

SKRIPSI

**“STUDI DISTRIBUSI TEKANAN ALIRAN AKIBAT PERUBAHAN
DIAMETER PADA SALURAN PERPIPAAN”**



Disusun dan diajukan oleh :

JUSDI

105 81 2183 14

HEDIR

105 81 2210 14

JURUSAN TEKNIK SIPIL PENGAIRAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR	
LEMBAGA PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN	
Tgl. terima	18/02/2019
Nomor slip	—
Jumlah exp.	1 exp
Harga	Smb. Alumni
No Klasifikasi	R/004/SIP/190
	JUS
	1

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website : www.unismuh.ac.id, e-mail : unismuh@gmail.com

Website : <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PENGESAHAN

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

Judul Skripsi : **STUDI DISTRIBUSI TEKANAN ALIRAN AKIBAT PERUBAHAN DIAMETER PADA SALURAN PERPIPAAN**

Nama : JUSDI
HEDIR

No. Stambuk : 105 81 2183 14
105 81 2210 14

Makassar, 12 Februari 2019

Telah Diperiksa dan Disetujui

Oleh Dosen Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Prof. Dr. Ir. H. Lawalenna Sammang, M.Sc., M.Eng Dr. Ir. Hj Nurnawaty, ST., MT



Mengetahui,
Ketua Program Studi

Andi Makbul Syamsuri, ST., MT
NBM : 1183084



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama Jusdi dengan nomor induk Mahasiswa 10581218314 dan Hedir dengan nomor induk Mahasiswa 10581221014, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0001/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 09 Februari 2019.

Panitia Ujian : Makassar, 07 Jumadil Akhir 1440 H
12 Februari 2019 M

1. Pengawas Umum

- a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar
Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM. :
- b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Dr. Ir. H. Muhammad Asyad Thaha, MT :

2. Penguji

- a. Ketua : Dr. Ir. Hj. Fenty Daud S, MT :
- b. Sekretaris : Farida Gaffar, ST., MM :

3. Anggota

- 1. Dr. Ir. Nenny T Karim, ST., MT :
- 2. Dr. Ir. Hj. Sukmasari Antaria, M.Si :
- 3. Dr. Hj. Arsyuni Ali Mustari, ST., MT :

Mengetahui :

Pembimbing I

Prof. Dr. Ir. H. Lawalenna Sammang, MSC., M.Eng

Pembimbing II

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



Dekan

H. Hamzah Al Imran, ST., MT
NBM : 855 500

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamualaikum Wr. Wb

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-nyalah sehingga penulis dapat menyusun tugas akhir ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik.

Tugas proposal ini disusun sebagai salah satu persyaratan Akademik yang harus ditempuh dalam rangka menyelesaikan Program pada jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Uuhammadiyah Makassar. Adapun judul proposal kami adalah **“STUDI DISTRIBUSI TEKANAN ALIRAN AKIBAT PERUBAHAN DIAMETER PADA SALURAN PERPIPAAN ”**

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa didalam penulisan skripsi ini masi terdapat kekurangan-kekurangan, hal ini disebabkan penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan baik itu ditinjau dari segi teknis penulisan maupun dari perhitungan-perhitungan. Oleh karena itu penulis menerima dengan iklas dan senang hati segala koreksi perbaikan guna penyerpurnaan tulisan agar kelak dapat bermanfaat.

Skripsi ini dapat terwujud berkat bimbingan dari bapak Prof. Dr. Ir. H. Lawalenna sammang, M.Sc.,M.Eng Selaku pembimbing I dan Ibu Dr. Ir. Hj. Nurnawaty, MT Selaku Pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktu dalam pembimbingan kami.

Oleh karena itu dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Hamzah Al-imran, ST.,MT sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Bapak Andi Makbul Syamsuri, ST.,MT sebagai ketua jurusan Teknik Sipil Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Bapak dan Ibu dosen serta staf pegawai pada Fakultas Teknik atas segala waktunya mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Ayahanda dan ibundah Tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas limpahan kasih sayang, doa dan pengorbanannya terutama dalam bentuk materi dalam menyelesaikan kuliah.
5. Saudara-saudaraku serta rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik terkhusus angkatan 2014 yang dengan keakraban dan persaudaraannya banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut diatas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan skripsi yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan-rekan,masyarakat,serta bangsa dan negara. Amin.

Makassar,.....2019

Penulis

STUDI DISTRIBUSI TEKANAN ALIRAN AKIBAT PERUBAHAN DIAMETER PADA SALURAN PERPIPAAN

Jusdi¹⁾ dan Hedir²⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Pengairan Universitas Muhammadiyah Makassar,
jusdicivil14@gmail.com

²⁾ Program Studi Teknik Pengairan Universitas Muhammadiyah Makassar,
Hedir157@gmail.com

Abstrak

Studi distribusi tekanan aliran akibat perubahan diameter pada saluran perpipaan dibimbing oleh Lawalenna Sammang dan Nurnawaty. Penggunaan pipa banyak digunakan oleh umum, baik perusahaan-perusahaan pendistribusian air minum, minyak maupun gas bumi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi tekanan aliran dan kehilangan energi yang terjadi akibat perubahan diameter penampang pada saluran perpipaan dengan menggunakan *fluid friction apparatus*. Dari hasil penelitian menunjukkan pada penampang "a", tekanan statisnya 0,13 cm dan tekanan dinamiknya 130 gram/cm² dengan debit 166,67 cm³/det. Pada penampang "b" tekanan statisnya 5,10 cm dan tekanan dinamiknya 130 gram/cm². Untuk kehilangan energi, pada penampang "a" 0,05 cm, pada penampang "b" 0,02 cm dengan debit 166,67 cm³/det. Pada pembesaran penampang, tekanan statis yang terjadi mengalami peningkatan tekanan yang disebabkan oleh terjadinya penurunan kecepatan pada penampang yang lebih besar. Sedangkan, pada pengecilan penampang tekanan statisnya mengalami penurunan karena adanya peningkatan kecepatan. Pada saat pipa mengalami pembesaran penampang, kehilangan energinya semakin menurun, berbanding lurus dengan perubahan debit aliran. Sedangkan, pada pengecilan penampang terjadi peningkatan kehilangan energi. Hal ini disebabkan karena pada pembesaran penampang kecepatan alirannya menurun, sedangkan pada pengecilan penampang kecepatan alirannya meningkat. Jadi, dapat dikatakan bahwa tekanan dinamik ekuivalen dengan kecepatan aliran. Kata kunci : kehilangan Energi, Tekanan, Saluran Perpipaan.

Abstract

The study of the distribution of flow pressure due to changes in diameter in the piping channel was guided by Lawalenna Sammang and Nurnawaty. The use of pipes is widely used by the public, both companies distributing drinking water, oil and gas. This study aims to determine the distribution of flow pressure and energy losses that occur due to changes in cross section diameter in the piping channel using a fluid friction apparatus. From the results of the study, the cross section "a", the static pressure is 0.13 cm and the dynamic pressure is 130 grams / cm² with a discharge of 166.67 cm³ / sec. In the "b" cross section the static pressure is 5.10 cm and the dynamic pressure is 130 grams / cm². For energy loss, the cross section "a" is 0.05 cm, in the cross section "b" 0.02 cm with a flow of 166.67 cm³ / sec. At cross-section enlargement, the static pressure that occurs experiences an increase in pressure caused by a decrease in speed at a larger cross section. Meanwhile, the reduction in cross section of static pressure has decreased due to an increase in speed. When the pipe has an enlarged cross section, its energy loss decreases, directly proportional to the change in flowrate. Meanwhile, the reduction in cross section increases the loss of energy. This is because the enlargement of the flow rate decreases in the cross section, while the cross section of the flow rate decreases. So, it can be said that dynamic pressure is equivalent to flow velocity. Keywords: loss of Energy, Pressure, Piping Channels.

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI SINGKATAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
D. Batasan Masalah	4
E. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Penampang Saluran Tertutup (Pipa)	6
A.1. Debit Air Melalui Pipa	8

A.2. Kehilangan Energi Pada Saluran Pipa.....	10
A.3. Bilangan Reynolds.....	15
A.4. Ilustrasi Aliran Pipa.....	16
B. Perubahan Penampang Saluran Tertutup.....	17
B.1. Pengecilan Pada Penampang Saluran.....	17
B.2. Pembesaran Pada Penampang Saluran.....	18
C. Pengukuran Tekanan Aliran.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
A. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	22
B. Metode Pengumpulan Data.....	22
C. Rancangan Model penelitian.....	22
C.1. Alat Dan Bahan Penelitian.....	22
C.2. Skema Fluid Friction Apparatus.....	27
C.3. Model Konfigurasi Penampang Pipa.....	29
C.4. Pengamatan Parameter Model Uji.....	31
D. Analisis Data.....	34
E. Tahapan Penelitian.....	36

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

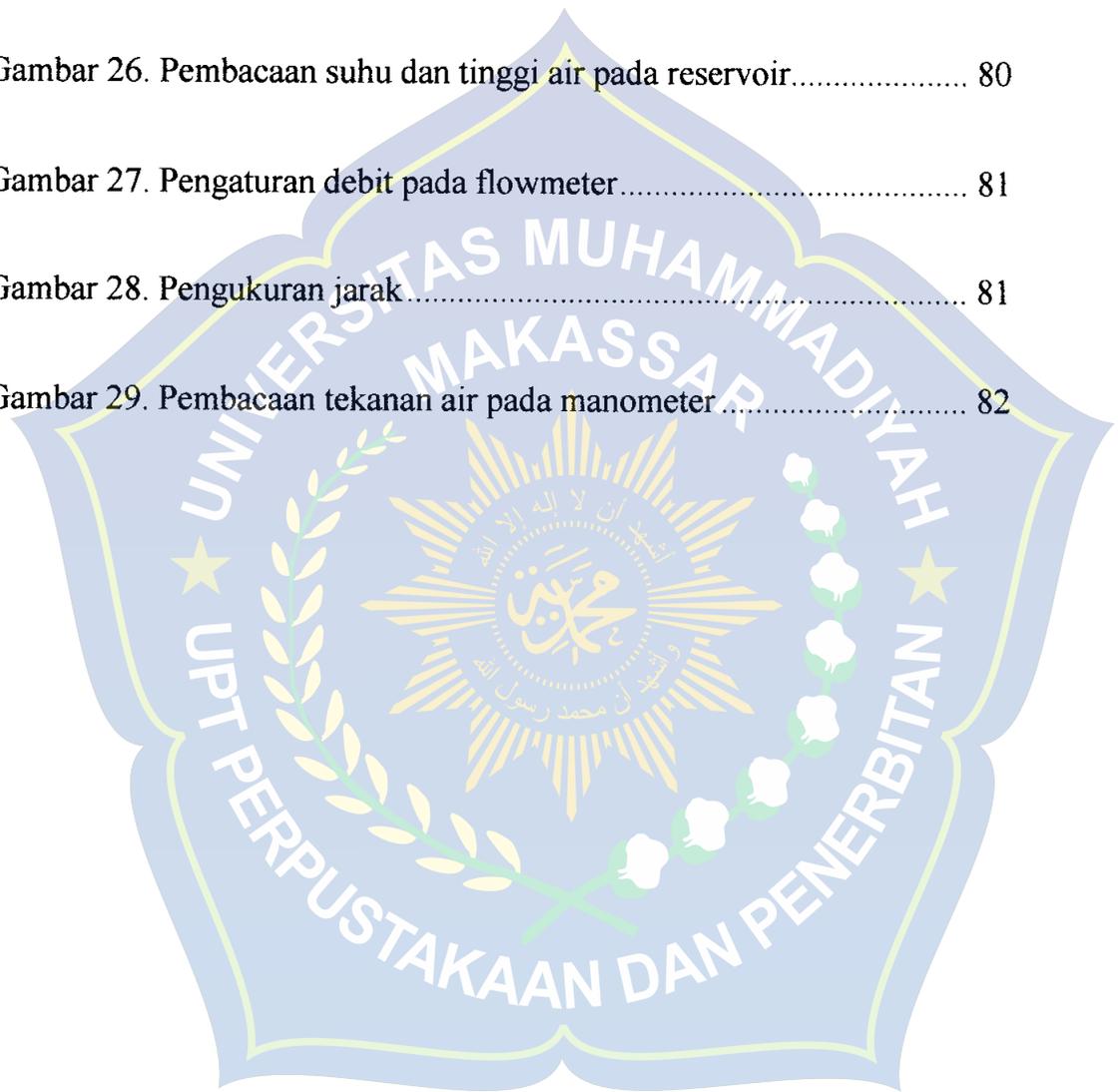
A. Pengamatan Tekanan Sistem Perpipaan	37
A.1. Pembesaran dan pengecilan penampang pipa.....	38
A.2. Pembesaran Penampang 2 Tahap.....	43
A.3. Kombinasi Pembesaran dan Pengecilan Penampang Pipa ...	45
B. Analisis Sifat Pengaliran Pada Sistem Perpipaan.....	47
B.1. Kecepatan air dalam Pipa	48
B.2. Kehilangan Energi	51
B.3. Bilangan Reynold	53
C. Pengaruh Pembesaran dan Pengecilan penampang Pipa Terhadap Tekana Aliran	59
BAB V PENUTUP	
A. Kesimpulan	61
B. Saran	62
DAFTAR PUSTAKA.....	63
LAMPIRAN.....	64
DOKUMENTASI.....	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Lubang pengukuran tekanan yang salah	21
Gambar 2. Lubang pengukuran tekanan yang benar	21
Gambar 3. Fluid Fruction Apparatus	23
Gambar 4. Manometer	25
Gambar 5. Hidrolik Bench (Reservoir)	26
Gambar 6. Skema Fluid Friction Apparatus	28
Gambar 7. Model pembesaran penampang pipa	29
Gambar 8. Model pengecilan penampang pipa	30
Gambar 9. Model kombinasi antara pengecilan dan pembesaran penampang pipa	30
Gambar 10. Model pembesaran penampang 2 tahap	31
Gambar 11. Bagan alur penelitian	36
Gambar 12. Hubungan antara debit dengan tekanan statis pada pembesaran penampang	39
Gambar 13. Hubungan antara debit dengan tekanan dinamis pada pembesaran penampang	39

Gambar 14. Hubungan antara debit dengan tinggi tekanan air (tekanan statis) pada pengecilan penampang	41
Gambar 15. Hubungan antara debit dengan tekanan dinamis pada pengecilan penampang	42
Gambar 16. Hubungan antara debit dengan tinggi air pada manometer (tekanan statis) pada pembesaran penampang 2 tahap	44
Gambar 17. Hubungan antara debit dengan tekanan dinamis pada pembesaran penampang 2 tahap	44
Gambar 18. Hubungan antara debit dengan tinggi air pada manometer (tekanan statis) pada kombinasi antara pembesaran dan pengecilan penampang	46
Gambar 19. Hubungan antara debit dengan tekanan dinamis pada kombinasi antara pembesaran dan pengecilan penampang .	46
Gambar 20. Hubungan antara debit dengan kehilangan energi pada pembesaran penampang	56
Gambar 21. Hubungan antara debit dengan kehilangan energi pada pengecilan penampang	57
Gambar 22. Hubungan antara debit dengan kehilangan energi pada pembesaran penampang 2 tahap	57
Gambar 23. Hubungan antara debit dengan kehilangan energi pada kombinasi antara pembesaran dan pengecilan penampang .	58

Gambar 24. Persiapan alat.....	79
Gambar 25. Pembukaan katub	79
Gambar 26. Pembacaan suhu dan tinggi air pada reservoir.....	80
Gambar 27. Pengaturan debit pada flowmeter.....	81
Gambar 28. Pengukuran jarak.....	81
Gambar 29. Pembacaan tekanan air pada manometer.....	82

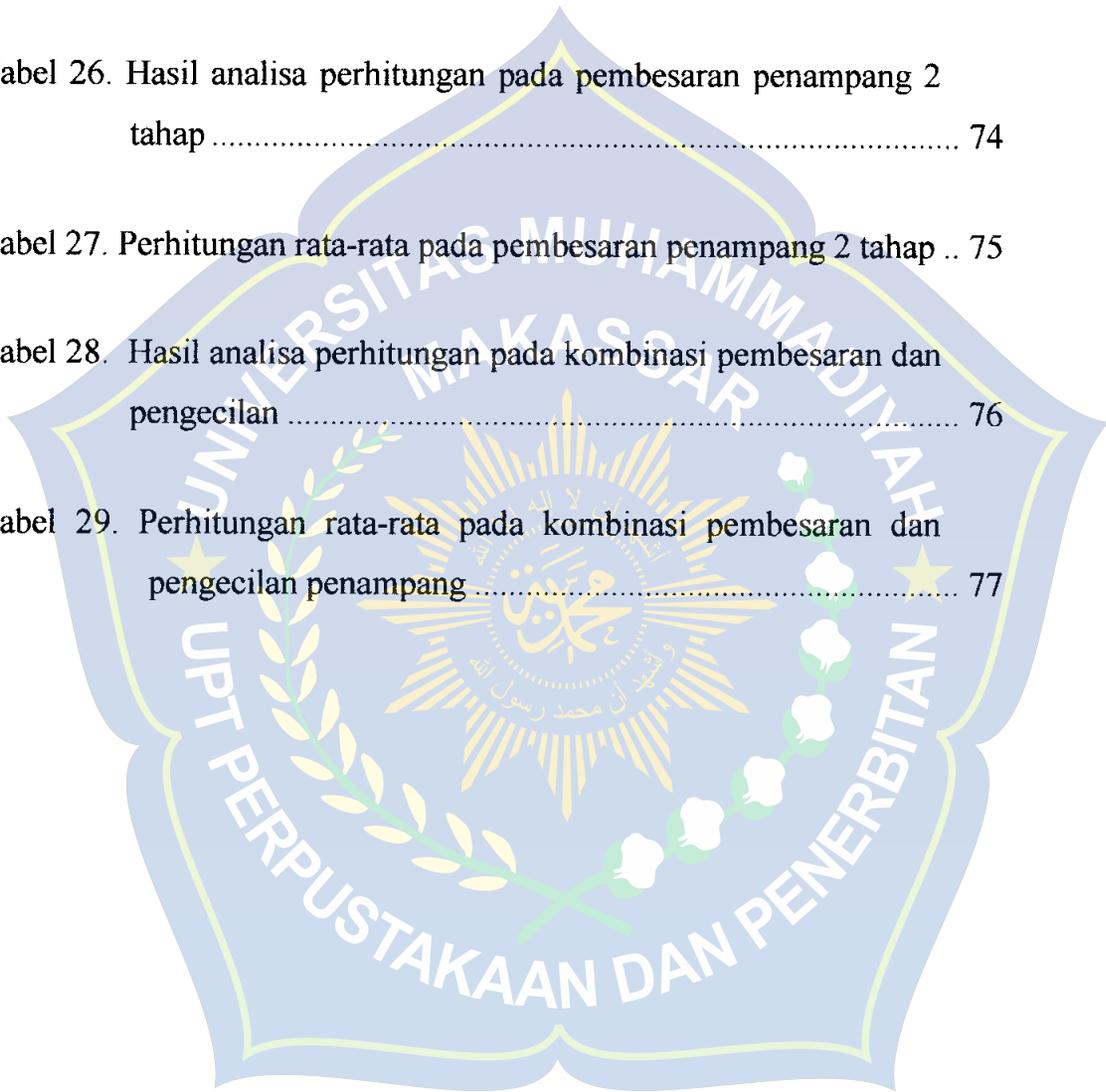


DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai kekasaran (k) berbagai jenis pipa.....	14
Tabel 2. Nilai K' fungsi dari α	20
Tabel 3. Data pengamatan	33
Tabel 4. Data pengamatan pada pembesaran penampang	38
Tabel 5. Data pengamatan pengecilan penampang.....	41
Tabel 6. Data pengamatan pada pembesaran penampang 2 tahap	43
Tabel 7. Data pengamatan pada kombinasi pembesaran dan pengecilan penampang	45
Tabel 8. Konversi satuan debit.....	47
Tabel 9. Konversi satuan viskositas kinematik.....	48
Tabel 10. Hasil perhitungan kecepatan aliran pada pembesaran penampang pipa	49
Tabel 11. Hasil perhitungan kecepatan aliran pada pengecilan penampang pipa	49
Tabel 12. Hasil perhitungan kecepatan aliran pada pembesaran pipa 2 tahap	50

Tabel 13. Hasil perhitungan kecepatan aliran pada kombinasi pembesaran dan pengecilan penampang pipa	50
Tabel 14. Hasil perhitungan kehilangan energi pada pembesaran penampang pipa	51
Tabel 15. Hasil perhitungan kehilangan energi pada pengecilan penampang pipa	52
Tabel 16. Hasil perhitungan kehilangan energi pada pembesaran pipa 2 tahap	52
Tabel 17. Hasil perhitungan kecepatan aliran pada kombinasi pembesaran dan pengecilan penampang pipa	53
Tabel 18. Hasil perhitungan bilangan reynold pada pembesaran penampang pipa	54
Tabel 19. Hasil perhitungan bilangan reynold pada pengecilan penampang pipa	54
Tabel 20. Hasil perhitungan bilangan reynold pada pembesaran penampang pipa 2 tahap	55
Tabel 21. Hasil perhitungan bilangan reynold pada kombinasi antara pembesaran dan pengecilan penampang pipa	55
Tabel 22. Hasil analisa perhitungan pada pembesaran penampang pipa	70
Tabel 23. Perhitungan rata-rata pada pembesaran penampang pipa	71

Tabel 24. Hasil analisa perhitungan pada pengecilan penampang pipa ..	72
Tabel 25. Perhitungan rata-rata pada pengecilan penampang pipa	73
Tabel 26. Hasil analisa perhitungan pada pembesaran penampang 2 tahap	74
Tabel 27. Perhitungan rata-rata pada pembesaran penampang 2 tahap ..	75
Tabel 28. Hasil analisa perhitungan pada kombinasi pembesaran dan pengecilan	76
Tabel 29. Perhitungan rata-rata pada kombinasi pembesaran dan pengecilan penampang	77



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data pengamatan pembesaran penampang	65
Lampiran 2. Data pengamatan pengecilan penampang	66
Lampiran 3. Data pengamatan kombinasi antara pembesaran dan pengecilan	67
Lampiran 4. Data pengamatan pada pembesaran penampang 2 tahap..	68
Lampiran 5. Viskositas kinematik.....	69
Lampiran 6. Hasil perhitungan pada pembesaran penampang.....	70
Lampiran 7. Hasil perhitungan pada pengecilan penampang.....	72
Lampiran 8. Hasil perhitungan pembesaran penampang 2 tahap.....	74
Lampiran 9. Hasil perhitungan kombinasi antaran pembesaran dan pengecilan penampang.....	76

DAFTAR NOTASI SINGKATAN

A = Luas Penampang

π = Nilai phi (3,14)

D = Diametaer Dalam Pipa

V = Kecepatan Air

Q = Debit

hf = Kehilangan Energi

P_0 = Tekanan Statis

PI = Tekanan Dinamik

g = Gaya Gravitasi Bumi (9,81 m/detik²)

Re = Bilangan reynolds

ν = Viskositas Kinematik

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Peran Fluida sangat penting dalam kehidupan manusia, baik sebagai alat penunjang untuk mempermudah aktifitas maupun dalam sirkulasi tubuh manusia itu sendiri. Sebagai alat penunjang, fluida sering dipakai dalam berbagai bidang industri, kimia, perminyakan, PDAM, dan lain-lain. Proses pemindahan fluida umumnya dilakukan melalui suatu media berupa jaringan pipa atau sistem perpipaan (*Kurniawan, 2016*).

Air dan bahan cair seperti minyak, bensin adalah kebutuhan pokok yang bisa dikatakan terpenting, karena jika kita perhatikan dalam kehidupan hampir semua membutuhkan yang namanya air. Keberadaan air sangat berarti di masyarakat. Kebutuhan-kebutuhan ini juga menyangkut penyediaan air bersih atau air minum sampai dengan kebutuhan bidang industri(*Nomer, 2016*).

Pipa merupakan saluran tertutup yang biasanya berpenampang lingkaran dan digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh. Fluida yang dialirkan melalui pipa bisa berupa zat cair atau gas, banyak sekali persoalan yang dialami oleh aliran didalamnya. Salah satunya adalah masalah pengecilan penampang secara mendadak. Hal ini sangat

berpengaruh terhadap lancar tidaknya aliran di dalam pipa. Tentunya juga mempengaruhi efisiensi dan produktifitas dalam industri(Kurniawan, 2016).

Penggunaan pipa banyak digunakan oleh umum, baik perusahaan-perusahaan pendistribusian air minum, minyak maupun gas bumi. Demikian juga dengan kebutuhan air pada air pada rumah tangga, penggunaan pipa ini paling banyak digunakan baik untuk penyaluan air bersih maupun sanitasi. Dikarenakan pipa merupakan sarana pendistribusian fluida yang murah, memiliki berbagai ukuran dan bentuk penampang, baik penampang lingkaran maupun kotak. Bahan pipa bermacam-macam, yaitu baja, plastik, PVC, tembaga, kuningan, acrylic, dan lain sebagainya (Waspodo, 2017).

Berbagai penelitian tentang distribusi tekanan aliran telah banyak dilakukan oleh para ahli untuk mengkaji perubahan tekanan aliran terhadap perubahan penampang, hal ini dilakukan untuk mengetahui distribusi tekanan aliran yang terjadi pada saluran pipa. Selain itu, penelitian-penelitian sebelumnya telah meninjau berbagai topik yang berkaitan dengan gerakan fluida. Prinsip-prinsip aturan dasar yang menyangkut massa, momentum dan energi telah dikembangkan dan diterapkan, dengan menggunakan asumsi-asumsi yang agak kasar pada banyak situasi aliran. Perpindahan fluida di dalam sebuah saluran tertutup (pipa) sangat penting di dalam kehidupan sehari-hari. Perhatian sejenak pada keadaan di sekeliling kita akan menunjukkan bahwa terdapat banyak variasi penerapan dari aliran fluida pada saluran perpipaan.(Kurniawan, 2016).

Berdasarkan hal tersebut, kami mengangkat judul ini **“STUDI DISTRIBUSI TEKANAN ALIRAN AKIBAT PERUBAHAN DIAMETER PADA SALURAN PERPIPAAN”**.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah maka rumusan masalah penelitian ini adalah ;

1. Bagaimana distribusi tekanan aliran jika terjadi perubahan diameter pada saluran perpipaan ?
2. Bagaimana pengaruh perubahan diameter terhadap kehilangan energi pada saluran perpipaan ?

C. Tujuan Dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui distribusi tekanan aliran jika terjadi perubahan diameter pada saluran perpipaan
2. Untuk mengetahui pengaruh perubahan diameter terhadap kehilangan energi pada saluran perpipaan.

Adapun manfaat penelitian 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 menjadi referensi bagi peneliti lain yang ingin meneliti mengenai distribusi tekanan aliran pada saluran perpipaan.

D. Batasan Masalah

Dalam memberikan penjelasan dari permasalahan guna memudahkan dalam menganalisa, maka terdapat batasan masalah yang diberikan pada penulisan tugas akhir mengenai Distribusi Tekanan Aliran Pada Saluran Perpipaan, 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 fraction apparatus*.

E. Sistematika Penulisan

Susunan dari sistematika dalam proposal ini dapat diuraikan 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 literatur-literatur yang berhubungan dengan masalah yang dikaji dalam penelitian ini.

Bab III, yaitu Metodologi Penelitian, yang menguraikan secara lengkap mengetahui metodologi yang digunakan dalam penelitian.

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 di pengaruhi oleh tekanan udara secara langsung kecuali oleh tekanan hidrolis. Saluran tertutup memiliki beragam bentuk penampang seperti lingkaran, persegi, trapesium, dan segitiga. Penggunaan bentuk penampang saluran tertutup digunakan sesuai kebutuhan dan efektifitas. Seperti pada bidang industri yang kebanyakan menggunakan bentuk lingkaran atau yang biasa kita sebut dengan saluran pipa. Saluran pipa juga digunakan di PDAM untuk mendistribusikan air baku ke tempat-tempat atau rumah warga yang membutuhkan air sebagai kebutuhan pokok.

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.

Pada dunia industri tentunya efisiensi dan kualitas produk yang dihasilkan akan mempunyai nilai lebih, karena dengan efisiensi produk yang tinggi maka biaya yang diperlukan dapat ditekan dan harga jual produk lebih kompetitif. Dan salah satu teknologi yang berguna untuk meningkatkan efisiensi yang tinggi adalah dalam penggunaan pipa dalam pendistribusian fluida cair untuk proses produksi dan kebutuhan air minum, dan lain sebagainya.

Pipa merupakan saluran tertutup yang biasanya berpenampang lingkaran yang digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh (Triatmodjo 1996).

Perbedaan mendasar antara aliran pada saluran terbuka dan aliran pada pipa adalah adanya permukaan yang bebas yang (hampir selalu) berupa udara pada saluran terbuka. Jadi, seandainya pada pipa alirannya tidak penuh sehingga masih ada rongga yang berisi udara maka sifat dan karakteristik alirannya sama dengan aliran pada saluran terbuka (Kodoatie, 2002: 215). Misalnya aliran air pada gorong-gorong. Pada kondisi saluran penuh air, desainnya harus mengikuti kaidah aliran pada pipa, namun bila mana aliran air pada gorong-gorong didesain tidak penuh maka sifat alirannya adalah sama dengan aliran pada saluran terbuka. Perbedaan yang lainnya adalah saluran terbuka mempunyai kedalaman air (y), sedangkan pada pipa kedalam

air tersebut ditransformasikan berupa (P/y) . Oleh karena itu, konsep analisis aliran pada pipa harus dalam kondisi pipa terisi penuh dengan air.

Sumarli (2002), melakukan penelitian tekanan aliran air dalam pipa yang mengalami kontraksi mendadak. Penelitian ini menunjukkan bahwa pada daerah transisi sebelum dinding kontraksi, tekanan statik pada batas saluran lebih besar dibanding tekanan pada sumbu saluran. Sedangkan setelah melewati dinding kontraksi, tekanan statik pada batas saluran lebih rendah dibandingkan pada sumbu saluran.

A.1. Debit Air Melalui 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.

Muhajir, K. (2009), meneliti tentang karakterisasi aliran fluida air melalui pipa *sudden contraction*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa visualisasi garis arus tampak bagus pada pengecilan 1,5 : dengan panjang daerah pusaran $X1$ (*circulation zones*) dan tinggi pengecilan (H) merupakan fungsi dari *Reynolds*.

Penyelidikan *lost head* pada permukaan mendatar dengan aliran fluida tak kompresibel turbulen dimulai dengan mengumpulkan faktor-faktor yang akan mempengaruhi, yaitu: perubahan tekanan (Δp),

diameter pipa (d), kekentalan mutlak fluida, kerapatan fluida, panjang pipa (L), kecepatan fluida (v), dan kekasaran relatif pipa (K), merupakan perbandingan relatif dari ukuran pipa.

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 $9,81 \text{ m/det}^2$ dan h adalah tinggi *head* dan bilangan yang besarnya tergantung bahan pipa dan besarnya diameter D atau V dan dapat pula dihitung dengan rumus :

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

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 dapat dihitung pula 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.

A.2. Kehilangan Energi Pada Saluran Pipa

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

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

Aliran pipa (*conduit flow*) atau dinamakan aliran tertutup dapat mengalir pada keadaan mantap (*steady flow*) maupun tidak mantap (*non steady flow*). Persamaan penentu (*governing equation*) untuk aliran mantap pada aliran pipa mengacu pada persamaan *Bernoulli* sebagai berikut ini.

Menurut hukum *Bernoulli*, dapat dituliskan bahwa persamaan yang berlaku pada aliran pipa di atas adalah sebagai berikut ini.

$$E_a = E_b$$

$$Z_a + \frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_a^2}{2g} = Z_b + \frac{P_b}{\gamma} + \frac{V_b^2}{2g} + h_f \quad \dots\dots(2)$$

dimana:

Z_a, Z_b = tinggi energi potensial fluida pada titik A & B (m)

$P_a/\gamma, P_b/\gamma$ = tinggi energi tekanan fluida pada titik A & B (m)

$V_a^2/(2g)$ = tinggi energi kinetik fluida pada titik A (m)

H_f = kehilangan energi (karena gesekan) (m)

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

1. Persamaan Darcy Weisbach

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad \dots\dots(3)$$

f = $64/Re$ (untuk aliran laminar, $Re < 2000$)

Re = VD/v

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

a. *Universal Colebrook & White*

$$\frac{1}{f} = -2 \log \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \dots\dots(4)$$

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

b. Persamaan pendekatan *Colebrook & White*

$$f = 0.0055 \left(1 + \left(20000 \frac{k}{D} + \frac{10^6}{Re} \right)^{1/3} \right) \text{ atau memakai pers (1)}$$

$$\frac{1}{f} = -2 \log \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{5.1286}{Re^{0.89}} \right) \dots\dots(5)$$

dimana :

f = koefisien gesek antara fluida dengan dinding pipa

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

Re = bilangan renold (VD/v)

v = kekentalan kinematik

D = diameter pipa (m)

L = panjang pipa

V = kecepatan aliran (m/dt)

2. Persamaan Hazen William

$$h_f = \frac{10.67416 L Q^{1.852}}{C_{HW}^{1.852} D^{4.87037}} \dots\dots(6)$$

dimana :

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

L = panjang pipa

D = diameter pipa (m)

Q = debit aliran (m³/dt)

C_{HW} = koefisien hazen william

3. Persamaan Manning

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

dimana :

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

L = panjang pipa

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 (k) dalam mm untuk berbagai jenis 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: *Pipeflow Analysis, Stepenshon*

Dalam perencanaan nilai k , C_{HW} dan Manning dapat 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.

A.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 zat cair akan berkurang dengan meningkatnya temperature. Viskositas akan mempengaruhi besarnya angka *Reynolds* yang besarnya adalah : $Rn = \frac{V.X}{\frac{\mu}{\rho}}$,

dimana :

V = kecepatan aliran (m/det)

X = jarak yang ditempuh aliran (m)

μ = viskositas dinamis (cP)

ρ = rapat massa

A.4. Ilustrasi Aliran Pipa

Dalam aliran pipa, pipa terbagi menjadi dua jenis sistem pipa, yaitu sistem pipa yang terdiri dari hanya sebuah pipa (sepanjangnya dapat dipasang berbagai komponen), dan sistem pipa yang terdiri dari beberapa pipa yang tersusun secara seri, parallel atau dalam konfigurasi jaringan (Munson, Young dan Okiishi;20014).

Sistem pipa dapat didefinisikan menurut panjang bagian pipa yang digunakan, jumlah sambungan siku (*elbow*), belokan dan katup-katup yang digunakan untuk mengalirkan fluida antara lokasi-lokasi yang diinginkan (Munson, Young dan Okiishi;20014).

Dalam aliran pipa tunggal, air yang masuk sebanding dengan air yang keluar. Hal ini sesuai dengan persamaan kontinuitas sebagai berikut:

$$V_1.A_1=V_2.A_2=V_n.A_n$$

$$Q_1=Q_2=Q_n$$

dimana :

V = Kecepatan (m/s)

A = Luas Penampang (m²)

Q = Debit (m³/s)

B. Perubahan Penampang Saluran Tertutup

B.1 Pengecilan pada Penampang Saluran

Menurut hukum kekekalan energi, perubahan pada salah satu bentuk energi akan diikuti oleh perubahan pada bentuk energi yang lain. Hubungan antartara perubahan tekanan dan kecepatan dinyatakan dalam persamaan Bernoulli sebagai berikut :

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \dots\dots(8)$$

Dimana :

$P_{1,2}$ = Tekanan (gram/cm²)

$V_{1,2}$ = Kecepatan aliran (cm/det)

g = Percepatan gravitasi bumi (cm/det²)

Dengan demikian secara teoritis aliran yang mengalami percepatan, tekanannya akan turun. Sedangkan pada aliran yang mengalami kecepatan rendah (*ekspansi*), tekanannya akan naik. Oleh karena itu, secara teoritis gambar profil tekanan pada sumbu saluran seperti ditunjukkan pada gambar 3 bagian bawah. Dalam penyempitan mendadak, kerugian kecil timbul antara penampang I dan II dimana aliran memencar. Pada penampang II, sebuah *vena contracta* terbentuk, dalam hal lain kalau pemasukan ke pipa yang lebih kecil dilengkungkan

dengan baik, maka kerugian dikurangi sampai nol sehingga tidak terbentuk *vena contracta*.

B.2 Pembesaran pada Penampang Saluran

Disamping adanya kehilangan energi akibat gesekan, terjadi pula kehilangan energi yang disebabkan oleh perubahan penampang pipa. Pada pipa panjang kehilangan energi akibat gesekan biasanya jauh lebih besar dari pada kehilangan energi akibat perubahan penampang, sehingga pada keadaan tersebut kehilangan energi akibat perubahan penampang dapat diabaikan.

Perbesaran penampang mendadak dari aliran mengakibatkan kenaikan tekanan dari P_1 menjadi P_2 dan kecepatan turun dari V_1 menjadi V_2 . Pada tempat disekitar perbesaran penampang (1) akan terjadi olakan dan aliran akan normal kembali mulai dari tampang (2). Di antara tampang 1 dan 2 terjadi pemisahan aliran (Triatmojo 1996 :59).

Karena V_1 lebih besar dari V_2 maka akan terjadi tumbukan di daerah antara tampang satu dan tampang dua. Tekanan ditampang dua sebesar P_2 . tekanan rerata ditampang satu pada bagian yang tidak efektif (bentuk cincin) adalah P' , dan gaya tekanan adalah $(A_2 - A_1)P'$. Persamaan momentum untuk gaya-gaya yang bekerja pada zat cair antara tampang satu dan dua adalah:

$$p_1 A_1 + (p' A_2 - A_1) - P_2 A_2 = p_0 (V_2 - V_1)$$

Kedua ruas dari persamaan tersebut dibagi dengan $A_2 y$, sehingga:

$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{A_1}{A_2} + \frac{(A_2 - A_1) p'}{\gamma} + \frac{V_2}{g} (V_1 - V_2)$$

Persamaan Bernoulli untuk kedua tampang diperoleh :

$$h_e = \frac{(A_2 - A_1)}{A_2} \left(\frac{P_1 - P'}{\gamma} \right) + \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \dots\dots(10)$$

Persamaan Kontinuitas $A_1 V_1 = A_2 V_2$, atau :

$$V_2 = \frac{A_1}{A_2} V_1$$

Apabila dianggap bahwa $P_1 = P'$ dan berdasarkan persamaan kontinuitas maka persamaan menjadi :

$$h_e = \frac{(V_2 - V_1)^2}{2g} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \frac{V_1^2}{2g}$$

$$h_e = K \frac{V_1^2}{2g}$$

$$\text{dengan } K = \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2$$

Kehilangan energi pada pembesaran penampang akan berkurang apabila pembesaran dibuat secara berangsur-angsur seperti gambar 6.

Kehilangan energi diberikan oleh persamaan berikut :

$$h_e = K = K' \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} \dots\dots(11)$$

Dimana :

H_e = kehilangan energi (cm)

K = koefisien gaya gesek pipa

Dengan K' tergantung pada sudut α dan diberikan oleh table 3

Tabel 2 : Nilai K' fungsi dari α

α	10°	20°	30°	40°	50°	60°	75°
k'	0.078	0.31	0.49	0.60	0.67	0.72	0.72

Sumber: *Hydraulics of pipelines System*

C. Pengukuran Tekanan Aliran

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

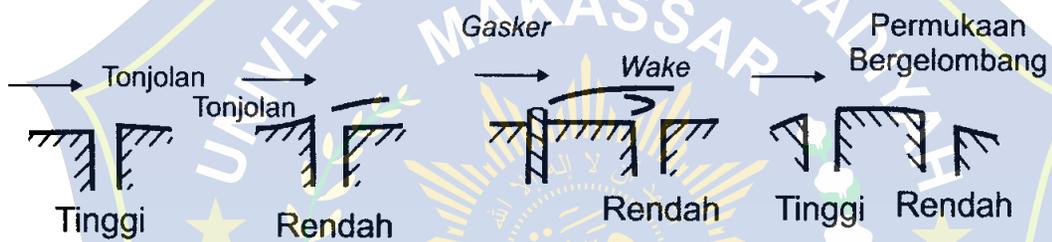
1. Tekanan statik (P) adalah tekanan yang diukur pada arahnya tegak Lurus saluran. Untuk menentukan tekanan ini, dapat digunakan Persamaan Hidrostatik berikut :

$P = p^0 + h \gamma$ Terlihat, tekanan statik 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 energi kinetik.
3. Tekanan stagnasi (P_0) adalah tekanan yang merupakan jumlah dari tekanan statik dengan energi kinetik.

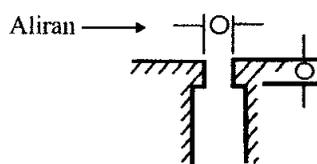
Cara mengukur tekanan statik adalah dengan membuat lubang berdiameter 3 mm, kemudian menghubungkan lubang tersebut dengan pipa manometer. Tinggi air dalam pipa manometer menunjukkan tekanan statik

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 1. Pada gambar 1 disebutkan bahwa penempatan lubang pada dinding yang tidak rata dapat menghasilkan tekanan yang lebih rendah atau lebih tinggi dari tekanan statik yang sebenarnya.



Gambar 1. Lubang Pengukuran Tekanan yang Salah

Misalnya pada permukaan yang bergelombang, lubang yang ditempatkan sebelum permukaan menonjol menghasilkan tekanan yang tinggi. Sedangkan lubang yang di tempatkan 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 2 menunjukkan pembuatan lubang pengukuran yang benar.



Gambar 2. Lubang pengukuran Tekanan yang Benar

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar dengan waktu penelitian selama 3 bulan mulai oktober – desember 2018.

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

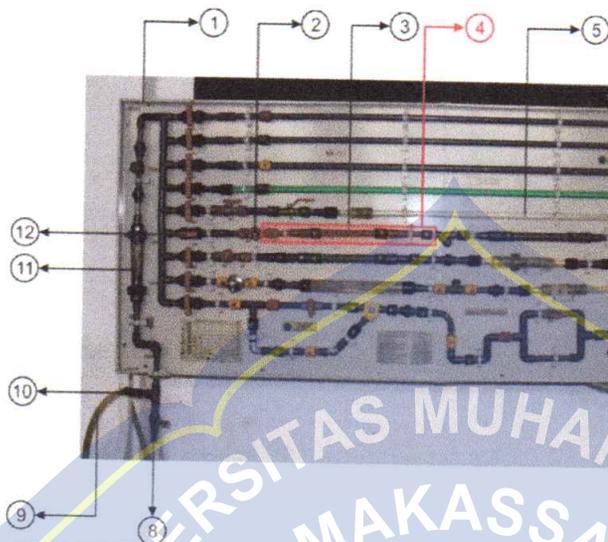
C.1. Alat Dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. *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 instrumen sistem perpipaan. Hal ini memungkinkan kita untuk memeriksa dan membandingkan karakteristik komponen yang berbeda.



Gambar 3. *Fluid Fruction Apparatus*

Keterangan :

- a. Dinding / papan rangkaian
- b. Keran pengatur aliran fluida
- c. Pipa PVC
- d. Rangkaian pipa yang mengalami perubahan penampang
- 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
- l. Katup penghambat aliran fluida

2. 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 (*poun per square foot*), mmHg (*milimeter 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 maonometer 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 4. *Manometer*

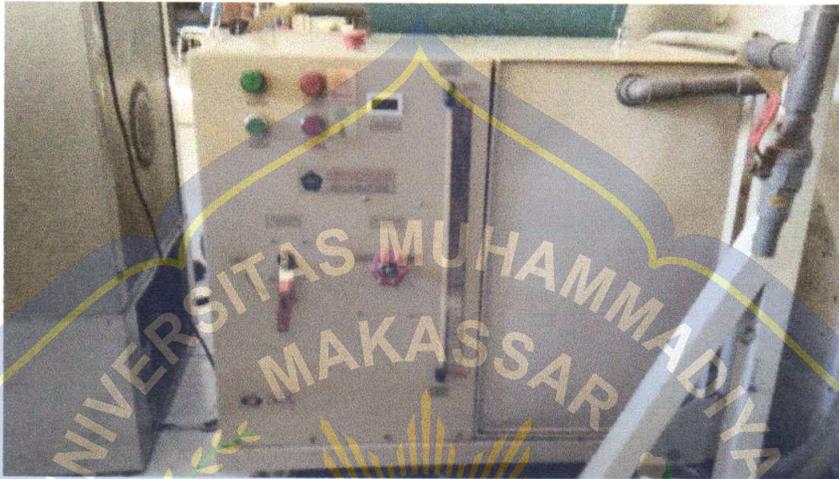
3. *Hydraulic Bench dengan Reservoir*

Alat ini berfungsi sebagai pemasok air dengan sirkulasi yang terkontrol dan flowmeter yang akurat untuk eksperimen mekanika hidrolik 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 5. *Hydrolik Bench (Reservoir)*

4. 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).

5. Ember Penampungan

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

6. Tabel Pengamatan

Tabel Pengamatan digunakan untuk hasil data yang di peroleh dari setiap percobaan yang dilaksanakan.

7. Alat Tulis

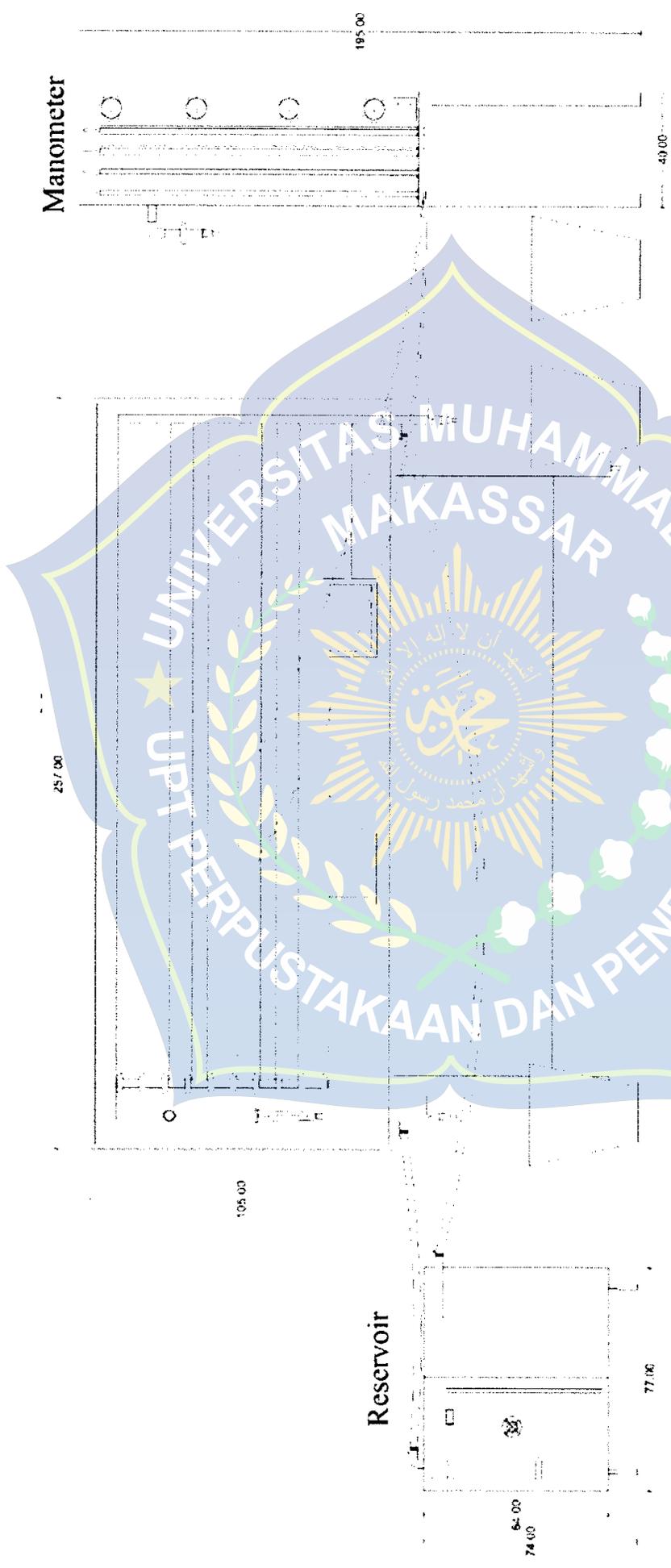
Alat tulis yang digunakan yaitu pensil untuk mencatat semua hasil data percobaan yang diperoleh.

8. Peralatan Pendukung

peralatan yang digunakan untuk perbaikan pada alat hidraulic bench yaitu berupa obeng, kunci iggris, dan alat peralatan lainnya.

C.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.



Reservoir

Manometer

Gambar .6. Skema Fluid Friction Apparatus

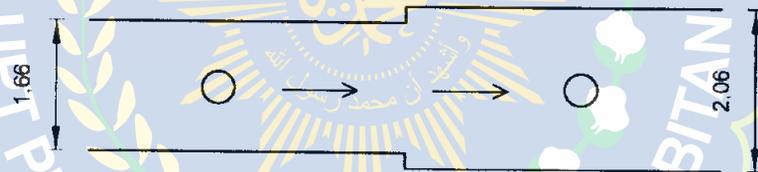
C.3. Model Konfigurasi Penampang Pipa

Pada penelitian ini, ada tiga jenis model konfigurasi penampang pipa yang digunakan, yaitu sebagai berikut :

1. Pembesaran dan pengecilan penampang pipa

a. Pembesaran penampang pipa

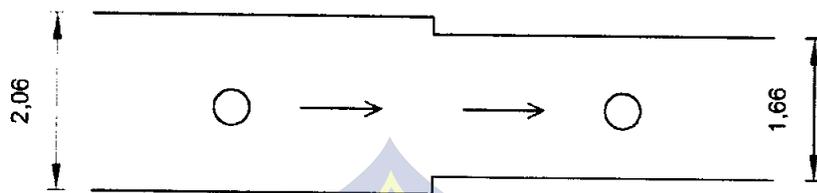
Pada model ini, air akan dialirkan dari pipa berdiameter 1,66 cm ke pipa berdiameter 2,06 cm. Kemudian, data tekanan aliran diambil pada masing-masing penampang tersebut.



Gambar.7. Model Pembesaran Penampang Pipa

b. Pengecilan penampang pipa

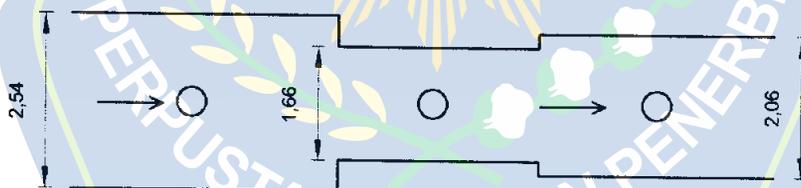
Pada model ini, air akan dialirkan dari pipa berdiameter 2,06 cm ke pipa berdiameter 1,06 cm. Kemudian, data tekanan aliran diambil pada masing-masing penampang tersebut.



Gambar.8. Model Pengecilan Penampang Pipa

2. Kombinasi antara pengecilan dan pembesaran penampang pipa

Pada model ini, ada dua kasus yang terjadi. Yang pertama, akan terjadi pengecilan penampang pipa dari diameter 2,06 cm ke diameter 1,66 cm. Yang kedua, akan terjadi pembesaran penampang dari diameter 1,66 cm ke diameter 2,54 cm. Kemudian data tekanan diambil pada masing-masing penampang.

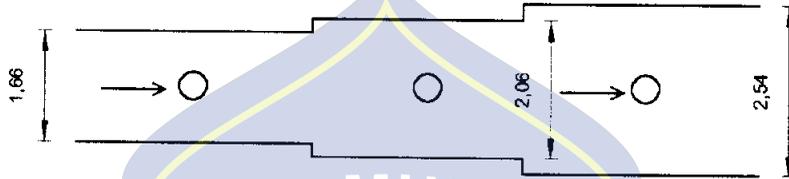


Gambar.9. Model Kombinasi antara pengecilan dan pembesaran penampang pipa

3. Pembesaran penampang 2 tahap

Pada model ini, penampang pipa mengalami 2 tahap pembesaran. Air akan dialirkan dari pipa berdiameter 1,66 cm ke diameter 2,06 cm lalu mengalami pembesaran lagi menjadi 2,54

cm. Kemudian data tekanan diambil pada masing-masing penampang.



Gambar.10. Model pembesaran penampang 2 tahap

C.4. Pengamatan Parameter Model Uji

Ada beberapa parameter yang perlu diperhatikan pada penelitian ini, yaitu:

1. Debit aliran (Q)

Untuk penentuan debit, dapat dilihat pada *flowmeter* yang ada pada rangkaian alat *fluid friction apparatus*. Ada 4 macam debit yang digunakan, yaitu debit 0,6 m³/jam, 0,8 m³/jam, 1,0 m³/jam, dan 1,2 m³/jam.

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

2. Diameter penampang pipa (D)

Ukuran diameter penampang pipa dapat dilihat pada papan keterangan alat *fluid friction apparatus*.

3. Tinggi air pada reservoir (h)

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

4. 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.

5. Luas Reservoir (cm^2)

Luas reservoir didapatkan dari hasil perkalian panjang dan lebar reservoir.

6. Volume air pada reservoir (cm^3)

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

7. 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.

Tabel.3. Tabel data pengamatan

Da = - cm
 Db = - cm
 Dc = - cm
 Suhu air = - °C
 Luas Reservoir = - cm

No.	Q (m ³ /jam)	h air (cm)	Vol (cm ³)	Tekanan Statis (Po)			Tekanan Dinamik (PI)		
				a (cm)	b (cm)	c (cm)	a (kg/cm ²)	b (kg/cm ²)	c (kg/cm ²)
1	0,6								
	0,6								
	0,6								
2	0,8								
	0,8								
	0,8								
3	1,0								
	1,0								
	1,0								
4	1,2								
	1,2								
	1,2								

D. Analisis Data

Setelah semua data diperoleh, selanjutnya dilakukan analisis data.

1. Menghitung luas penampang pipa.

Luas penampang pipa dihitung berdasarkan diameter pipa yang hendak diuji.

2. Hitung 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. Hitung kehilangan tinggi energi yang terjadi pada pipa.

Kehilangan energi dihitung berdasarkan jenis pipa yang digunakan. Kehilangan energi dipengaruhi oleh kekasaran pipa dan diameter pipa.

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

5. Hitung bilangan reynold dengan.

Bilangan reynolds 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 <2000 maka aliran tersebut adalah aliran laminer. Jika bilangan reynold menunjukkan

angka >2000 tapi <4000 maka aliran tersebut adalah aliran transisi.

Sedangkan, jika bilangan reynold menunjukkan angka >4000 maka jenis alirannya adalah aliran turbulen.



E. Tahapan Penelitian



Gambar.11. Bagan Alur Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengamatan Tekanan Sistem Perpipaan

Dari hasil pengamatan dengan menggunakan alat *Fluid Friction Apparatus* pada laboratorium hidrolika Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar, didapatkan hasil berupa data tekanan dan karakteristik aliran yang mengalir dalam pipa yang mengalami perubahan penampang berupa pembesaran dan pengecilan penampang.

Data-data yang diperoleh pada pengamatan alat *Fluid Friction Apparatus* berupa data Debit (Q), diameter pipa (d), panjang pipa yang diuji (l), luas reservoir (L), ketinggian air pada reservoir (h), volume air pada reservoir (V), suhu air yang ada pada reservoir ($^{\circ}C$), tinggi tekanan pada manometer air (h_a dan h_b), serta tekanan pada manometer bourden (P_a dan P_b).

Data-data tersebut kemudian dianalisa untuk mendapatkan karakteristik aliran yang mengalir pada pipa yang mengalami perubahan penampang. Data tersebut berupa luas penampang pipa (A), kecepatan air yang mengalir dalam pipa (v), viskositas kinematik air yang mengalir dalam pipa, bilangan reynold (Re), serta jenis aliran yang mengalir dalam pipa (*Laminer*, *Transisi* atau *Turbulen*).

A.1 Pembesaran dan Pengcilan Penampang pipa

A.1.1 Pembesaran Penampang

Pada pembesaran penampang diameter pipa yang digunakan adalah 1,66 cm (D_a) yang kemudian mengalami pembesaran penampang menjadi diameter 2,06 cm (D_b). Jarak antar titik uji dari pipa kecil ke pipa yang lebih besar adalah 17 cm (L). Luas Reservoir adalah 2052 cm². Suhu air pada reservoir adalah 31,5 °C.

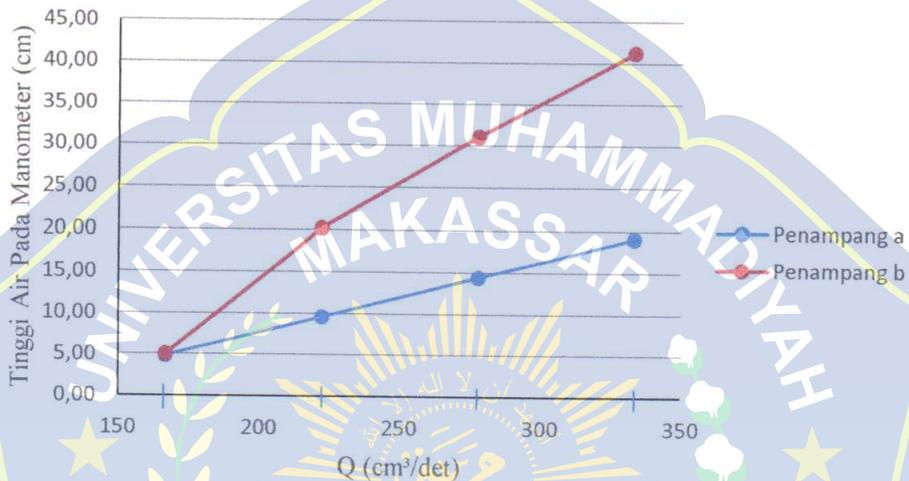
Untuk data selanjutnya disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 4. Data pengamatan pada pembesaran penampang

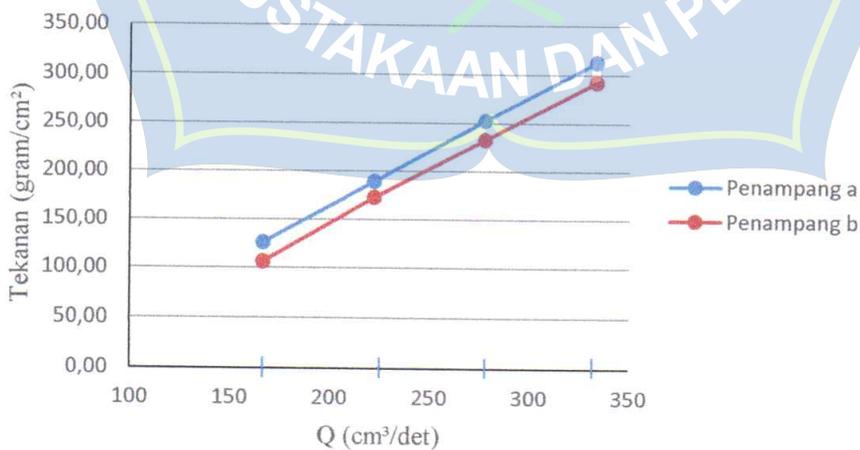
No.	Q	h air	Vol	Tinggi Air Pada Manometer		Tekanan		Tinggi Air Pada Manometer		Tekanan	
				(cm)		(gram/cm ²)		(cm)		(gram/cm ²)	
				a	b	a	b	a	b	a	b
1	166,67	31,8	0	4,8	5	120	100	4,9	5,1	126,7	106,7
	166,67	31,8	65253,6	4,9	5,1	120	110				
	166,67	31,8	65253,6	5	5,2	140	110				
2	222,23	31,4	64432,8	19,2	20,2	310	300	19,2	20,2	313,3	293,3
	222,23	31,4	64432,8	19,3	20,3	310	290				
	222,23	31,4	64432,8	19	20,2	320	290				
3	277,8	31,3	64227,6	29,7	31,2	540	500	29,6	31,1	536,7	496,7
	277,8	31,3	64227,6	29,7	31	530	500				
	277,8	31,3	64227,6	29,5	31	540	490				
4	333,34	31,1	63817,2	39,2	41,5	690	650	39,2	41,3	693,3	633,3
	333,34	31,1	63817,2	39,3	41,4	690	630				
	333,34	31,1	63817,2	39	41	700	620				

sumber : data pengamatan

Selanjutnya dapat dibuat grafik hubungan antara debit (Q) dan tekanan statis (P_0), dan hubungan antara debit (Q) dan tekanan dinamik (P_I), pada masing-masing penampang.



Gambar. 12. Hubungan antara debit dengan tinggi air pada manometer (tekanan statis) pada pembesaran penampang



Gambar 13. Hubungan antara debit dengan tekanan dinamis pada pembesaran penampang

Dari kedua grafik diatas, dapat dilihat perbedaan tekanan statis dan dinamik yang terjadi pada pengecilan penampang pipa.

Pada tekanan statis, penampang b mempunyai tekanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan penampang a. Hal ini disebabkan karena pada saat air mengalir dari penampang a ke penampang b, air mengalami penurunan kecepatan di daerah penampang b. Sehingga, tekanan statik di penampang b lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan statik di penampang a.

Sedangkan pada tekanan dinamik, penampang a mempunyai tekanan yang lebih tinggi dibandingkan pada penampang b. Hal ini disebabkan karena luas penampang a lebih kecil dari luas penampang b. Sehingga, tekanan dinamik di penampang a lebih tinggi dibanding tekanan dinamik pada penampang b.

A.1.2 Pengecilan Penampang

Pada pengecilan penampang diameter pipa yang digunakan adalah 2,06 cm (D_a) yang kemudian mengalami pengecilan penampang menjadi diameter 1,66 cm (D_b). Jarak antar titik uji dari pipa besar ke pipa yang lebih kecil adalah 17 cm (L). Luas Reservoir adalah 2052 cm². Suhu air pada reservoir adalah 31,5 °C.

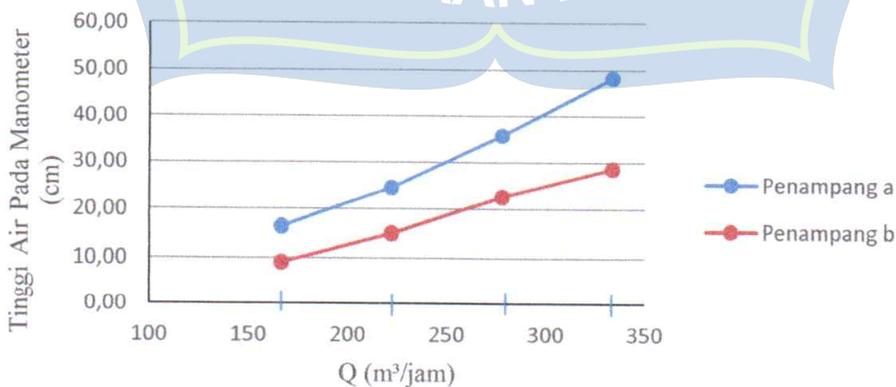
Untuk data selanjutnya disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 5. Data pengamatan pada pengecilan penampang

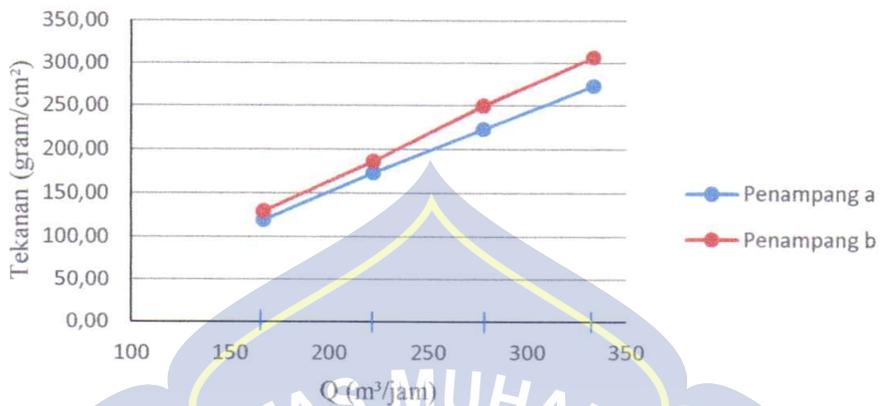
No.	Q	h air	Vol	Tinggi Air Pada Manometer		Tekanan		Tinggi Air Pada Manometer		Tekanan	
				(cm)		(gram/cm ²)		(cm)		(gram/cm ²)	
				a	b	a	b	a	b	a	b
1	166,67	31,3	64227,6	16,8	8,9	120	130	16,6	9,2	120,0	130,0
	166,67	31,3	64227,6	16,5	9,4	120	120				
	166,67	31,3	64227,6	16,4	9,4	120	140				
2	222,23	31,2	64022,4	24,8	15,4	280	300	24,7	15,2	273,3	306,7
	222,23	31,2	64022,4	24,7	15	270	310				
	222,23	31,2	64022,4	24,6	15,2	270	310				
3	277,8	31	63612	36	22,9	480	500	35,9	22,7	476,7	500,0
	277,8	31	63612	35,7	22,5	470	500				
	277,8	31	63612	36	22,8	480	500				
4	333,34	31	63612	48,5	28,9	660	690	48,4	28,7	656,7	686,7
	333,34	31	63612	48,4	28,7	660	690				
	333,34	31	63612	48,2	28,6	650	680				

sumber : data pengamatan

Selanjutnya dapat dibuat grafik hubungan antara debit (Q) dan tekanan (Po) dan grafik hubungan antara debit dan tekanan dinamik(Pi), pada masing-masing penampang.



Gambar 14. Hubungan antara debit dengan tinggi air pada manometer (tekanan statis) pada pengecilan penampang



Gambar 15. Hubungan antara debit dengan tekanan dinamis pada pengecilan penampang

Dari kedua grafik diatas, dapat dilihat perbedaan tekanan statis dan dinamik yang terjadi pada pengecilan penampang pipa.

Pada tekanan statis, penampang a mempunyai tekanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan penampang b. Hal ini disebabkan karena pada saat air mengalir dari penampang a ke penampang b, air mengalami percepatan di daerah penampang b. Sehingga, tekanan statik di penampang b lebih rendah dibandingkan dengan tekanan statik di penampang a.

Sedangkan pada tekanan dinamik, penampang a mempunyai tekanan yang lebih rendah dibandingkan pada penampang b. Hal ini disebabkan karena luas penampang a lebih besar dari luas penampang b. Sehingga, tekanan dinamik di penampang a lebih rendah dibanding tekanan dinamik pada penampang b.

A.2 Pembesaran Penampang 2 Tahap

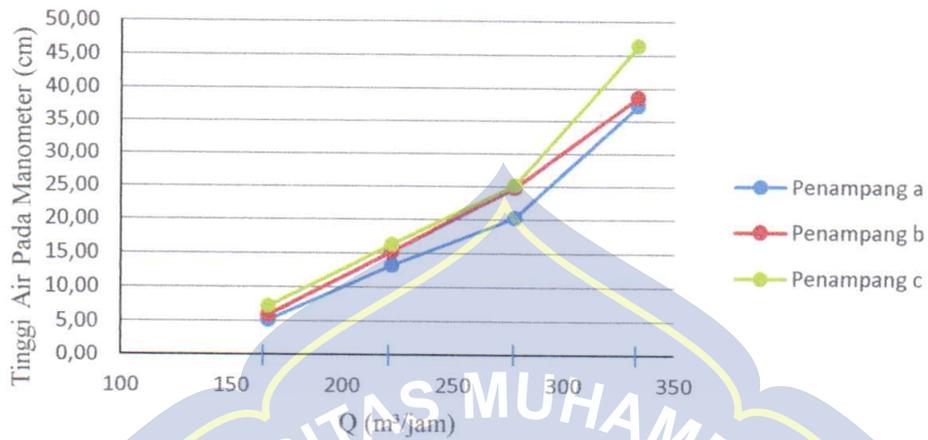
Pembesaran penampang melalui 2 tahap, yaitu perubahan penampang dari diameter 1,66 yang mengalami pembesaran penampang menjadi 2,06 cm, kemudian mengalami pembesaran lagi menjadi 2,54 cm.

Tabel 6. Tabel data pengamatan pada pembesaran penampang 2 tahap

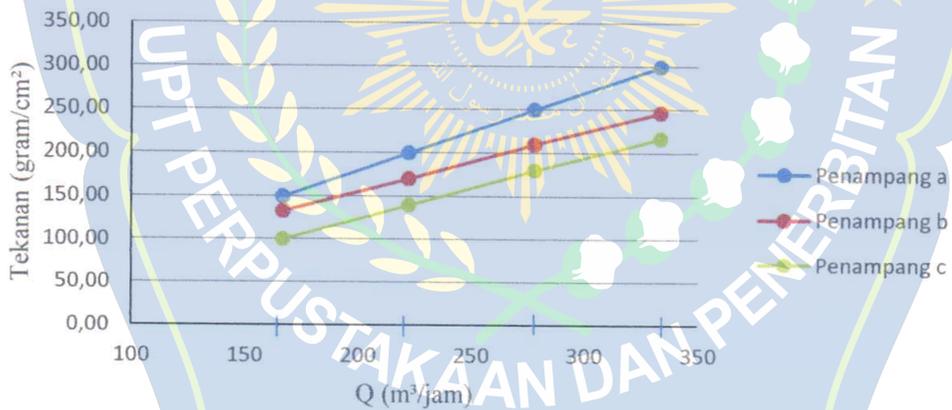
No.	Q (m ³ /jam)	h air (cm)	Vol (cm ³)	Tinggi Air Pada Manometer (cm)			Tekanan (gram/cm ²)			Tinggi Air Pada Manometer (cm)			Tekanan (gram/cm ²)		
				a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	166,67	26,9	55198,8	5	5,9	7,2	150	140	100	150	133	100	150	133	100
	166,67	26,9	55198,8	5,4	6	7,3	150	130	100						
	166,67	26,9	55198,8	5,5	6	7,3	150	130	100						
2	222,23	27,4	56224,8	13,4	15	16,3	300	250	220	300	247	217	300	247	217
	222,23	27,4	56224,8	13,4	15,5	16,5	300	250	220						
	222,23	27,4	56224,8	13,3	15,6	16,5	300	240	210						
3	277,8	26,3	53967,6	20,5	25,2	25,4	430	340	310	423	333	310	423	333	310
	277,8	26,3	53967,6	20,5	25,3	25,4	410	330	310						
	277,8	26,3	53967,6	20	24	25	430	330	310						
4	333,34	25,7	52736,4	37,3	38,7	46,5	540	420	400	523	417	397	523	417	397
	333,34	25,7	52736,4	37,5	38,7	46,4	510	420	400						
	333,34	25,7	52736,4	37,4	38,7	46,4	520	410	390						

sumber : data pengamatan

Selanjutnya dapat dibuat grafik hubungan antara debit (Q) dan tekanan (Po) dan grafik hubungan antara debit dan tekanan dinamik(PI), pada masing-masing penampang.



Gambar 16. Hubungan antara debit dengan tinggi air pada manometer (tekanan statis) pada pembesaran penampang 2 tahap



Gambar 17. Hubungan antara debit dengan tekanan dinamis pada pembesaran penampang 2 tahap

Dari grafik diatas, dapat dilihat bahwa semakin besar debit yang diberikan maka tekanan pada semua penampang menjadi meningkat.

Pada saat pipa mengalami pembesaran penampang, tekanan statik yang dihasilkan menjadi meningkat, sedangkan tekanan dinamikanya menurun. Kemudian, pipa mengalami pembesaran kembali yang mengakibatkan tekanan statisnya menjadi semakin meningkat sedangkan tekanan dinamikanya semakin menurun.

A.3. Kombinasi Antara Pembesaran dan Pengecilan Penampang Pipa

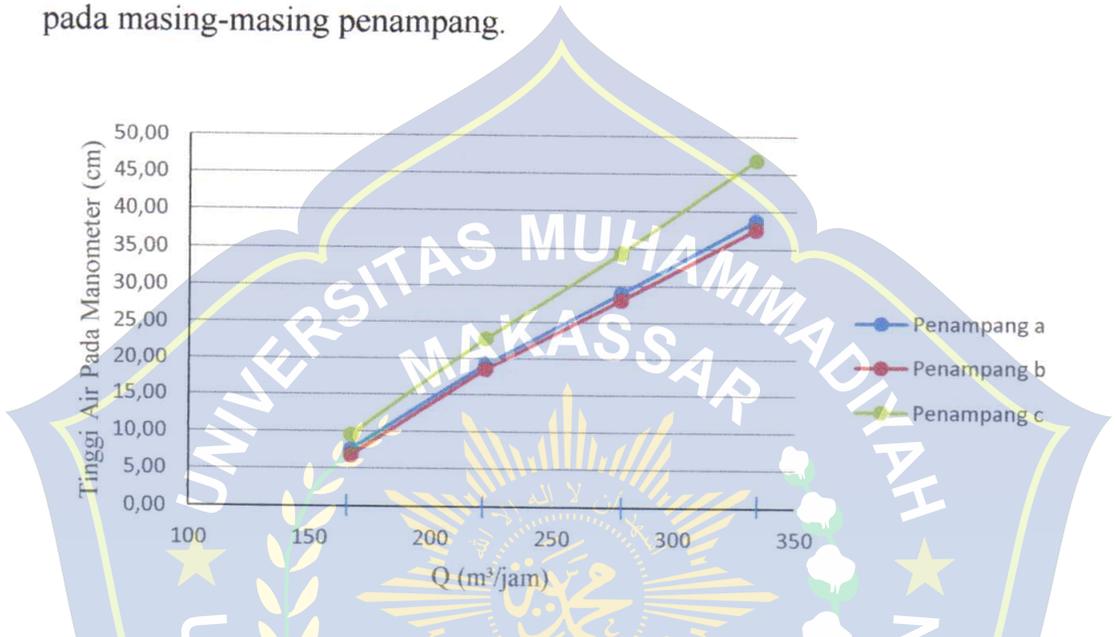
Kombinasi antara pembesaran dan pengecilan mengalami perubahan penampang dari diameter 2,06 cm yang mengalami pengecilan penampang menjadi 1,66 cm kemudian mengalami pembesaran penampang menjadi 2,54 cm.

Tabel 7. Tabel data pengamatan pada kombinasi antara pembesaran dan pengecilan penampang

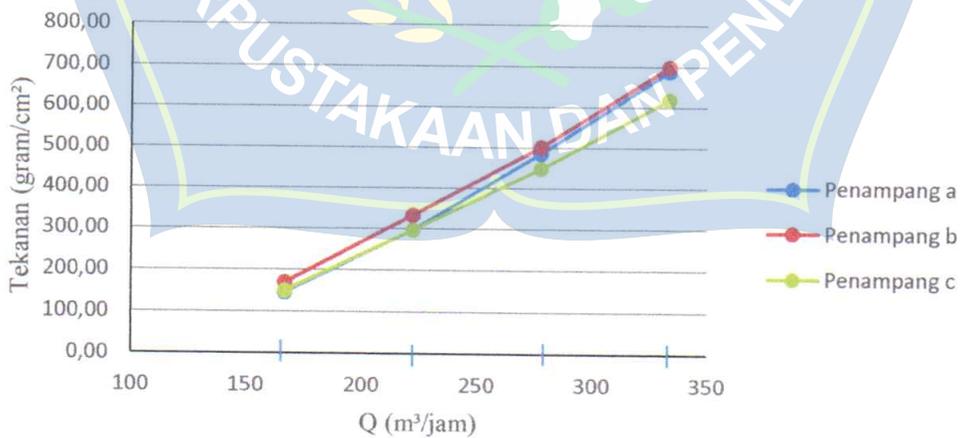
No.	Q (m ³ /jam)	h air (cm)	Vol (cm ³)	Tinggi Air Pada Manometer (cm)			Tekanan (gram/cm ²)			Tinggi Air Pada Manometer (cm)			Tekanan (gram/cm ²)		
				a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	166,67	29,7	60944,4	7,5	6,7	9,5	150	170	160	7,6	6,8	9,5	146,7	170,0	150,0
	166,67	29,7	60944,4	7,7	6,9	9,6	140	170	150						
	166,67	29,7	60944,4	7,7	6,9	9,5	150	170	140						
2	222,23	28,4	58276,8	19,3	18,6	22,9	290	330	300	19,2	18,5	22,8	296,7	333,3	296,7
	222,23	28,4	58276,8	19,2	18,5	22,7	300	340	290						
	222,23	28,4	58276,8	19,2	18,5	22,7	300	330	300						
3	277,8	27,5	56430	28,9	28,1	33,9	480	500	450	29,0	28,2	34,4	486,7	503,3	450,0
	277,8	27,5	56430	29	28,2	34,5	490	500	450						
	277,8	27,5	56430	29,2	28,2	34,8	490	510	450						
4	333,34	26,9	55198,8	38,9	37,8	46,4	690	700	620	38,8	37,6	46,9	690,0	700,0	620,0
	333,34	26,9	55198,8	38,6	37,4	47,1	690	700	620						
	333,34	26,9	55198,8	38,9	37,7	47,1	690	700	620						

umber : data pengamatan

Selanjutnya dapat dibuat grafik hubungan antara debit (Q) dan tekanan (P_0) dan grafik hubungan antara debit dan tekanan dinamik (P_I), pada masing-masing penampang.



Gambar 18. Hubungan antara debit dengan tinggi air pada manometer (tekanan statis) pada kombinasi antara pembesaran dan pengecilan penampang



Gambar 19. Hubungan antara debit dengan tekanan dinamis pada kombinasi antara pembesaran dan pengecilan penampang

Dari grafik diatas, dapat dilihat bahwa semakin besar debit yang diberikan maka tekanan pada semua penampang menjadi meningkat.

Pada saat pipa mengalami pengecilan penampang, tekanan statis yang dihasilkan menjadi menurun dan tekanan dinamikya meningkat. Kemudian, pipa mengalami pembesaran kembali yang mengakibatkan tekanan statisnya menjadi meningkat dan tekanan dinamikya menjadi menurun.

B. Analisis Sifat Pengaliran Pada Sistem Perpipaan

Data-data yang telah diperoleh pada percobaan alat *fluid friction apparatus* kemudian diolah untuk mendapatkan karakteristik aliran yang mengalir dalam pipa, baik yang mengalami pembesaran maupun pengecilan penampang.

Sebelum memulai perhitungan, terlebih dahulu kita mengkonversi data yang memiliki satuan yang berbeda seperti data debit dari m^3/jam menjadi cm^3/det , dan data viskositas kinematik dari m^2/det menjadi cm^2/det .

Tabel 8. Konversi satuan debit

Satuan	Debit			
m^3/jam	0,6	0,8	1,0	1,2
cm^3/det	166,67	222,22	277,78	333,33

sumber : data pengamatan

Tabel 9. Konversi satuan viskositas kinematik

suhu °C	Viskositas Kinematik (cm ² /det)
0	0,01795
5	0,01519
10	0,01308
20	0,01007
30	0,00804
40	0,00661
50	0,00556
60	0,00477
70	0,00415
80	0,00367
90	0,00328
100	0,00296

sumber : buku panduan *Fluid friction apparatus*

Setelah satuannya dikonversi, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan lebih lanjut.

B.1 Kecepatan air dalam pipa (*V*)

Kecepatan aliran air dalam pipa dipengaruhi oleh besarnya luas penampang dan besarnya debit aliran yang mengalir di dalam pipa.

Berikut disajikan tabel hasil perhitungan kecepatan aliran air dalam pipa pada masing-masing perubahan penampang pipa.

a. Pembesaran dan pengecilan penampang pipa

1. Pembesaran penampang pipa

Tabel 10. Hasil perhitungan kecepatan aliran pada pembesaran penampang pipa

No.	Q (cm ³ /det)	Aa (cm ²)	Ab (cm ²)	va (cm/dt)	vb (cm/dt)
1	166,67	2,16	3,33	77,05	50,03
	166,67	2,16	3,33	77,05	50,03
	166,67	2,16	3,33	77,05	50,03
2	222,23	2,16	3,33	102,73	66,71
	222,23	2,16	3,33	102,73	66,71
	222,23	2,16	3,33	102,73	66,71
3	277,78	2,16	3,33	128,42	83,39
	277,78	2,16	3,33	128,42	83,39
	277,78	2,16	3,33	128,42	83,39
4	333,34	2,16	3,33	154,10	100,07
	333,34	2,16	3,33	154,10	100,07
	333,34	2,16	3,33	154,10	100,07

sumber : data pengamatan

2. Pengecilan Penampang Pipa

Tabel 11. Hasil perhitungan kecepatan aliran pada pengecilan penampang pipa

No.	Q (cm ³ /det)	Aa (cm ²)	Ab (cm ²)	va (cm/dt)	vb (cm/dt)
1	166,67	3,33	2,16	50,03	77,05
	166,67	3,33	2,16	50,03	77,05
	166,67	3,33	2,16	50,03	77,05
2	222,23	3,33	2,16	66,71	102,73
	222,23	3,33	2,16	66,71	102,73
	222,23	3,33	2,16	66,71	102,73
3	277,78	3,33	2,16	83,39	128,42
	277,78	3,33	2,16	83,39	128,42
	277,78	3,33	2,16	83,39	128,42
4	333,34	3,33	2,16	100,07	154,10
	333,34	3,33	2,16	100,07	154,10
	333,34	3,33	2,16	100,07	154,10

sumber : data pengamatan

b. Pembesaran penampang 2 tahap

Tabel 12. Hasil perhitungan kecepatan aliran pada pembesaran pipa 2 tahap

No.	Q (cm ³ /det)	Aa (cm ²)	Ab (cm ²)	Ac (cm ²)	va (cm/dt)	vb (cm/dt)	vc (cm/dt)
1	166,67	2,16	3,33	5,06	77,05	50,03	32,91
	166,67	2,16	3,33	5,06	77,05	50,03	32,91
	166,67	2,16	3,33	5,06	77,05	50,03	32,91
2	222,23	2,16	3,33	5,06	102,73	66,71	43,88
	222,23	2,16	3,33	5,06	102,73	66,71	43,88
	222,23	2,16	3,33	5,06	102,73	66,71	43,88
3	277,78	2,16	3,33	5,06	128,42	83,39	54,85
	277,78	2,16	3,33	5,06	128,42	83,39	54,85
	277,78	2,16	3,33	5,06	128,42	83,39	54,85
4	333,34	2,16	3,33	5,06	154,10	100,07	65,82
	333,34	2,16	3,33	5,06	154,10	100,07	65,82
	333,34	2,16	3,33	5,06	154,10	100,07	65,82

sumber : data pengamatan

c. Kombinasi pembesaran dan pengecilan penampang pipa

Tabel 13. Hasil perhitungan kecepatan aliran pada kombinasi pembesaran dan pengecilan penampang pipa

No.	Q (cm ³ /det)	Aa (cm ²)	Ab (cm ²)	Ac (cm ²)	va (cm/dt)	vb (cm/dt)	vc (cm/dt)
1	166,67	3,33	2,16	5,06	50,03	77,05	32,91
	166,67	3,33	2,16	5,06	50,03	77,05	32,91
	166,67	3,33	2,16	5,06	50,03	77,05	32,91
2	222,23	3,33	2,16	5,06	66,71	102,73	43,88
	222,23	3,33	2,16	5,06	66,71	102,73	43,88
	222,23	3,33	2,16	5,06	66,71	102,73	43,88
3	277,78	3,33	2,16	5,06	83,39	128,42	54,85
	277,78	3,33	2,16	5,06	83,39	128,42	54,85
	277,78	3,33	2,16	5,06	83,39	128,42	54,85
4	333,34	3,33	2,16	5,06	100,07	154,10	65,82
	333,34	3,33	2,16	5,06	100,07	154,10	65,82
	333,34	3,33	2,16	5,06	100,07	154,10	65,82

sumber : data pengamatan

B.2 Kehilangan Energi (hf)

Kehilangan energi dipengaruhi oleh besarnya luas penampang, tinggi tekanan air, kecepatan aliran, dan percepatan gaya gravitasi bumi.

Berikut disajikan tabel hasil perhitungan kehilangan energi dalam pipa pada masing-masing perubahan penampang pipa.

a. Pembesaran dan pengecilan penampang pipa

1. Pembesaran penampang pipa

Tabel 14. Hasil perhitungan kehilangan energi pada pembesaran penampang pipa

No.	Q (cm ³ /det)	Aa (cm ²)	Ab (cm ²)	va (cm/dt)	vb (cm/dt)	k (cm)	hf	
							a (cm)	b (cm)
1	166,67	2,16	3,33	77,05	50,03	0,015	0,05	0,02
	166,67	2,16	3,33	77,05	50,03	0,015	0,05	0,02
	166,67	2,16	3,33	77,05	50,03	0,015	0,05	0,02
2	222,23	2,16	3,33	102,73	66,71	0,015	0,08	0,03
	222,23	2,16	3,33	102,73	66,71	0,015	0,08	0,03
	222,23	2,16	3,33	102,73	66,71	0,015	0,08	0,03
3	277,78	2,16	3,33	128,41	83,39	0,015	0,13	0,05
	277,78	2,16	3,33	128,41	83,39	0,015	0,13	0,05
	277,78	2,16	3,33	128,41	83,39	0,015	0,13	0,05
4	333,34	2,16	3,33	154,10	100,07	0,015	0,18	0,08
	333,34	2,16	3,33	154,10	100,07	0,015	0,18	0,08
	333,34	2,16	3,33	154,10	100,07	0,015	0,18	0,08

sumber : data pengamatan

2. Pengecilan penampang pipa

Tabel 15. Hasil perhitungan kehilangan energi pada pengecilan penampang pipa

No.	Q (cm ³ /det)	Aa (cm ²)	Ab (cm ²)	va (cm/dt)	vb (cm/dt)	k (cm)	hf	
							a (cm)	b (cm)
1	166,67	3,33	2,16	50,03	77,05	0,015	0,02	0,05
	166,67	3,33	2,16	50,03	77,05	0,015	0,02	0,05
	166,67	3,33	2,16	50,03	77,05	0,015	0,02	0,05
2	222,23	3,33	2,16	66,71	102,73	0,015	0,03	0,08
	222,23	3,33	2,16	66,71	102,73	0,015	0,03	0,08
	222,23	3,33	2,16	66,71	102,73	0,015	0,03	0,08
3	277,78	3,33	2,16	83,39	128,41	0,015	0,05	0,13
	277,78	3,33	2,16	83,39	128,41	0,015	0,05	0,13
	277,78	3,33	2,16	83,39	128,41	0,015	0,05	0,13
4	333,34	3,33	2,16	100,07	154,10	0,015	0,08	0,18
	333,34	3,33	2,16	100,07	154,10	0,015	0,08	0,18
	333,34	3,33	2,16	100,07	154,10	0,015	0,08	0,18

sumber : data pengamatan

b. Pembesaran pipa 2 tahap

Tabel 16. Hasil perhitungan kehilangan energi pada pembesaran pipa 2 tahap

No.	Q (cm ³ /det)	Aa (cm ²)	Ab (cm ²)	Ac (cm ²)	va (cm/dt)	vb (cm/dt)	vc (cm/dt)	k (cm)	hf		
									a (cm)	b (cm)	c (cm)
1	166,67	2,16	3,33	5,06	77,05	50,03	32,91	0,015	0,05	0,02	0,01
	166,67	2,16	3,33	5,06	77,05	50,03	32,91	0,015	0,05	0,02	0,01
	166,67	2,16	3,33	5,06	77,05	50,03	32,91	0,015	0,05	0,02	0,01
2	222,23	2,16	3,33	5,06	102,73	66,71	43,88	0,015	0,08	0,03	0,01
	222,23	2,16	3,33	5,06	102,73	66,71	43,88	0,015	0,08	0,03	0,01
	222,23	2,16	3,33	5,06	102,73	66,71	43,88	0,015	0,08	0,03	0,01
3	277,78	2,16	3,33	5,06	128,41	83,39	54,85	0,015	0,13	0,05	0,02
	277,78	2,16	3,33	5,06	128,41	83,39	54,85	0,015	0,13	0,05	0,02
	277,78	2,16	3,33	5,06	128,41	83,39	54,85	0,015	0,13	0,05	0,02
4	333,34	2,16	3,33	5,06	154,10	100,07	65,82	0,015	0,18	0,08	0,03
	333,34	2,16	3,33	5,06	154,10	100,07	65,82	0,015	0,18	0,08	0,03
	333,34	2,16	3,33	5,06	154,10	100,07	65,82	0,015	0,18	0,08	0,03

sumber : data pengamatan

c. Kombinasi antara pembesaran dan pengecilan penampang pipa

Tabel 17. Hasil perhitungan kehilangan energi pada kombinasi antara pembesaran dan pengecilan penampang pipa

No.	Q (cm ³ /det)	Aa (cm ²)	Ab (cm ²)	Ac (cm ²)	va (cm/dt)	vb (cm/dt)	vc (cm/dt)	k (cm)	hf		
									a (cm)	b (cm)	c (cm)
1	166,67	3,33	2,16	5,06	50,03	77,05	32,91	0,015	0,02	0,05	0,01
	166,67	3,33	2,16	5,06	50,03	77,05	32,91	0,015	0,02	0,05	0,01
	166,67	3,33	2,16	5,06	50,03	77,05	32,91	0,015	0,02	0,05	0,01
2	222,23	3,33	2,16	5,06	66,71	102,73	43,88	0,015	0,03	0,08	0,01
	222,23	3,33	2,16	5,06	66,71	102,73	43,88	0,015	0,03	0,08	0,01
	222,23	3,33	2,16	5,06	66,71	102,73	43,88	0,015	0,03	0,08	0,01
3	277,78	3,33	2,16	5,06	83,39	128,41	54,85	0,015	0,05	0,13	0,02
	277,78	3,33	2,16	5,06	83,39	128,41	54,85	0,015	0,05	0,13	0,02
	277,78	3,33	2,16	5,06	83,39	128,41	54,85	0,015	0,05	0,13	0,02
4	333,34	3,33	2,16	5,06	100,07	154,10	65,82	0,015	0,08	0,18	0,03
	333,34	3,33	2,16	5,06	100,07	154,10	65,82	0,015	0,08	0,18	0,03
	333,34	3,33	2,16	5,06	100,07	154,10	65,82	0,015	0,08	0,18	0,03

sumber : data pengamatan

B.3 Bilangan Reynold

Bilangan reynold dipengaruhi oleh kecepatan aliran, diameter pipa, dan viskositas kinematik.

Berikut disajikan tabel hasil perhitungan bilangan reynold dalam pipa pada masing-masing perubahan penampang pipa.

a. Pembesaran dan pengecilan penampang pipa

1. Pembesaran penampang pipa

Tabel 18. Hasil perhitungan bilangan reynold pada pembesaran penampang pipa

No.	Aa (cm ²)	Ab (cm ²)	va (cm/dt)	vb (cm/dt)	Viskositas Kinematik (cm ² /dt)	Re	
						Re a	Re b
1	2,16	3,33	77,05	50,03	0,0078255	16344,33	13170,67
	2,16	3,33	77,05	50,03	0,0078255	16344,33	13170,67
	2,16	3,33	77,05	50,03	0,0078255	16344,33	13170,67
2	2,16	3,33	102,73	66,71	0,0078255	21792,44	17560,90
	2,16	3,33	102,73	66,71	0,0078255	21792,44	17560,90
	2,16	3,33	102,73	66,71	0,0078255	21792,44	17560,90
3	2,16	3,33	128,42	83,39	0,0078255	27240,55	21951,12
	2,16	3,33	128,42	83,39	0,0078255	27240,55	21951,12
	2,16	3,33	128,42	83,39	0,0078255	27240,55	21951,12
4	2,16	3,33	154,10	100,07	0,0078255	32688,66	26341,34
	2,16	3,33	154,10	100,07	0,0078255	32688,66	26341,34
	2,16	3,33	154,10	100,07	0,0078255	32688,66	26341,34

sumber : data pengamatan

2. Pengecilan penampang pipa

Tabel 19. Hasil perhitungan bilangan reynold pada pengecilan penampang pipa

No.	Aa (cm ²)	Ab (cm ²)	va (cm/dt)	vb (cm/dt)	Viskositas Kinematik (cm ² /dt)	Re	
						Re a	Re b
1	3,33	2,16	50,03	77,05	0,0078255	13170,67	16344,33
	3,33	2,16	50,03	77,05	0,0078255	13170,67	16344,33
	3,33	2,16	50,03	77,05	0,0078255	13170,67	16344,33
2	3,33	2,16	66,71	102,73	0,0078255	17560,90	21792,44
	3,33	2,16	66,71	102,73	0,0078255	17560,90	21792,44
	3,33	2,16	66,71	102,73	0,0078255	17560,90	21792,44
3	3,33	2,16	83,39	128,42	0,0078255	21951,12	27240,55
	3,33	2,16	83,39	128,42	0,0078255	21951,12	27240,55
	3,33	2,16	83,39	128,42	0,0078255	21951,12	27240,55
4	3,33	2,16	100,07	154,10	0,0078255	26341,34	32688,66
	3,33	2,16	100,07	154,10	0,0078255	26341,34	32688,66
	3,33	2,16	100,07	154,10	0,0078255	26341,34	32688,66

sumber : data pengamatan

b. Pembesaran penampang pipa 2 tahap

Tabel 20. Hasil perhitungan bilangan reynold pada pembesaran penampang pipa 2 tahap

No.	Aa (cm ²)	Ab (cm ²)	Ac (cm ²)	va (cm/dt)	vb (cm/dt)	vc (cm/dt)	Viskositas Kinematik (cm ² /dt)	Re		
								Re a	Re b	Re c
1	2,16	3,33	5,06	77,05	50,03	32,91	0,0078255	16344,33	13170,67	10681,73
	2,16	3,33	5,06	77,05	50,03	32,91	0,0078255	16344,33	13170,67	10681,73
	2,16	3,33	5,06	77,05	50,03	32,91	0,0078255	16344,33	13170,67	10681,73
2	2,16	3,33	5,06	102,73	66,71	43,88	0,0078255	21792,44	17560,90	14242,30
	2,16	3,33	5,06	102,73	66,71	43,88	0,0078255	21792,44	17560,90	14242,30
	2,16	3,33	5,06	102,73	66,71	43,88	0,0078255	21792,44	17560,90	14242,30
3	2,16	3,33	5,06	128,42	83,39	54,85	0,0078255	27240,55	21951,12	17802,88
	2,16	3,33	5,06	128,42	83,39	54,85	0,0078255	27240,55	21951,12	17802,88
	2,16	3,33	5,06	128,42	83,39	54,85	0,0078255	27240,55	21951,12	17802,88
4	2,16	3,33	5,06	154,10	100,07	65,82	0,0078255	32688,66	26341,34	21363,45
	2,16	3,33	5,06	154,10	100,07	65,82	0,0078255	32688,66	26341,34	21363,45
	2,16	3,33	5,06	154,10	100,07	65,82	0,0078255	32688,66	26341,34	21363,45

sumber : data pengamatan

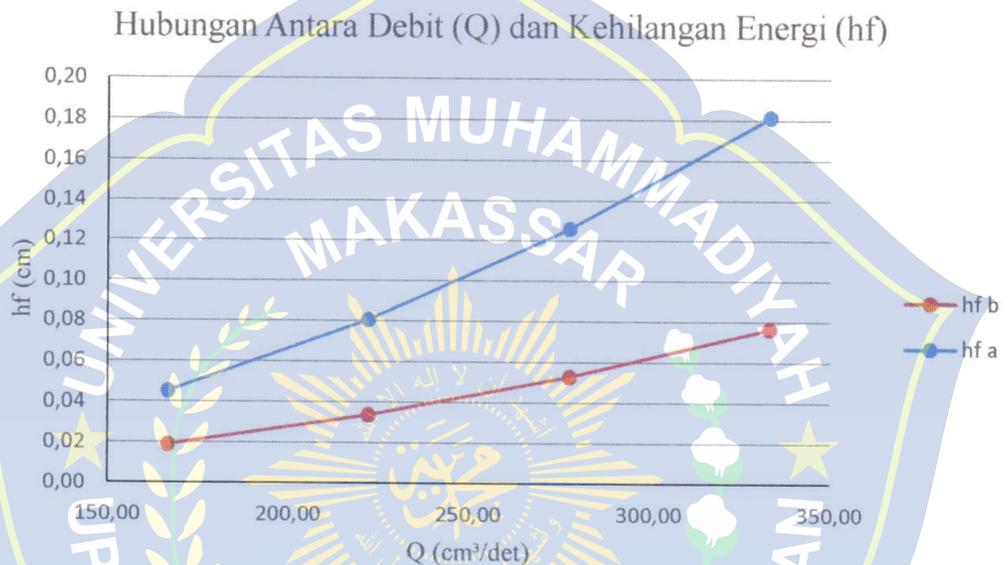
c. Kombinasi antara pembesaran dan pengecilan penampang pipa

Tabel 21. Hasil perhitungan bilangan reynold pada kombinasi antara pembesaran dan pengecilan penampang pipa

No.	Aa (cm ²)	Ab (cm ²)	Ac (cm ²)	va (cm/dt)	vb (cm/dt)	vc (cm/dt)	Viskositas Kinematik (cm ² /dt)	Re		
								Re a	Re b	Re c
1	3,33	2,16	5,06	50,03	77,05	32,91	0,0078255	13170,67	16344,33	10681,73
	3,33	2,16	5,06	50,03	77,05	32,91	0,0078255	13170,67	16344,33	10681,73
	3,33	2,16	5,06	50,03	77,05	32,91	0,0078255	13170,67	16344,33	10681,73
2	3,33	2,16	5,06	66,71	102,73	43,88	0,0078255	17560,90	21792,44	14242,30
	3,33	2,16	5,06	66,71	102,73	43,88	0,0078255	17560,90	21792,44	14242,30
	3,33	2,16	5,06	66,71	102,73	43,88	0,0078255	17560,90	21792,44	14242,30
3	3,33	2,16	5,06	83,39	128,42	54,85	0,0078255	21951,12	27240,55	17802,88
	3,33	2,16	5,06	83,39	128,42	54,85	0,0078255	21951,12	27240,55	17802,88
	3,33	2,16	5,06	83,39	128,42	54,85	0,0078255	21951,12	27240,55	17802,88
4	3,33	2,16	5,06	100,07	154,10	65,82	0,0078255	26341,34	32688,66	21363,45
	3,33	2,16	5,06	100,07	154,10	65,82	0,0078255	26341,34	32688,66	21363,45
	3,33	2,16	5,06	100,07	154,10	65,82	0,0078255	26341,34	32688,66	21363,45

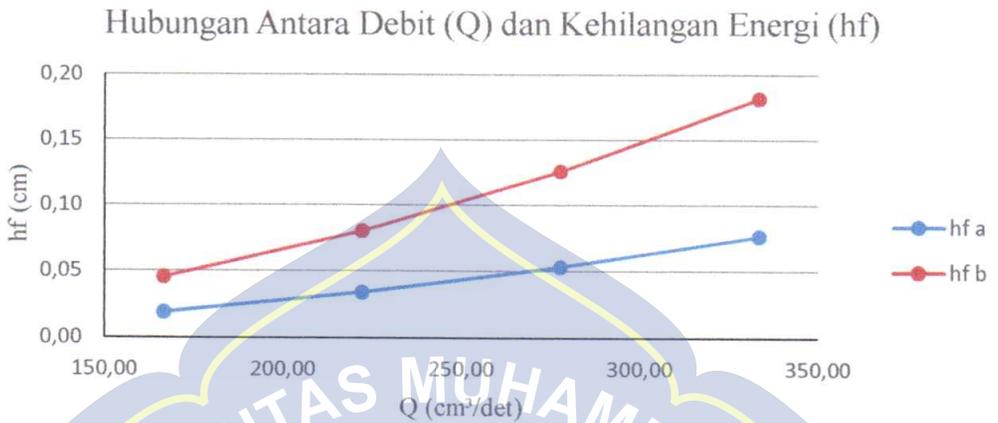
sumber : data pengamatan

Setelah semuanya dihitung, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan rata-rata dan membuat grafik hubungan antara debit dan kehilangan energi yang dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 20. Hubungan antara debit dengan kehilangan energi pada pembesaran penampang

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa kehilangan energi pada penampang a lebih tinggi dibanding penampang b. Hal ini dipengaruhi oleh diameter pipa pada penampang a lebih kecil dibanding diameter pada penampang b.



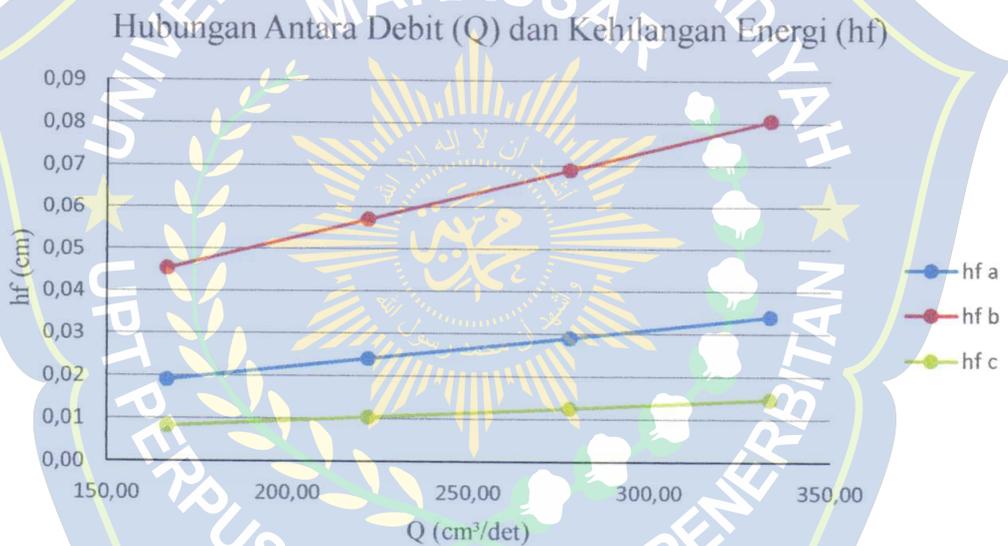
Gambar 21. Hubungan antara debit dengan kehilangan energi pada pengecilan penampang

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa kehilangan energi pada penampang b lebih tinggi dibanding penampang a. Hal ini dipengaruhi oleh diameter pipa pada penampang b lebih kecil dibanding diameter pada penampang a.



Gambar 22. Hubungan antara debit dengan kehilangan energi pada pembesaran penampang 2 tahap

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa kehilangan energi pada penampang a lebih tinggi dibanding penampang b dan kehilangan air pada penampang b lebih tinggi dibanding penampang c. Hal ini dipengaruhi oleh diameter pipa pada penampang a lebih kecil dibanding diameter pada penampang b dan diameter pada penampang b lebih kecil dibanding diameter pipa pada penampang a.



Gambar 23. Hubungan antara debit dengan kehilangan energi pada kombinasi antara pembesaran dan pengecilan penampang

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa kehilangan energi pada penampang b lebih tinggi dibanding penampang a dan kehilangan air pada penampang a lebih tinggi dibanding penampang c. Hal ini dipengaruhi oleh diameter pipa pada penampang b lebih kecil dibanding

diameter pada penampang a dan diameter pada penampang a lebih kecil dibanding diameter pipa pada penampang c.

C. Pengaruh Pembesaran dan Pengecilan Penampang Pipa Terhadap Tekanan Aliran

Dari hasil percobaan pada alat *fluid friction apparatus*, didapatkan data berupa data debit serta tekanan statis pada manometer air dan tekanan dinamik pada manometer bourden pada masing-masing perubahan penampang.

Pada pembesaran penampang, tekanan statis yang terjadi mengalami peningkatan tekanan yang disebabkan oleh terjadinya penurunan kecepatan pada penampang yang lebih besar. Sedangkan, pada pengecilan penampang tekanan statisnya mengalami penurunan karena adanya peningkatan kecepatan. Hal ini sesuai dengan penelitian Sumarli (2002) yang melakukan penelitian tekanan aliran air dalam pipa yang mengalami kontraksi mendadak.

Hal ini disebabkan karena pada pembesaran penampang kecepatan alirannya menurun, sedangkan pada pengecilan penampang kecepatan alirannya meningkat. Jadi, dapat dikatakan bahwa tekanan dinamik ekuivalen dengan kecepatan aliran.

Selain perubahan tekanan, perubahan penampang juga berpengaruh pada perubahan kehilangan energi. Pada saat pipa mengalami pembesaran penampang, kehilangan energinya semakin menurun, berbanding lurus dengan perubahan debit aliran. Sedangkan, pada pengecilan penampang terjadi peningkatan kehilangan energi.

Jenis aliran yang terjadi pada semua penampang adalah jenis aliran turbulen. Dapat kita lihat dari hasil perhitungan bilangan reynold yang semuanya menunjukkan angka >4000 . Hal ini dikarenakan tingginya kecepatan aliran yang melewati penampang pipa berdiameter relatif kecil, hanya 1,66 cm, 2,06 cm dan 2,54 cm.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pada pembesaran penampang, tekanan statisnya mengalami peningkatan sedangkan tekanan dinamikanya mengalami penurunan. Sebaliknya, pada pengecilan penampang tekanan statisnya mengalami penurunan dan tekanan dinamikanya mengalami peningkatan. Tinggi air pada manometer di penampang "a" menunjukkan angka 0,13 cm dengan debit sebesar 166,67 cm³/det, sedangkan pada penampang "b" tinggi air menunjukkan 5,10 cm. Pada penampang "a" manometer bourden menunjukkan angka 130 gram/cm² dengan debit sebesar 166,67 cm³/det, sedangkan pada penampang "b" manometer bourden menunjukkan angka 110 gram/cm².
2. Kehilangan energi yang terjadi pada diameter pipa kecil lebih besar dibanding kehilangan energi yang terjadi pada diameter pipa yang lebih besar. Sebaliknya, kehilangan energi pada pipa besar lebih kecil dibanding kehilangan energi yang terjadi pada pipa yang lebih kecil. Pada pipa berdiameter 1,66 cm, h_f minimum = 0,05 cm dan h_f maximum = 0,18 cm. Pada pipa berdiameter 2,06

cm, hf minimum = 0,02 cm dan hf maximum = 0,08 cm. Pada pipa berdiamater 2,54 cm, hf minimum = 0,01 cm dan hf maximum = 0,03 cm.

B. Saran

1. Dari penelitian ini, kami menyarankan perawatan alat agar lebih diperhatikan agar kiranya dapat digunakan lebih baik dan optimal. Penyediaan tempat khusus juga perlu diperhatikan agar pada saat pelaksanaan penelitian tidak mengganggu aktivitas lain di laboratorium Fakultas Teknik.
2. Untuk kedepannya, penelitian ini dapat diterapkan pada mata kuliah Hidrolika dan Mekanika Fluida, baik dalam bentuk praktikum Laboratorium maupun dalam bentuk teori.
3. Untuk penelitian selanjutnya, kami menyarankan variasi debitnya ditambah dari yang kami gunakan dan pengujian pada pipa belokan serta jarak antara setiap penampang yang digunakan agar hasil yang diperoleh lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Harjanta Yudi, 2003, *Eksperimen Kehilangan Tenaga Aliran Akibat Koefisien Gesek Pipa*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Helmizar, 2011, Studi Eksperimental Tentang Head loss pada Aliran Fluida yang melalui Elbow 90o, *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra M*, Vol. 5 no. 1, Hal. 26-31.
- Kodoatie, R.J. dkk (2002), *Banjir, Beberapa Penyebab dan Metode Pengendaliannya dalam Perspektif Lingkungan*, Cetakan I, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Kurniawan, A. (2016). Studi Distribusi Tekanan Aliran Melalui Pengecilan penampang, *17(1)*, 8–22.
- Muhajir .K, 2009, Karakteristik Aliran Fluida Gas-Cair melalui Pipa *sudden contraction* *Jurnal Teknologi*, Volume 2 Nomor2, p: 176-184
- Nurcholis, 2008, hasil Penelitian Perhitungan Laju Aliran Fluida Pada Jaringan Pipa Vol. 7 Juni 2008 ISSN; *Jurnal Unimus*, P:1693-3451
- Soedrajat, S. (1983). *Mekanika Fluida dan Hidroliks*. Bandung.
- Stephenson. D.J (1984). *PipeFlow Analysis*, United States of America.
- Sumarli, 2000, *Studi aliran dua fase gas-cair melewati pengecilan saluran secara mendadak penampang segi empat*, Tesis S-2, Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Triatmojo Bambang, (1993), *Mekanika Fluida*, Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Triatmojo Bambang, 1996, *Hidrolika I*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Victor L. Streeter dan E. Benjamin Wylie. (1996). *Mekanika Fluida Edisi Delapan*, Jilid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Waspodu. (2017). Analisa Head Loss Sistem Jaringan Pipa pada Sambungan Pipa Kombinasi Diameter Berbeda. *Jurnal Suara Teknik*, 04(01).