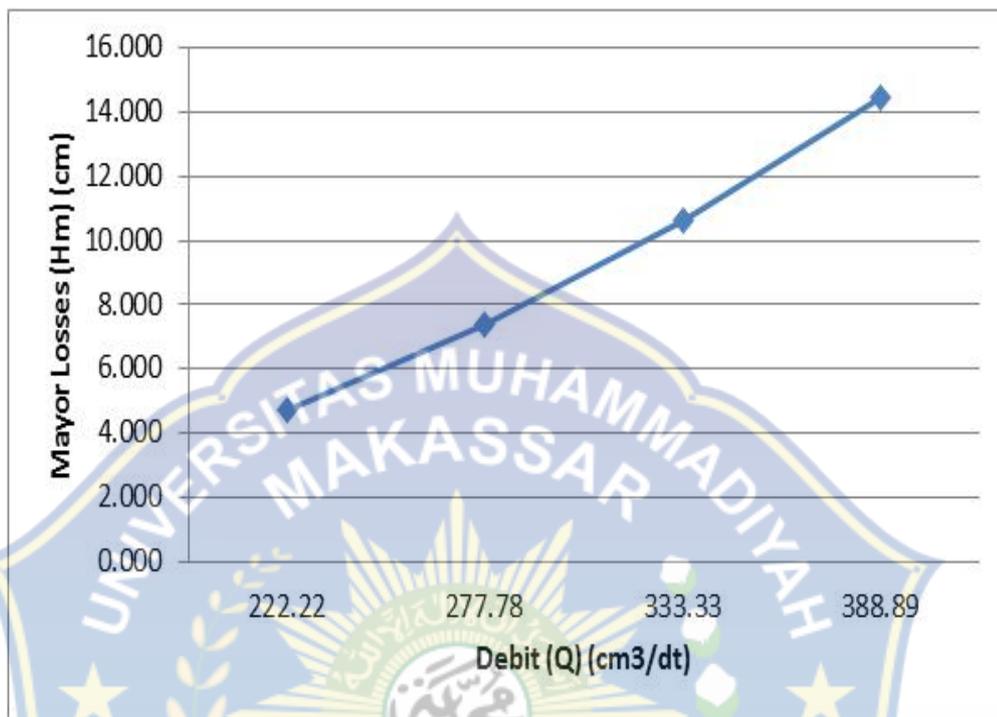
Perhitungan selanjutnya disajikan pada tabel 16.

Tabel 14. Hasil perhitungan nilai *minor losses* belokan 90⁰ (bentuk “ γ ”)

No	Q cm ³ /dt	Viskositas V cm ² /dt	Bilangan Reynold		Koefisien gesek k	Minor Losses
			Re a	Re b		Hm
						Cm
1	222.22	0.0079	28263.39	28263.39	0.3000	4.7102
		0.0079	28263.39	28263.39	0.3000	4.7102
		0.0079	28263.39	28263.39	0.3000	4.7102
		0.0079	28263.39	28263.39	0.3000	4.7102
		0.0079	28263.39	28263.39	0.3000	4.7102
		0.0079	28263.39	28263.39	0.3000	4.7102
		0.0079	28263.39	28263.39	0.3000	4.7102
		0.0079	28263.39	28263.39	0.3000	4.7102
		0.0079	28263.39	28263.39	0.3000	4.7102
2	277.78	0.0079	35329.24	35329.24	0.3000	7.3597
		0.0079	35329.24	35329.24	0.3000	7.3597
		0.0079	35329.24	35329.24	0.3000	7.3597
		0.0079	35329.24	35329.24	0.3000	7.3597
		0.0079	35329.24	35329.24	0.3000	7.3597
		0.0079	35329.24	35329.24	0.3000	7.3597
		0.0079	35329.24	35329.24	0.3000	7.3597
		0.0079	35329.24	35329.24	0.3000	7.3597
		0.0079	35329.24	35329.24	0.3000	7.3597
3	333.33	0.0079	42395.09	42395.09	0.3000	10.5980
		0.0079	42395.09	42395.09	0.3000	10.5980
		0.0079	42395.09	42395.09	0.3000	10.5980
		0.0079	42395.09	42395.09	0.3000	10.5980
		0.0079	42395.09	42395.09	0.3000	10.5980
		0.0079	42395.09	42395.09	0.3000	10.5980
		0.0079	42395.09	42395.09	0.3000	10.5980
		0.0079	42395.09	42395.09	0.3000	10.5980
		0.0079	42395.09	42395.09	0.3000	10.5980
4	388.89	0.0079	49460.94	49460.94	0.3000	14.4251
		0.0079	49460.94	49460.94	0.3000	14.4251
		0.0079	49460.94	49460.94	0.3000	14.4251
		0.0079	49460.94	49460.94	0.3000	14.4251
		0.0079	49460.94	49460.94	0.3000	14.4251
		0.0079	49460.94	49460.94	0.3000	14.4251
		0.0079	49460.94	49460.94	0.3000	14.4251
		0.0079	49460.94	49460.94	0.3000	14.4251
		0.0079	49460.94	49460.94	0.3000	14.4251

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari tabel 14 dapat dibuat grafik perbandingan antara debit dan *minor losses* dengan mengambil nilai rata-rata.



Gambar 29. Grafik hubungan antara debit (Q) dan *minor losses* (Hm)

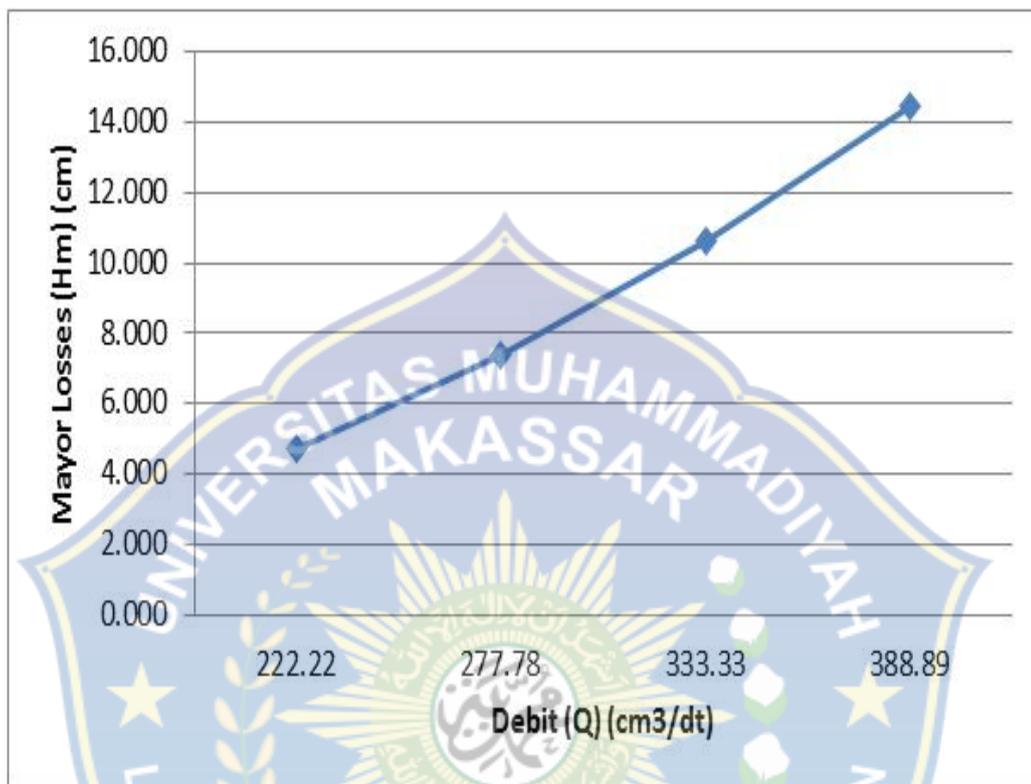
Dari grafik 29 dapat dilihat bahwa nilai *minor losses* pada debit 222.22 cm³/dt sebesar 4.710 cm, *minor losses* pada debit 277.78 cm³/dt sebesar 7.360 cm, *minor losses* pada debit 333.33 cm³/dt sebesar 10.598 cm, *minor losses* pada debit 388.89 cm³/dt sebesar 14.425 cm. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *minor losses* berbanding lurus dengan debit air, semakin besar debit yang diberikan maka semakin besar pula nilai *minor losses* dan sebaliknya jika debit air yang diberikan kecil maka kecil pula nilai *minor losses*.

Tabel 15. Hasil perhitungan nilai *minor losses* belokan 90⁰ (bentuk “L”)

No	Q cm ³ /dt	Viskositas	Bilangan Reynold		Koefisien gesek k	Minor Losses
		V	Re a	Re b		Hm
		cm ² /dt				Cm
1	222.22	0.00770	28941.56	28941.56	0.3000	4.7102
		0.00770	28941.56	28941.56	0.3000	4.7102
		0.00770	28941.56	28941.56	0.3000	4.7102
		0.00770	28941.56	28941.56	0.3000	4.7102
		0.00770	28941.56	28941.56	0.3000	4.7102
		0.00770	28941.56	28941.56	0.3000	4.7102
		0.00770	28941.56	28941.56	0.3000	4.7102
		0.00770	28941.56	28941.56	0.3000	4.7102
		0.00770	28941.56	28941.56	0.3000	4.7102
2	277.78	0.00770	36176.94	36176.94	0.3000	7.3597
		0.00770	36176.94	36176.94	0.3000	7.3597
		0.00770	36176.94	36176.94	0.3000	7.3597
		0.00770	36176.94	36176.94	0.3000	7.3597
		0.00770	36176.94	36176.94	0.3000	7.3597
		0.00770	36176.94	36176.94	0.3000	7.3597
		0.00770	36176.94	36176.94	0.3000	7.3597
		0.00770	36176.94	36176.94	0.3000	7.3597
		0.00770	36176.94	36176.94	0.3000	7.3597
3	333.33	0.00770	43412.33	43412.33	0.3000	10.5980
		0.00770	43412.33	43412.33	0.3000	10.5980
		0.00770	43412.33	43412.33	0.3000	10.5980
		0.00770	43412.33	43412.33	0.3000	10.5980
		0.00770	43412.33	43412.33	0.3000	10.5980
		0.00770	43412.33	43412.33	0.3000	10.5980
		0.00770	43412.33	43412.33	0.3000	10.5980
		0.00770	43412.33	43412.33	0.3000	10.5980
		0.00770	43412.33	43412.33	0.3000	10.5980
4	388.89	0.00770	50647.72	50647.72	0.3000	14.4251
		0.00770	50647.72	50647.72	0.3000	14.4251
		0.00770	50647.72	50647.72	0.3000	14.4251
		0.00770	50647.72	50647.72	0.3000	14.4251
		0.00770	50647.72	50647.72	0.3000	14.4251
		0.00770	50647.72	50647.72	0.3000	14.4251
		0.00770	50647.72	50647.72	0.3000	14.4251
		0.00770	50647.72	50647.72	0.3000	14.4251
		0.00770	50647.72	50647.72	0.3000	14.4251

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari tabel 15 dapat dibuat grafik perbandingan antara debit dan *minor losses* dengan mengambil nilai rata-rata.



Gambar 30. Grafik hubungan antara debit (Q) dan *minor losses* (Hm)

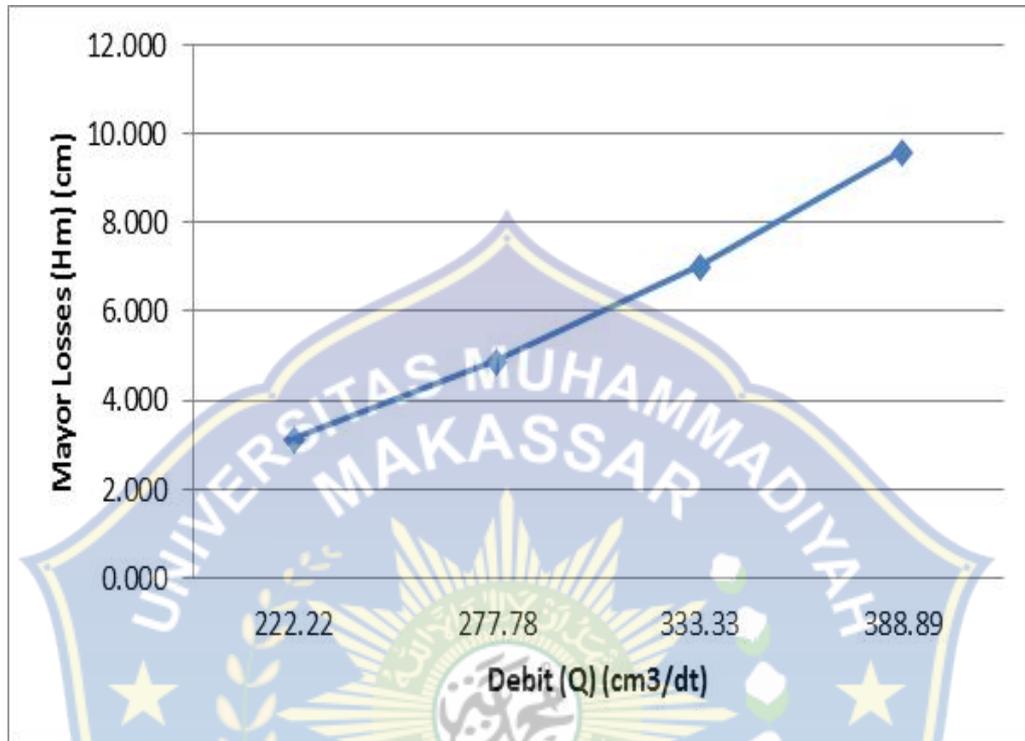
Dari grafik 30 dapat dilihat bahwa nilai *minor losses* pada debit 222.22 cm³/dt sebesar 4.710 cm, *minor losses* pada debit 277.78 cm³/dt sebesar 7.360 cm, *minor losses* pada debit 333.33 cm³/dt sebesar 10.598 cm, *minor losses* pada debit 388.89 cm³/dt sebesar 14.425 cm. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *minor losses* berbanding lurus dengan debit air, semakin besar debit yang diberikan maka semakin besar pula nilai *minor losses* dan sebaliknya jika debit air yang diberikan kecil maka kecil pula nilai *minor losses*.

Tabel 16. Hasil perhitungan nilai *minor losses* belokan 45⁰ (bentuk “ γ ”)

No	Q cm ³ /dt	Viskositas	Bilangan Reynold		Koefisien gesek k	Minor Losses
		V	Re a	Re b		Hm
		cm ² /dt				cm
1	222.22	0.00775	28768.98	28768.98	0.2000	3.1402
		0.00775	28768.98	28768.98	0.2000	3.1402
		0.00775	28768.98	28768.98	0.2000	3.1402
		0.00775	28768.98	28768.98	0.2000	3.1402
		0.00775	28768.98	28768.98	0.2000	3.1402
		0.00775	28768.98	28768.98	0.2000	3.1402
		0.00775	28768.98	28768.98	0.2000	3.1402
		0.00775	28768.98	28768.98	0.2000	3.1402
		0.00775	28768.98	28768.98	0.2000	3.1402
2	277.78	0.00775	35961.23	35961.23	0.2000	4.9065
		0.00775	35961.23	35961.23	0.2000	4.9065
		0.00775	35961.23	35961.23	0.2000	4.9065
		0.00775	35961.23	35961.23	0.2000	4.9065
		0.00775	35961.23	35961.23	0.2000	4.9065
		0.00775	35961.23	35961.23	0.2000	4.9065
		0.00775	35961.23	35961.23	0.2000	4.9065
		0.00775	35961.23	35961.23	0.2000	4.9065
		0.00775	35961.23	35961.23	0.2000	4.9065
3	333.33	0.00775	43153.47	43153.47	0.2000	7.0654
		0.00775	43153.47	43153.47	0.2000	7.0654
		0.00775	43153.47	43153.47	0.2000	7.0654
		0.00775	43153.47	43153.47	0.2000	7.0654
		0.00775	43153.47	43153.47	0.2000	7.0654
		0.00775	43153.47	43153.47	0.2000	7.0654
		0.00775	43153.47	43153.47	0.2000	7.0654
		0.00775	43153.47	43153.47	0.2000	7.0654
		0.00775	43153.47	43153.47	0.2000	7.0654
4	388.89	0.00775	50345.72	50345.72	0.2000	9.6167
		0.00775	50345.72	50345.72	0.2000	9.6167
		0.00775	50345.72	50345.72	0.2000	9.6167
		0.00775	50345.72	50345.72	0.2000	9.6167
		0.00775	50345.72	50345.72	0.2000	9.6167
		0.00775	50345.72	50345.72	0.2000	9.6167
		0.00775	50345.72	50345.72	0.2000	9.6167
		0.00775	50345.72	50345.72	0.2000	9.6167
		0.00775	50345.72	50345.72	0.2000	9.6167

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari tabel 16 dapat dibuat grafik perbandingan antara debit dan *minor losses* dengan mengambil nilai rata-rata.



Gambar 31. Grafik hubungan antara debit (Q) dan *minor losses* (Hm)

Dari grafik 31 dapat dilihat bahwa nilai *minor losses* pada debit 222.22 cm³/dt sebesar 3.140 cm, *minor losses* pada debit 277.78 cm³/dt sebesar 4.906 cm, *minor losses* pada debit 333.33 cm³/dt sebesar 7.065 cm, *minor losses* pada debit 388.89 cm³/dt sebesar 9.617 cm. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *minor losses* berbanding lurus dengan debit air, semakin besar debit yang diberikan maka semakin besar pula nilai *minor losses* dan sebaliknya jika debit air yang diberikan kecil maka kecil pula nilai *minor losses*.

B. Analisis Perubahan Tinggi Tekanan

Untuk perhitungan kehilangan tinggi tekanan pada tiap belokan adalah sebagai berikut :

1. Pipa belokan 90⁰ arah horizontal ke vertikal

Perubahan tinggi tekanan (*head losses*) dihitung dengan menjumlahkan nilai *mayor losses* dan *minor losses*. Dengan nilai *mayor losses* (H_f) = 6.231 cm dan *minor losses* (H_m) = 4.710 cm pada debit pertama. Selanjutnya dapat dihitung sebagai berikut :

$$H_e = H_f + H_m$$

$$H_e = 6.231 + 4.710$$

$$H_e = 10.941 \text{ cm}$$

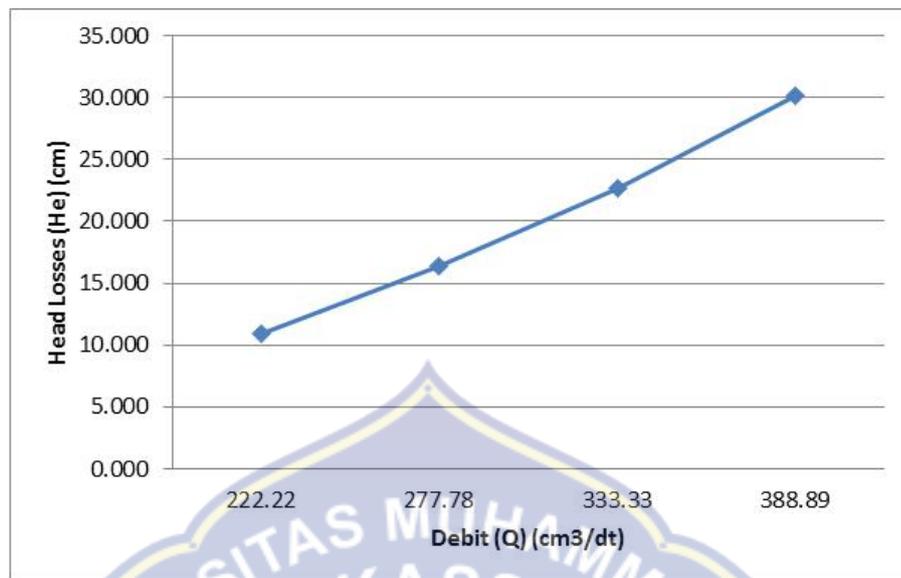
Perhitungan selanjutnya disajikan pada tabel 17.

Tabel 17. Hasil perhitungan perubahan tinggi tekanan belokan 90⁰ (bentuk “L”)

No	Debit	Mayor Losses	Minor Losses	Head Losses
	Q	H _f	H _m	H _e
	cm ³ /dt	Cm	cm	Cm
1	222.22	6.231	4.710	10.941
2	277.78	9.040	7.360	16.400
3	333.33	12.017	10.598	22.615
4	388.89	15.675	14.425	30.100

Sumber: Hasil Perhitungan

Selanjutnya dari tabel 17 dapat dibuatkan grafik hubungan antara debit dan perubahan tinggi tekanan.



Gambar 32. Grafik hubungan antara debit(Q) dan perubahan tinggi tekanan (He)

Dari grafik 32 dapat dilihat bahwa nilai *head losses* pada debit 222.22 cm³/dt sebesar 10.941 cm, *head losses* pada debit 277.78 cm³/dt sebesar 16.400 cm, *head losses* pada debit 333.33 cm³/dt sebesar 22.615 cm, *head losses* pada debit 388.89 cm³/dt sebesar 30.100 cm. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *head losses* berbanding lurus dengan debit air, semakin besar debit yang diberikan maka semakin besar pula nilai *head losses* dan sebaliknya jika debit air yang diberikan kecil maka kecil pula nilai *head losses*.

2. Pipa belokan 90⁰ arah vertikal ke horizontal

Perubahan tinggi tekanan (*head losses*) dihitung dengan menjumlahkan nilai *major losses* dan *minor losses*. Dengan nilai *major losses* (H_f) = 9.643 cm dan *minor losses* (H_m) = 4.710 cm pada debit pertama. Selanjutnya dapat dihitung sebagai berikut :

$$H_e = H_f + H_m$$

$$H_e = 9.643 + 4.710$$

$$H_e = 14.353 \text{ cm}$$

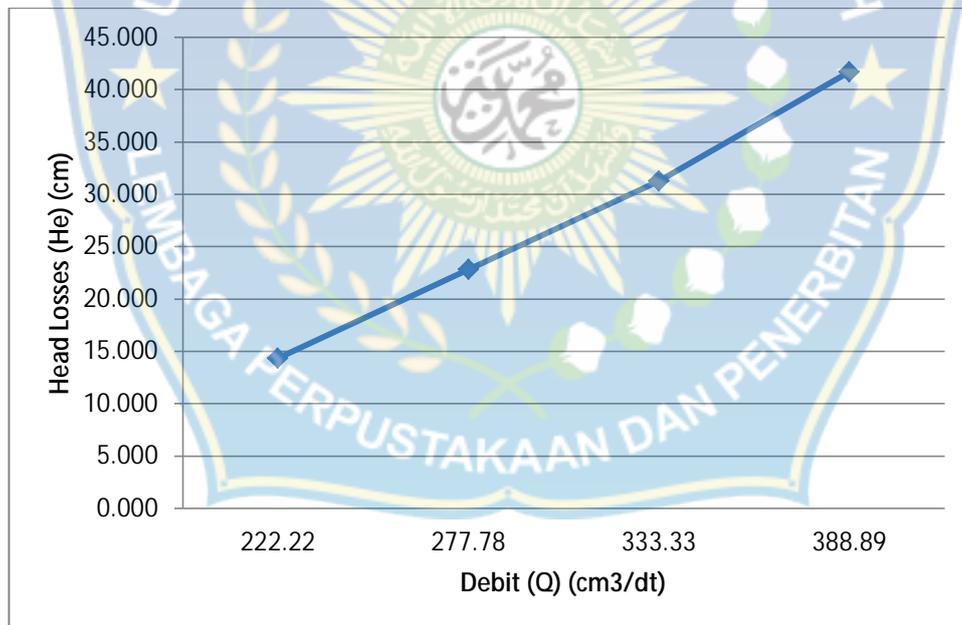
Perhitungan selanjutnya disajikan pada tabel 18.

Tabel 18. Hasil perhitungan perubahan tinggi tekanan belokan 90° (bentuk “L”)

No	Debit	Mayor Losses	Minor Losses	Head Losses
	Q	Hf	Hm	He
	cm ³ /dt	Cm	Cm	cm
1	222.22	9.643	4.710	14.353
2	277.78	15.473	7.360	22.833
3	333.33	20.695	10.598	31.293
4	388.89	27.260	14.425	41.685

Sumber: Hasil Perhitungan

Selanjutnya dari tabel 18 dapat dibuatkan grafik hubungan antara debit dan perubahan tinggi tekanan.



Gambar 33. Grafik hubungan antara debit (Q) dan perubahan tinggi tekanan (He)

Dari grafik 33 dapat dilihat bahwa nilai *head losses* pada debit 222.22 cm³/dt sebesar 14.353 cm, *head losses* pada debit 277.78 cm³/dt sebesar 22.833 cm, *head losses* pada debit 333.33 cm³/dt sebesar 31.293 cm, *head losses* pada

debit $388.89 \text{ cm}^3/\text{dt}$ sebesar 41.685 cm . Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *head losses* berbanding lurus dengan debit air, semakin besar debit yang diberikan maka semakin besar pula nilai *head losses* dan sebaliknya jika debit air yang diberikan kecil maka kecil pula nilai *head losses*.

3. Pipa belokan 45° arah horizontal ke vertikal

Perubahan tinggi tekanan (*head losses*) dihitung dengan menjumlahkan nilai *mayor losses* dan *minor losses*. Dengan nilai *mayor losses* (H_f) = 6.429 cm dan *minor losses* (H_m) = 3.140 cm pada debit pertama. Selanjutnya dapat dihitung sebagai berikut :

$$H_e = H_f + H_m$$

$$H_e = 6.429 + 3.140$$

$$H_e = 9.569 \text{ cm}$$

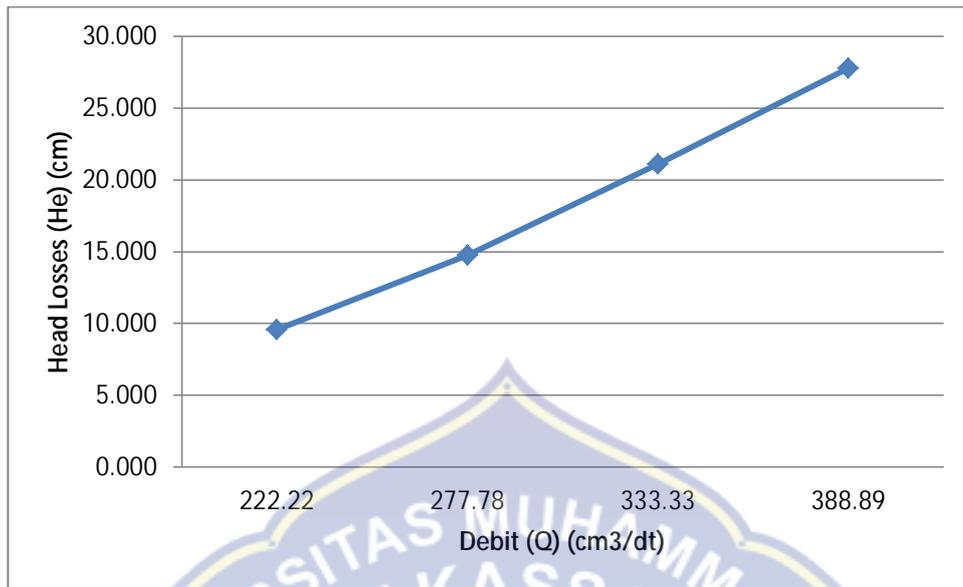
Perhitungan selanjutnya disajikan pada tabel 19.

Tabel 19. Hasil perhitungan perubahan tinggi tekanan belokan 45° (bentuk “ γ ”)

No	Debit	Mayor Losses	Minor Losses	Head Losses
	Q	H _f	H _m	H _e
	cm ³ /dt	Cm	Cm	Cm
1	222.22	6.429	3.140	9.569
2	277.78	9.852	4.906	14.758
3	333.33	14.019	7.065	21.085
4	388.89	18.173	9.617	27.790

Sumber: Hasil Perhitungan

Selanjutnya dari tabel 19 dapat dibuatkan grafik hubungan antara debit dan perubahan tinggi tekanan.



Gambar 34. Grafik hubungan antara debit (Q) dan kehilangan tinggi tekanan (He)

Dari grafik 34 dapat dilihat bahwa nilai *head losses* pada debit 222.22 cm³/dt sebesar 9.569 cm, *head losses* pada debit 277.78 cm³/dt sebesar 14.758 cm, *head losses* pada debit 333.33 cm³/dt sebesar 21.085 cm, *head losses* pada debit 388.89 cm³/dt sebesar 27.790 cm. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *head losses* berbanding lurus dengan debit air, semakin besar debit yang diberikan maka semakin besar pula nilai *head losses* dan sebaliknya jika debit air yang diberikan kecil maka kecil pula nilai *head losses*.

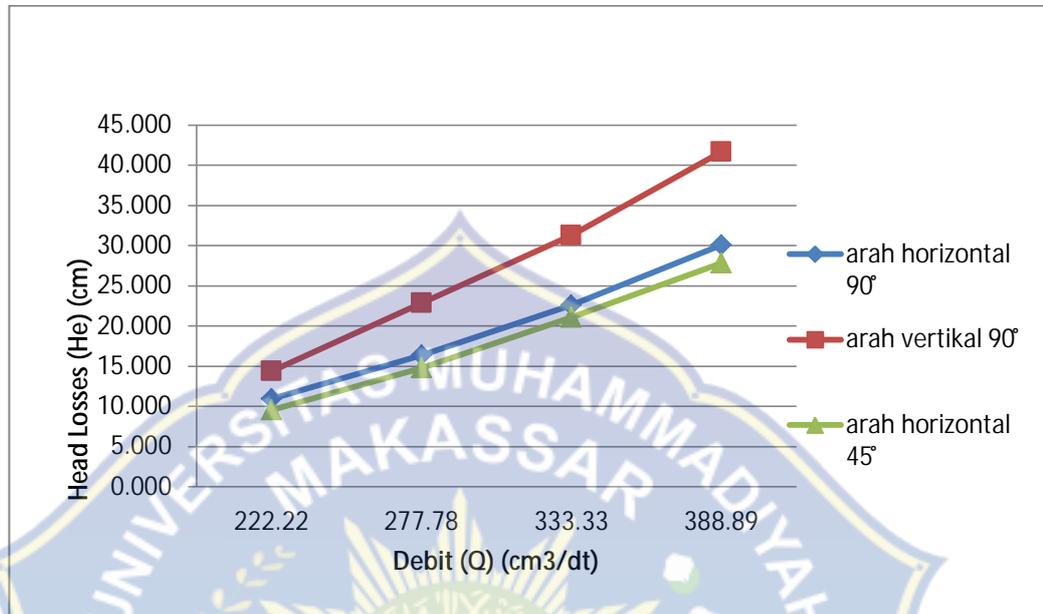
Dari perhitungan perubahan tinggi tekanan dengan menggunakan sudut belokan 90° dan 45°, dapat dibandingkan dalam tabel 20 berikut :

Tabel 20. Nilai Perubahan tinggi tekanan

No	Debit	Head losses 90° ₁	Head losses 90° _L	Head losses 45° ₁
	Q			
	cm ³ /dt	cm	cm	cm
1	222.22	10.941	14.353	9.569
2	277.78	16.400	22.833	14.758
3	333.33	22.615	31.293	21.085
4	388.89	30.100	41.685	27.790

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari tabel 20 dapat dibuat grafik perbandingan antara *nilai head losses* dan juga sudut sambungan.



Gambar 35. Grafik Hubungan antara debit (Q), *head losses* (He) dan sudut sambungan

Dari grafik 35 menunjukkan bahwa nilai perubahan tinggi tekanan terbesar terjadi pada sudut sambungan 90⁰ arah vertikal - horizontal dengan nilai *head losses* pada debit 222.22 cm³/dt sebesar 14.353 cm, *head losses* pada debit 2777.78 cm³/dt sebesar 22.833 cm, *head losses* pada debit 333.33 cm³/dt sebesar 31.293 cm, *head losses* pada debit 388.89 cm³/dt sebesar 41.685 cm. Sedangkan nilai kehilangan tinggi tekanan terendah terjadi pada sudut sambungan 45⁰ arah horizontal – vertikal dengan nilai *head losses* pada debit 222.22 cm³/dt sebesar 9.569 cm, *head losses* pada debit 2777.78 cm³/dt sebesar 14.758 cm, *head losses* pada debit 333.33 cm³/dt sebesar 21.085 cm, *head losses* pada debit 388.89 cm³/dt sebesar 27.790 cm.

C. Pembahasan Hasil Penelitian

Sistem infrastruktur merupakan pendukung utama fungsi sistem sosial dan ekonomi dalam kehidupan masyarakat. Sistem infrastruktur didefinisikan sebagai fasilitas-fasilitas atau strukturstruktur dasar, peralatan-peralatan, instalasi-instalasi yang dibangun dan yang dibutuhkan untuk berfungsinya sistem sosial dan ekonomi masyarakat. Secara umum, sistem penyediaan air minum terdiri atas dua jenis, yaitu sistem produksi dan sistem distribusi. Sistem produksi mempunyai peranan dalam mengambil air dari alam. Sumber air yang digunakan dalam sistem produksi berasal dari sungai, danau, mata air, dan dapat berasal dari air tanah menggunakan sumur bor. Air yang berasal dari alam tidak langsung disalurkan kepada masyarakat melainkan melalui tahapan pengolahan hingga air layak dikonsumsi oleh masyarakat.

Proses distribusi dilakukan dengan cara manual yaitu menggunakan tangki yang membawa air dari tempat penampungan sampai ke konsumen, sistem saluran terbuka, dan sistem saluran tertutup atau dengan sistem perpipaan. Pada umumnya, proses distribusi dilakukan dengan saluran tertutup.

Hal ini dimaksudkan untuk menghindari terjadinya kontaminasi air yang mengalir di dalam pipa. Sistem distribusi air bersih mempunyai beberapa komponen penting, diantaranya yaitu reservoir atau penampungan air, sistem perpipaan, dan sistem sambungan pelanggan. Reservoir merupakan bangunan yang digunakan untuk menampung air sementara sebelum didistribusikan kepada pelanggan. Lama penyimpanan air di dalam reservoir disesuaikan dengan tingkat pemakaian air dari pelanggan.

Konstruksi reservoir juga dibuat sedemikian rupa sehingga air ditampung tidak mengalami kontaminasi. Sistem perpipaan merupakan rangkaian pipa yang menghubungkan antara reservoir dengan pelanggan. Sistem perpipaan mempunyai hirarki berdasarkan jumlah air yang dibawa. Salah satu bagian dari instalasi perpipaan yang dapat menyebabkan kerugian-kerugian adalah gesekan pada dinding pipa dan sambungan belokan pipa. Jika sistem perpipaan memiliki banyak percabangan yang lebih banyak maka akan memperbesar rugi alirannya, selain itu aliran yang semula dalam keadaan laminar pada saat melalui pipa lurus yang koefisien geseknya besar akan berubah menjadi aliran turbulen.

Kondisi aliran turbulen inilah yang dapat merugikan dalam sistem perpipaan tersebut, seperti akan menimbulkan getaran dan juga pengelupasan dinding pipa. Selain itu, akibat yang paling mendasar dengan adanya kerugian aliran ialah dapat menyebabkan besarnya energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan aliran fluida yang berdampak meningkatnya penggunaan listrik pada mesin penggerak fluida.

Dari analisis yang telah dilakukan tentang perubahan tinggi tekanan akibat sudut belokan maka dihasilkan sebagai berikut :

1. Kehilangan energi yang terjadi pada belokan pipa lebih rendah dibandingkan kehilangan energi yang terjadi akibat gesekan fluida. Hal ini terbukti dengan nilai *major losses* lebih tinggi daripada nilai *minor losses*. Kehilangan energi akibat gesekan dengan nilai tertinggi terjadi pada belokan 90° arah vertikal ke horizontal dengan nilai 27.260 cm pada debit $338.89 \text{ cm}^3/\text{dt}$ dan nilai

kehilangan energi terendah terjadi pada belokan 90^0 arah horizontal ke vertikal dengan nilai 15.675 pada debit $338.89 \text{ cm}^3/\text{dt}$. Untuk kehilangan energi akibat belokan dengan nilai tertinggi terjadi pada belokan 90^0 dengan nilai 14.425 cm^3/dt pada debit $338.89 \text{ cm}^3/\text{dt}$ dan nilai kehilangan energi terendah terjadi pada belokan 45^0 dengan nilai 9.617 cm^3/dt pada debit $338.89 \text{ cm}^3/\text{dt}$. Kehilangan energi akibat gesekan lebih besar dibandingkan dengan kehilangan energi akibat belokan karena gesekan yang terjadi antara fluida dan dinding pipa terjadi disepanjang pipa lurus sedangkan pada belokan terjadi hanya beberapa titik.

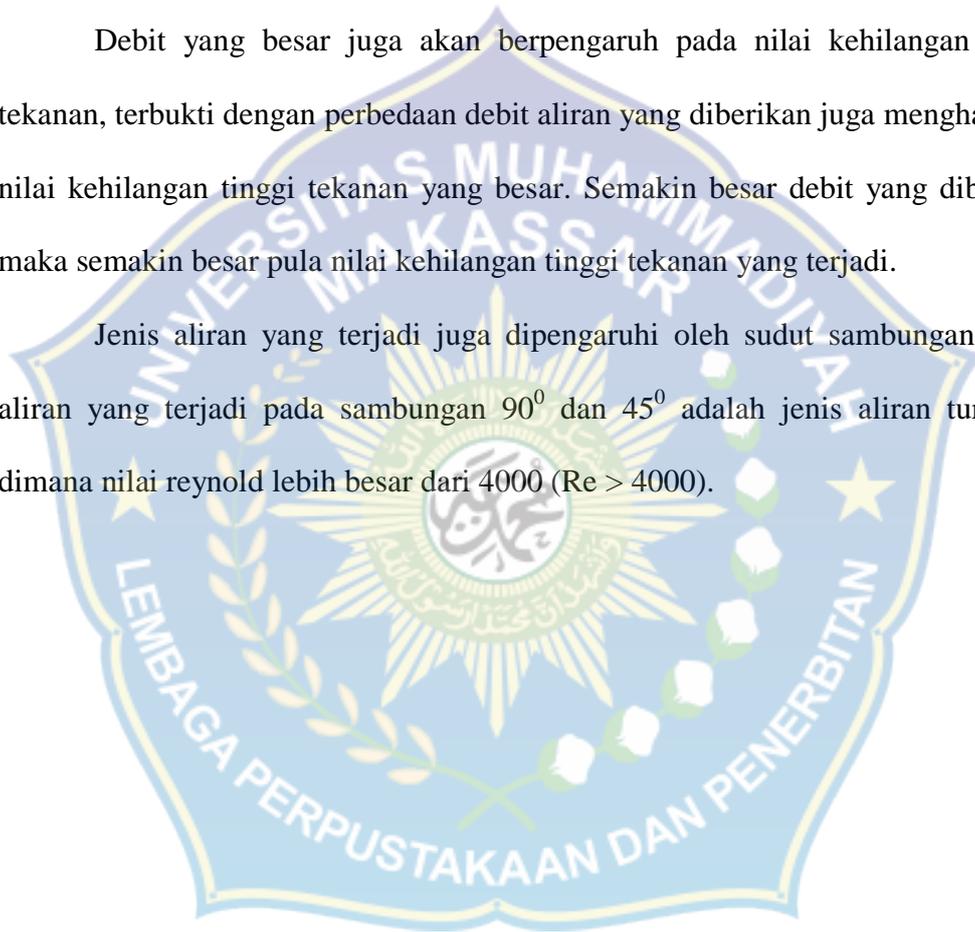
2. Perbedaan *pressure drop* pada sudut belokan cukup bervariasi. Dimana nilai *pressure drop* tertinggi terjadi pada sudut belokan 90^0 dengan nilai 5.8 N/cm^2 pada debit $277.78 \text{ cm}^3/\text{dt}$, sedangkan nilai *pressure drop* terendah terjadi pada sudut belokan 90^0 dengan nilai 1.6 N/cm^2 pada debit $222.22 \text{ cm}^3/\text{dt}$. Sedangkan pada sudut belokan 45^0 , nilai tertinggi sebesar 4.7 N/cm^2 pada debit $333.33 \text{ cm}^3/\text{dt}$ dan nilai terendah sebesar 3.4 N/cm^2 pada debit $222.22 \text{ cm}^3/\text{dt}$.
3. Pada nilai perubahan tinggi tekanan, semakin besar sudut belokan maka semakin besar pula nilai perubahan tinggi tekanan yang terjadi. Perubahan tinggi tekanan terbesar terjadi pada sudut belokan 90^0 dengan nilai 41.685 cm^3/dt pada debit $388.89 \text{ cm}^3/\text{dt}$, sedangkan nilai perubahan tinggi tekanan terkecil terjadi pada sudut belokan 45^0 dengan nilai 27.790 cm^3/dt pada debit $388.89 \text{ cm}^3/\text{dt}$. Hal ini disebabkan karena apabila belokan besar maka tumbukan air terjadi pada belokan sehingga menyebabkan turbulensi yang menimbulkan

gelembung udara, dari gelembung udara tersebut menyebabkan terjadinya perubahan tinggi tekanan

Perbedaan sudut sambungan dapat berpengaruh pada nilai kehilangan tinggi tekanan yang terjadi pada aliran air dalam pipa. Kehilangan tinggi tekanan akan besar terjadi apabila sudut belokan yang ada juga besar.

Debit yang besar juga akan berpengaruh pada nilai kehilangan tinggi tekanan, terbukti dengan perbedaan debit aliran yang diberikan juga menghasilkan nilai kehilangan tinggi tekanan yang besar. Semakin besar debit yang diberikan maka semakin besar pula nilai kehilangan tinggi tekanan yang terjadi.

Jenis aliran yang terjadi juga dipengaruhi oleh sudut sambungan. Jenis aliran yang terjadi pada sambungan 90^0 dan 45^0 adalah jenis aliran turbulen, dimana nilai reynold lebih besar dari 4000 ($Re > 4000$).



BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah kami lakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Kehilangan energi yang terjadi pada belokan pipa lebih rendah dibandingkan kehilangan energi yang terjadi akibat gesekan fluida. Hal ini terbukti dengan nilai mayor losses lebih tinggi daripada nilai minor losses. Dan apabila kecepatan aliran tinggi maka nilai kehilangan energy juga lebih besar.
2. Perbedaan pressure drop pada sudut belokan cukup bervariasi. Dimana nilai pressure drop tertinggi terjadi pada sudut belokan yang lebih besar dibandingkan sudut belokan yang kecil.
3. Pada nilai perubahan tinggi tekanan, semakin besar sudut belokan maka semakin besar pula nilai perubahan tinggi tekanan yang terjadi.

B. Saran

Adapun saran yang diberikan dalam penelitian ini adalah :

1. Hendaknya alat penelitian lebih diperhatikan dengan teliti dalam pengambilan data, apalagi pada pemasangan manometer yang memerlukan ketelitian.

2. Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, diameter pipa dan juga sudut belokan divariasikan agar parameter yang digunakan bisa bertambah.
3. Untuk penelitian berikutnya perlu diperhatikan bahwa perubahan tinggi tekanan juga bisa dipengaruhi oleh katup dan alat flowmeter.



DAFTAR PUSTAKA

- Gatut Rubiono, Hariyono, Haris Mujiyanto. 2016. *Study Eksperimental Perilaku Aliran Fluida pada Sambungan Belokan Pipa*. Universitas PGRI Banyuwangi.
- Haris Mujiyanto, Ahmad Aufa, Gatut Rubioni. 2016. *Pengaruh Rasio Diameter Pipa Terhadap Perubahan Tekanan pada Bernoulli Theorem Apparatus*. Universitas PGRI Banyuwangi.
- Hermizar. 2010. *Study Eksperimental Pengukuran Head Losses Mayor (Pipa PVC Diameter $\frac{3}{4}$) dan Head Losses Minor (Belokan Knee 90° Diameter $\frac{3}{4}$) pada Sistem Instalasi Pipa*. Jurnal Teknik Mesin Universitas Bengkulu.
- Jeppscon, Ronald W., 1976. *Analisa Debit Dalam Jaringan Pipa*. Butterworth: Jakarta
- Jusdi, dkk. 2019. *Analisa Pengaruh Debit Terhadap Perubahan Penampang Saluran Pipa*. Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar
- Muchsin. 2011. *Menganalisis Kerugian Pada Pipa Lurus Dengan Variasi Debit Aliran*. Universitas. Universitas Riau.
- Munson, Bruce R dkk. 2003. *Mekanika Fluida Jilid 2*. Erlangga : Jakarta.
- Nurcholis L. 2008. *Perhitungan Laju Aliran Fluida Pada Jaringan Pipa*. Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Semarang.
- Rini Sriyani, Tryantini Sundi P. 2017. *Analisa Perubahan Debit Terhadap Penampang pada Pipa (Uji Laboratorium)*. Universitas Halu Oleo Kendari.
- Robert J. Kodoate. 2015. *Hidrolika Terapan Aliran pada Saluran Terbuka dan Pipa*. Andi : Yogyakarta.
- Salimin. 2009. *Pengaruh Perubahan Aliran Terhadap Koefisien Kerugian*. Dinamika Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Universitas Gunadarma Jakarta.
- Sandi Setya Wibowo, Kun Suharno, Sri Widodo. 2015. *Analisis Debit Fluida pada Pipa Elbow 90° dengan Variasi Diameter Pipa*. Universitas Tidar Magelang.
- Sularso Ir. Tahara Haruo, 1983, *Pompa dan Kompresor*. Association for International Technical Promotion : Tokyo.
- Triatmodjo, Bambang, 1996, *Hidraulika I*, Beta Offset, Yogyakarta.

Wendy Priana Negara. 2015. *Perbandingan Analisis Pressure Drop pada Pipa Lengkung 90⁰ Standar ANSI B36.10 dengan COSMOSfloWorks 2007*. Universitas Gunadarma Jakarta.

Zainuddin, I Made Adi Sayoga, I Made Nuarsa. 2012. *Analisa Pengaruh Variasi Sudut Sambungan Belokan Terhadap Head Losses Aliran Pipa*. Universitas Mataram.





LABORATORIUM TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

LAMPIRAN





LABORATORIUM TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

Data Hasil Pengamatan

Percobaan pipa horizontal - vertikal dengan belokan 90⁰

Da	=	1.27	cm
Db	=	1.27	cm
L pipa	=	18	cm
Luas reservoir	=	2052	cm ²
Suhu	=	30.83	⁰ C
Tinggi reservoir	=	19.35	cm

Tabel Pengamatan

No	Q cm ³ /dt	Manometer Borden		Tinggi air pada Manometer	
		Pa	Pb	a	b
		kg/cm ²	kg/cm ²	cm	cm
1	222.22	0.40	0.30	21.6	17.5
		0.40	0.35	26.8	16.5
		0.45	0.35	20.5	18.4
		0.45	0.30	20.7	19.0
		0.50	0.30	21.2	18.8
		0.45	0.30	21.3	18.9
		0.45	0.30	21.2	19.0
		0.40	0.35	21.4	19.0
		0.45	0.30	21.5	18.9
		0.45	0.30	21.4	18.9
2	277.78	0.55	0.45	30.5	26.2
		0.55	0.45	29.9	22.1
		0.55	0.45	26.5	21.5
		0.55	0.45	30.1	25.4
		0.55	0.45	26.2	20.8
		0.55	0.45	26.4	22.6
		0.50	0.45	31.2	23.6
		0.55	0.40	28.6	21.8
		0.55	0.40	28.4	21.9
		0.55	0.45	28.9	21.5
3	333.33	0.75	0.60	37.1	32.1
		0.75	0.60	36.5	31.4
		0.75	0.60	35.8	30.9
		0.70	0.60	37.5	33.5
		0.70	0.55	37.1	32
		0.75	0.55	37.8	32.6



LABORATORIUM TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

		0.70	0.55	38.2	32.5
		0.75	0.55	38.1	32.6
		0.70	0.55	37.7	31.4
		0.70	0.55	37.9	32.5
4	388.89	0.90	0.75	40.6	37
		0.90	0.70	41.6	35.2
		0.90	0.70	43.5	36.3
		0.90	0.75	44.9	37.6
		0.90	0.75	40.8	35.6
		0.90	0.75	42.1	37.2
		0.90	0.75	41.5	37.8
		0.90	0.70	40.5	34.8
		0.90	0.70	41.7	35.6
		0.90	0.75	40.6	36.6

Makassar, 28 April 2019

Asisten Laboratorium

Syamsuddin, ST.

NBM. 123 5747





Data Hasil Pengamatan

Percobaan pipa vertikal - horizontal dengan belokan 90⁰

Da	=	1.27	cm
Db	=	1.27	cm
L pipa	=	30	cm
Luas reservoir	=	2052	cm ²
Suhu	=	32.12	°C
Tinggi reservoir	=	19.85	cm

Tabel Pengamatan

No	Q cm ³ /dt	Manometer Borden		Tinggi air pada Manometer	
		Pa	Pb	a	b
		kg/cm ²	kg/cm ²	cm	cm
1	222.22	0.35	0.30	15.6	14.8
		0.35	0.30	17.5	16.1
		0.35	0.25	19.3	15.3
		0.35	0.30	16.3	14.9
		0.35	0.30	16.1	15.1
		0.35	0.30	17.7	15.3
		0.35	0.30	17.6	16.2
		0.35	0.25	16.3	14.9
		0.35	0.30	17.5	15.9
		0.35	0.30	17.9	16.7
2	277.78	0.5	0.4	26.9	21.7
		0.5	0.4	26.1	22.4
		0.5	0.45	29.6	25.4
		0.5	0.4	25.9	22.7
		0.5	0.4	27.5	25.6
		0.5	0.45	29.9	28.5
		0.5	0.45	27.8	25.3
		0.5	0.4	28.5	25.4
		0.5	0.45	27.4	25.8
		0.5	0.45	27.8	25.6
3	333.33	0.7	0.6	36.5	31.1
		0.7	0.6	37.3	33.8
		0.7	0.6	38.8	34.9
		0.7	0.65	36.2	31.5
		0.7	0.65	38.8	35.3
		0.7	0.6	36.3	31.3



**LABORATORIUM TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

		0.7	0.6	35.9	31.4
		0.7	0.6	38.5	34.6
		0.7	0.6	37.4	34.4
		0.7	0.6	37.6	34.9
4	388.89	0.75	0.65	39.9	35.4
		0.75	0.65	40.4	37.2
		0.75	0.6	39.8	36.4
		0.75	0.65	39.7	37.5
		0.75	0.6	40.8	37.4
		0.75	0.65	42.8	37.8
		0.75	0.65	41.2	36.9
		0.75	0.65	40.8	37.3
		0.75	0.65	39.9	37.9
		0.75	0.65	42.5	37.5

Makassar, 30 April 2019

Asisten Laboratorium

Syamsuddin, ST.

NBM. 123 5747





Data Hasil Pengamatan

Percobaan pipa horizontal - vertikal dengan belokan 45⁰

Da	=	1.27	cm
Db	=	1.27	cm
L pipa	=	20	cm
Luas reservoir	=	2052	cm ²
Suhu	=	31.8	⁰ C
Tinggi reservoir	=	19.6	cm

Tabel Pengamatan

No	Q cm ³ /jdt	Manometer Borden		Tinggi air pada Manometer	
		Pa	Pb	a	b
		kg/cm ²	kg/cm ²	cm	cm
1	222.22	0.35	0.25	20.1	14.5
		0.35	0.25	17.4	14.2
		0.35	0.25	21.4	18.2
		0.40	0.25	17.8	15.4
		0.40	0.25	17.2	14.7
		0.35	0.30	17.4	14.5
		0.35	0.25	19.8	15.7
		0.35	0.30	17.2	13.6
		0.35	0.25	18.1	14.1
		0.35	0.25	17.4	14.5
2	277.78	0.5	0.4	28.1	25.4
		0.45	0.4	27.2	23.5
		0.5	0.45	28.2	23.9
		0.5	0.35	27.9	23.9
		0.45	0.35	28.1	23.1
		0.45	0.35	26.5	23
		0.45	0.4	31.3	24.1
		0.45	0.35	28.6	24.9
		0.45	0.35	27.1	24.1
		0.45	0.35	26.9	22.9
3	333.33	0.65	0.55	36.6	30.3
		0.65	0.55	37.1	30.2
		0.65	0.5	36.5	31.9
		0.65	0.5	36.5	32.2
		0.6	0.5	36.2	30.4
		0.65	0.55	34.6	30.7



**LABORATORIUM TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

		0.65	0.5	35.2	30.4
		0.65	0.55	34.4	29.9
		0.6	0.5	34.3	31.2
		0.6	0.5	34.6	30.4
4	388.89	0.7	0.6	41.6	35.2
		0.7	0.65	37.4	35.9
		0.75	0.65	39.2	37.2
		0.75	0.6	39.6	35.6
		0.7	0.65	39.2	35.4
		0.7	0.65	40.2	35.8
		0.7	0.6	44.2	37.2
		0.75	0.6	39.6	34.9
		0.75	0.65	38.8	35.4
		0.75	0.65	39.6	35.4

Makassar, 02 Mei 2019

Asisten Laboratorium

Syamsuddin, ST.

NBM. 123 5747



DOKUMENTASI



Pemasangan selang pada *Fluid Friction Apparatus* dan manometer



Membuka kran air untuk meepaskan gelembung udara



Pembacaan nilai tinggi air (h_1 dan h_2) pada manometer



Pembacaan tekanan air (P_a dan P_b) pada manometer



Pengukuran tinggi air pada reservoir



Pembacaan suhu air pada reservoir