SKRIPSI

ANALISIS KARAKTERISTIK ALIRAN AIR MELALUI SISTEM PERPIPAAN DALAM BERBAGAI MODEL LOOP

MUH. FAHREZA
D021 22 1001



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN GOWA
2026

SKRIPSI

ANALISIS KARAKTERISTIK ALIRAN AIR MELALUI SISTEM PERPIPAAN DALAM BERBAGAI MODEL LOOP

Disusun dan diajukan oleh:

MUH. FAHREZA D021 22 1001

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN GOWA
2026

ANALISIS KARAKTERISTIK ALIRAN AIR MELALUI SISTEM PERPIPAAN DALAM BERBAGAI MODEL LOOP

MUH. FAHREZA

D021 221 001

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Teknik Mesin

Pada

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2026

SKRIPSI

ANALISIS KARAKTERISTIK ALIRAN AIR MELALUI SISTEM PERPIPAAN DALAM BERBAGAI MODEL LOOP

MUH. FAHREZA
D021 22 1001

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian pada 15 Juni 2026
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada

Program Studi Teknik Mesin
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan:
Pembimbing Utama,

Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, MT
NIP. 19591220 198601 1 001

Mengetahui:
Ketua Program Studi,

Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT
NIP. 19770707 200511 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "analisis karakteristik aliran air melalui sistem perpipaan dalam berbagai model loop" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, MT sebagai pembimbing pada penelitian ini. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 17-JUNI 2026



Muh. Fahreza
D021 22 1001

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat, karunia, dan kasih sayang-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) pada Program Studi Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa perjalanan yang dilalui tidak selalu berjalan dengan mudah. Berbagai kendala dan tantangan, baik secara teknis maupun nonteknis, kerap dihadapi. Namun, berkat bimbingan, dukungan, doa, serta kerja sama dari berbagai pihak, seluruh hambatan tersebut dapat dilalui dengan baik hingga skripsi ini dapat diselesaikan. Oleh karena itu, pada kesempatan ini Penulis dengan tulus mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Keluarga merupakan tempat pertama penulis belajar tentang arti perjuangan, ketulusan, pengorbanan, dan kasih sayang. Dalam setiap langkah yang penulis tempuh hingga mampu menyelesaikan pendidikan ini, keluarga selalu menjadi sumber kekuatan, motivasi, serta tempat kembali ketika menghadapi berbagai tantangan dan kesulitan. Dukungan, doa, dan perhatian yang diberikan menjadi penyemangat bagi penulis untuk terus berusaha dan tidak menyerah dalam mencapai cita-cita. Secara khusus, karya ini penulis persembahkan kepada Ibu tercinta, Dahlia. Terima kasih atas segala cinta, kasih sayang, doa, serta pengorbanan yang telah Ibu berikan tanpa mengenal lelah. Ibu adalah sosok yang selalu hadir memberikan dukungan dan semangat dalam setiap keadaan. Ketulusan, kesabaran, dan perjuangan Ibu menjadi inspirasi terbesar bagi penulis untuk terus berjuang dan menyelesaikan pendidikan ini dengan sebaik-baiknya. Penulis menyadari bahwa setiap pencapaian yang diraih hingga saat ini tidak terlepas dari doa dan usaha yang Ibu panjatkan. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat, bangga, dan kasih sayang, skripsi ini penulis persembahkan sebagai ungkapan terima kasih yang tulus kepada Ibu atas segala pengorbanan dan cinta yang tidak akan pernah mampu terbalaskan sepenuhnya. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada saudara, Anugrah Indah, yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi, dan semangat selama perjalanan akademik ini. Kehadiran dan perhatian yang diberikan menjadi salah satu kekuatan bagi penulis untuk terus melangkah hingga mencapai tahap penyelesaian skripsi ini. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan kesehatan, kebahagiaan, dan keberkahan kepada keluarga tercinta atas segala kebaikan yang telah diberikan kepada penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Ir., Nasaruddin Salam, M.T sebagai Pembimbing penulis dan juga menjadi orang tua kedua di lingkungan kampus yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, petunjuk dan saran selama Penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Alm. Bapak Prof. Dr. Ir. Luther Sule, MT, Bapak Gerard Antonini Duma, ST.,MT dan Bapak Fauzan, ST., MT., selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu memberikan bimbingan, petunjuk dan saran sehingga Penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT sebagai Ketua Departemen Teknik

Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta Staff Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan dan kemuhadan yang diberikan.

5. Bapak dan Ibu dosen pengajar Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala ilmu yang telah diberikan.
6. Kanda-kanda senior yang telah memberikan dukungan motivasi serta pengalaman yang berkesan untuk penulis. Kehadiran kanda-kanda senior tidak hanya menjadi sumber inspirasi, tetapi juga memberikan banyak kenangan dan pembelajaran yang akan selalu penulis ingat dalam perjalanan ke depan.
7. Saudara seperjuangan NOZZLE 22 yang telah membersamai penulis dalam berproses dalam melalui banyak suka duka dari mahasiswa baru hingga sekarang dan banyak membantu penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini. Penulis juga sangat menghargai segala bantuan, perhatian, dan kerja sama yang diberikan selama proses penyusunan tugas akhir ini. Semoga ikatan persaudaraan yang telah terbangun dapat terus terjaga dan menjadi kenangan indah yang akan selalu dikenang di masa mendatang.
8. HMM FT-UH yang telah menjadi bagian penting dalam perjalanan selama menempuh pendidikan di perguruan tinggi. Organisasi ini tidak hanya menjadi tempat untuk berproses dan berkontribusi, tetapi juga menjadi ruang bagi penulis untuk mengembangkan kemampuan, memperluas wawasan, serta membangun relasi yang berharga. Berbagai pengalaman yang diperoleh selama berorganisasi memberikan banyak pelajaran mengenai kepemimpinan, kerja sama, kedisiplinan, dan tanggung jawab. Kehadiran HMM FT-UH telah memberikan warna tersendiri dalam kehidupan perkuliahan serta membantu membentuk karakter penulis menjadi pribadi yang lebih dewasa dan siap menghadapi tantangan di masa depan.
9. Penulis juga ingin memberikan apresiasi dan rasa terima kasih kepada diri sendiri atas segala usaha, kesabaran, dan keteguhan yang telah diberikan selama berproses di Teknik Area 09 hingga sampai tahap penyelesaian skripsi ini. Perjalanan yang dilalui tidak selalu berjalan sesuai harapan. Berbagai dinamika-dinamika tantangan, hambatan, serta keraguan kerap hadir dan menjadi bagian dari proses yang harus dihadapi. Namun, di tengah berbagai kesulitan tersebut, penulis memilih untuk terus berjuang dan tidak berhenti melangkah. Setiap kegagalan menjadi pelajaran serta pengalaman, dan setiap tantangan menjadi kesempatan untuk tumbuh menjadi pribadi yang lebih baik. Proses ini mengajarkan bahwa keberhasilan bukan hanya tentang mencapai tujuan akhir, melainkan juga tentang kemampuan untuk bertahan, bangkit, dan terus berusaha ketika keadaan tidak berjalan sebagaimana yang diinginkan. Penyelesaian skripsi ini menjadi bukti bahwa kerja keras, konsistensi, dan keyakinan mampu mengantarkan seseorang melewati berbagai keterbatasan. Terima kasih karena telah tetap percaya pada diri sendiri, berani menghadapi ketidakpastian, serta tidak menyerah meskipun jalan yang ditempuh sering kali terasa berat. Semoga pencapaian ini menjadi pengingat bahwa setiap proses memiliki makna, dan setiap langkah yang dilalui merupakan bagian dari perjalanan untuk menjadi pribadi yang lebih kuat, lebih bijaksana, dan lebih siap menghadapi masa depan. Akhir kata BRAVO TEKNIK BRAVO MEZIN SOLIDARITY FOREVER.

ABSTRAK

MUH. FAHREZA, *Analisis Karakteristik Aliran Air Melalui Sistem Perpipaan Dalam Berbagai Model Loop* (dibimbing oleh Nasaruddin Salam).

Dalam penggunaan sistem perpipaan sering memiliki berbagai jenis sambungan dan konfigurasi aliran, seperti belokan, percabangan, sambungan tee, elbow, serta model loop yang berbeda, sehingga dapat menimbulkan kerugian energi pada aliran. Oleh karena itu, analisis karakteristik aliran pada berbagai model loop menjadi penting untuk mengetahui pengaruh konfigurasi sistem terhadap performa aliran air.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis karakteristik aliran air yang melalui sistem perpipaan dalam berbagai model loop serta mengetahui hubungan antara debit aliran, bilangan Reynolds, kehilangan tekanan, dan koefisien kerugian pada masing-masing model. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan menggunakan 3 variasi model loop perpipaan yang memiliki perbedaan jumlah elbow, dan tee. Data penelitian diperoleh melalui pengukuran debit aliran, tekanan diferensial, serta perhitungan bilangan Reynolds dan nilai koefisien kerugian pada setiap model

Tahapan penelitian meliputi identifikasi masalah, studi literatur, perancangan instalasi pengujian, pengambilan data, analisis hasil, serta penarikan kesimpulan dan saran.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap model loop memberikan karakteristik aliran yang berbeda, dimana model loop 1 memiliki nilai rata-rata debit 0,6462, nilai bilangan Reynolds 32720,486, nilai penurunan tekanan 1824,413 dan nilai koefisien kerugian 2,144 sedangkan model loop 2 memiliki nilai rata-rata debit 0,6089, nilai bilangan Reynolds 30839,712, nilai penurunan tekanan 2399,756 dan nilai koefisien kerugian 3,216 dan model loop 3 memiliki nilai rata-rata debit 0,5580, nilai bilangan Reynolds 28284,052, nilai penurunan tekanan 3582,081 dan nilai koefisien kerugian 5,705. Jadi model loop dengan jumlah sambungan dan belokan yang lebih banyak menghasilkan nilai kehilangan tekanan dan koefisien kerugian yang lebih besar.

Kata Kunci: model loop, debit aliran, bilangan Reynolds, penurunan tekanan, koefisien kerugian.

ABSTRACT

MUH. FAHREZA, Analysis of Water Flow Characteristics Through Piping Systems in Various Loop Models (supervised by Nasaruddin Salam).

In piping systems, various types of connections and flow configurations are commonly used, such as bends, branches, tee joints, elbows, and different loop models. These variations can lead to energy losses in the flow. Therefore, analyzing flow characteristics in different loop models is important to understand the influence of system configuration on water flow performance.

The purpose of this study is to analyze the characteristics of water flow through piping systems in various loop models and to determine the relationship between flow rate, Reynolds number, pressure loss, and loss coefficient in each model. This research was conducted experimentally using three variations of piping loop models with different numbers of elbows and tee joints. The research data were obtained through measurements of flow rate, differential pressure, as well as calculations of Reynolds number and loss coefficient for each model.

The research stages include problem identification, literature study, design of the testing installation, data collection, result analysis, and drawing conclusions and recommendations.

The results show that each loop model produces different flow characteristics. Loop model 1 has an average flow rate of 0.6462, a Reynolds number of 32,720.486, a pressure drop of 1824.413, and a loss coefficient of 2.144. Loop model 2 has an average flow rate of 0.6089, a Reynolds number of 30,839.712, a pressure drop of 2399.756, and a loss coefficient of 3.216. Meanwhile, loop model 3 has an average flow rate of 0.5580, a Reynolds number of 28,284.052, a pressure drop of 3582.081, and a loss coefficient of 5.705. Thus, loop models with a greater number of fittings and bends produce higher pressure losses and loss coefficients.

Keywords: loop model, flow rate, Reynolds number, pressure drop, loss coefficient.

DAFTAR ISI

SKRIPSI ..... **i**
SKRIPSI ..... **ii**
HALAMAN PENGESAHAN ..... **iv**
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA ..... **v**
KATA PENGANTAR ..... **vi**
ABSTRAK ..... **viii**
ABSTRACT ..... **ix**
DAFTAR ISI ..... **x**
DAFTAR TABEL ..... **xii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xiii**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang **1**
1.2 Rumusan Masalah **3**
1.3 Tujuan Penelitian **3**
1.4 Manfaat Penelitian **3**
1.5 Batasan Masalah **3**
1.6 Teori **4**
1.6.1 Dasar-Dasar Mekanika Fluida 4
1.6.2 Jenis-Jenis Aliran 5
1.6.3 Sifat Fisik Fluida 7
1.6.4 Kerugian Pada Aliran (Head Loses) 11
1.6.5 Rangkaian Aliran Pipa 16
1.6.6 Metode Hardy Cross 17
1.6.7 Multiple Pipe Systems 20
BAB II METODOLOGI DAN PENELITIAN **25**
2.1 Tempat dan Waktu Penelitian **25**
2.2 Langkah-langkah Penelitian **25**
2.3 Alat Dan Bahan **27**
2.4 Prosedur Penelitian **28**
2.5 Alat Penelitian **29**
2.6 Gambar Benda Uji **30**

BAB III 32
HASIL DAN PEMBAHASAN 32
3.1 Hasil 32
3.1.1 Debit Aliran pada Variasi Bukaan Valve 33
3.1.2 Hubungan Kecepatan Aliran dan Debit Aliran 34
3.1.3 Hubungan Bilangan Reynolds dan Debit Aliran 35
3.1.4 Hubungan Tekanan Diferensial dan Debit Aliran Pada Berbagai Model Loop 37
3.1.5 Hubungan Koefisien Kerugian dan Debit Aliran 39
3.1.6 Perbandingan Koefisien Kerugian Teori dan Eksperimen 40
3.2 Pembahasan 44
3.2.1 Debit Aliran pada Variasi Bukaan Valve 44
3.2.2 Hubungan Kecepatan Aliran dan Debit Aliran 45
3.2.3 Hubungan Bilangan Reynolds dan Debit Aliran 45
3.2.4 Hubungan Tekanan Diferensial dan Debit Aliran 46
3.2.5 Hubungan Koefisien Kerugian dan Debit Aliran 47
3.2.6 Perbandingan Koefisien Kerugian Teori dan Eksperimen 48
BAB IV PENUTUP 50
4.2 Saran 51
DAFTAR PUATAKA 52
LAMPIRAN 54

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data hasil eksperimen model loop 1, model loop 2 dan model loop 3 32
Tabel 3.2Data debit aliran pada variasi bukaan *valve* 33
Tabel 3.3Data kecepatan aliran pada debit aliran 34
Tabel 3.4 Data hubungan bilangan Reynolds dan debit aliran 36
Tabel 3.5 Data hubungan tekanan diferensial dan debit aliran 37
Tabel 3.6 Data hubungan koefisien kerugian dan debit aliran 39
Tabel 3.7 Data perbandingan koefisien kerugian teori dan eksperimen 40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Aliran Laminar (Cengel & Cimbala, 2006) 6
Gambar 1.2 Aliran Turbulen (Cengel & Cimbala, 2006) 6
Gambar 1.3 Aliran Transisi (Cengel & Cimbala, 2006) 7
Gambar 1.4 Tekanan adalah sama di setiap arah dalam suatu fluida pada kedalaman tertentu jika tidak demikian maka fluida akan bergerak (Wibowo, 2013). 8
Gambar 1.5 Tabel Loss Coefficients 13
Gambar 1.6 Diagram Moody (Sumber: Munson et al., 2013) 16
Gambar 1.7 Pipa seri (Cengel & Cimbala, 2006) 17
Gambar 1.8 Pipa paralel (Cengel & Cimbala, 2006) 17
Gambar1. 9 Contoh suatu sistem jaringan pipa 18
Gambar 1.10 (a) Series dan Parallel Pipe Systems Menurut (Munson et al. 2013) 20
Gambar 1.11 Multiple-pipe loop system. (Munson et al. 2013) 21
Gambar 1.12 A threereservoir system. (Munson et al. 2013) 22
Gambar 1.13 A general pipe network. 23
Gambar 2.1 Busur derajat 27
Gambar 2.2 Kunci Pompa 27
Gambar 2.3 Reservoir 28
Gambar 2.4 Pipa PVC ½ inchi 28
Gambar 2.5 Alat Penelitian 29
Gambar 2.6 Model Loop 1 30
Gambar 2.7 Model Loop 2 30
Gambar 2.8 Model Loop 3 30
Gambar 3.1 Grafik debit aliran pada variasi bukaan *valve* 33
Gambar 3.2 Grafik hubungan kecepatan aliran dengan debit aliran 35
Gambar 3.3Grafik hubungan bilangan Reynolds dengan debit aliran 36
Gambar 3.4 Grafik hubungan tekanan diferensial dan debit aliran 38
Gambar 3 5 Grafik pengaruh model loop terhadap nilai tekanan differensial ... 38
Gambar 3.6 Grafik hubungan koefisien kerugian dan debit aliran 39
Gambar 3.7 Grafik perbandingan koefisien kerugian secara teori dan secara eksperimen pada pembukaan *valve* 50% pada tiap model loop 41
Gambar 3.8 Grafik perbandingan koefisien kerugian secara teori dan secara eksperimen pada pembukaan *valve* 60% pada tiap model loop 41
Gambar 3.9 Grafik perbandingan koefisien kerugian secara teori dan secara eksperimen pada pembukaan *valve* 70% pada tiap model loop 42
Gambar 3.10 Grafik perbandingan koefisien kerugian secara teori dan secara eksperimen pada pembukaan *valve* 80% pada tiap model loop 42
Gambar 3.11 Grafik perbandingan koefisien kerugian secara teori dan secara eksperimen pada pembukaan *valve* 90% pada tiap model loop 43
Gambar 3.12 Grafik perbandingan koefisien kerugian secara teori dan secara eksperimen pada pembukaan *valve* 100% pada tiap model loop 43

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mekanika fluida merupakan salah satu operasi teknik kimia yang mempelajari fenomena dari fluida dalam kondisi bergerak maupun diam. Perkembangan teknologi saat ini tidak terlepas dari perkembangan ilmu mekanika fluida. Salah satu teknologi yang menggunakan konsep tentang aliran fluida adalah sistem perpipaan.

Sistem perpipaan merupakan bagian dari transportasi fluida yang digunakan sebagai sarana untuk mengalirkan suatu fluida dari satu tempat ke tempat yang lain akibat adanya berbedaan tekanan atau perbedaan ketinggian. Prinsip kerja dari pipa adalah mengalirkan sebuah fluida dari satu tempat ke tempat lain. Sistem Perpipaan adalah suatu sistem rangkaian yang terdiri dari pipa dan fitting. Pada umumnya sistem perpipaan digunakan untuk memindahkan fluida dari suatu tempat ke tempat lainnya guna mendukung bekerjanya suatu sistem yang lebih kompleks (Wibowo, 2013).

Dikarenakan masih efisiennya penggunaan sistem perpipaan terutama pada instalasi yang panjang sehingga hal tersebut juga perlu diperhatikan. Penambahan *pressure* yang terjadi pada instalasi perpipaan pada jalur yang cukup jauh maka perlu diberikan suatu sistem agar menjaga sistem tersubut dalam kondisi *design.*

Kebanyakan sistem perpipaan yang ditemui dalam praktek seperti sistem distribusi air di kota-kota atau perusahaan komersial atau perumahan melibatkan banyak sambungan paralel dan seri. Proyek perpipaan mungkin melibatkan desain sistem baru atau perluasan sistem yang sudah ada. Tujuan rekayasa dalam proyek-proyek tersebut adalah untuk merancang sistem perpipaan yang dapat menyalurkan laju aliran tertentu secara andal pada tekanan tertentu dengan biaya total minimum (awal ditambah pengoperasian dan pemeliharaan). Sistem perpipaan biasanya melibatkan beberapa pipa yang dihubungkan satu sama lain secara seri dan paralel.

Ketika pipa-pipa dihubungkan secara seri, laju aliran melalui seluruh sistem tetap konstan terlepas dari diameter masing-masing pipa dalam sistem. Hal ini merupakan konsekuensi alami dari kekekalan prinsip massa untuk aliran tak mampat tunak. Total kerugian *head* dalam hal ini sama dengan jumlah kerugian *head* pada masing-masing pipa dalam sistem, termasuk kerugian kecil. Untuk pipa yang bercabang menjadi dua atau lebih pipa paralel dan kemudian bergabung kembali pada persimpangan di bagian hilir, laju aliran total adalah jumlah dari laju aliran dalam masing-masing pipa. Oleh karena itu, laju aliran relatif pada pipa paralel ditentukan berdasarkan persyaratan bahwa *head loss* pada setiap pipa harus sama. Hasil ini dapat diperluas ke sejumlah pipa yang dihubungkan secara paralel. Hasil ini juga berlaku untuk pipa-pipa yang rugi-rugi

kecilnya signifikan jika panjang ekuivalen untuk komponen-komponen yang menyumbang kerugian-kerugian kecil ditambahkan pada panjang pipa *(Cengel & Cimbala, 2006).*

Fluida sering kali mengalami kehilangan energi (*head loss*) di dalam pipa karena adanya turbulensi aliran yang mengakibatkan gesekan di permukaan pipa bagian dalam. *Head loss* sangat merugikan dalam sistem perpipaan karena dapat menurunkan tingkat efisiensi aliran fluida. Head loss dipengaruhi oleh variasi belokan (*elbow*), sambungan, katub (*valve*), dan diameter pipa.

Yang paling utama dalam beberapa sistem perpipaan adalah jaringan pipa. Jaringan perpipaan terjadi dalam sistem distribusi air kota dan sistem yang lain yang mungkin memiliki banyak saluran masuk dan saluran keluar. Arah alirah berbagai pipa tidak jelas, bahkan dapat berubah seiring berjalannya waktu, tergantung bagaimana sistem tersebut digunakan dari waktu ke waktu. Pemecahan masalah jaringan pipa sering digunakan dengan menggunakan model loop yang dalam banyak hal serupa dengan dilakukan pada rangkaian listrik. Misalnya, persamaan kontinuitas mensyaratkan bahwa untuk setiap simpul (persimpangan dua pipa atau lebih) laju aliran bersihnya adalah nol. Apa yang mengalir ke dalam suatu loop harus mengalir keluar dengan kecepatan yang sama. Selain itu, perbedaan tekanan bersih seluruhnya di sekitar suatu operasi (mulai dari satu lokasi di dalam pipa dan kembali ke lokasi tersebut) harus nol. Dengan menggabungkan ide-ide ini dengan persamaan *head loss* dan aliran pipa biasa, aliran di seluruh jaringan bisa didapat Nastain dan Suroso (2005).

Jaringan pipa dalam sistem distribusi fluida, seperti distribusi air perkotaan, umumnya terdiri dari banyak titik masuk (inlet) dan keluar (outlet) dengan arah aliran yang tidak selalu diketahui secara pasti dan dapat berubah seiring waktu. Kondisi ini menyebabkan analisis aliran dalam jaringan menjadi lebih kompleks dibandingkan sistem pipa sederhana. Oleh karena itu, diperlukan metode analisis yang sistematis untuk menentukan distribusi aliran dalam jaringan tersebut. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan adalah model loop, yang didasarkan pada prinsip keseimbangan energi dalam suatu lintasan tertutup (loop) serta persamaan kontinuitas pada setiap simpul (node), di mana jumlah aliran masuk harus sama dengan aliran keluar. Dengan mengombinasikan kedua prinsip tersebut, distribusi aliran dalam jaringan pipa dapat ditentukan (Munson et al., 2013).

Dalam permasalan kerugian aliran akibat arah aliran pipa tidak jelas yang dapat menyebabkan kehilangan energi (*head loss*). Oleh karena itu, maka dilakukan penelitian **"Analisis Karakteristik Aliran Air Melalui Sistem Perpipaan Pada Berbagai Model Loop"**. Dengan melakukan analisis karakteristik dari beberapa model loop yang sering digunakan pada sistem distribusi air di kota-kota atau perumahan, kita dapat menghitung *head loss* atau kerugian dari tiap model loop sehingga dapat menghindari kerugian yang dapat dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, ada beberapa permasalahan yang dapat ditemukan adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh debit aliran terhadap nilai koefisien kerugian pada berbagai model loop?
2. Bagaimana pengaruh berbagai model loop terhadap nilai koefisien kerugian?
3. Bagaimana hubungan antara debit aliran dan koefisien kerugian pada berbagai model loop berdasarkan hasil eksperimen dan teori?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan pengaruh debit aliran terhadap nilai koefisien kerugian pada berbagai model loop.
2. Menentukan pengaruh berbagai model loop terhadap nilai koefisien kerugian.
3. Menganalisi hubungan antara debit aliran dan koefisien kerugian pada berbagai model loop berdasarkan hasil eksperimen dan teori.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini diharapkan dapat menambahkan ilmu pengetahuan mengenai penggunaan dan pengaruh karakteristik aliran air pada berbagai model loop dan dapat mengaplikasikan ilmu dan keterampilan yang diperoleh pada masa kuliah.
2. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan literatur dan referensi dalam penelitian selanjutnya yang memiliki kaitan dengan system perpipaan pada berbagai model loop.
3. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi kepada para insinyur teknik (*engineer*) terhadap tantangan permasalahan sistem distribusi air di kota-kota, perumahan dan perusahaan komersial.

1.5 Batasan Masalah

Adapun Batasan-batasan masalah yang ada didalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Material pipa yang digunakan adalah PVC.
2. Jenis fluida yang digunakan adalah air.
3. Model loop yang digunakan ada tiga.
4. Menggunakan 6 tingkat debit aliran.
5. Nilai Koefisien Kerugian sebagai perbandingan teori diambil dari buku Cengel dan Cimbala (2006) pada table 8-4 *Loss Coefficients*

1.6 Teori

1.6.1 Dasar-Dasar Mekanika Fluida

Pada masa prasejarah, kebudayaan-kebudayaan kuno sudah memiliki pengetahuan yang cukup untuk memecahkan persoalan-persoalan aliran tertentu. Sebagai contoh perahu layar yang sudah dilengkapi dengan dayung dan sistem pengairan untuk pertanian sudah dikenal pada masa itu. Pada abad ketiga sebelum Masehi, Archimedes dan Hero dari Iskandariah, memperkenalkan hukum jajaran genjang untuk penjumlahan vektor. Selanjutnya Archimedes (285-212 SM) merumuskan hukum apung dan menerapkannya pada benda-benda terapung atau melayang, dan juga memperkenalkan bentuk kalkulus differensial sebagai bagian dari analisisnya (Nastain & Suroso, 2005).

Sejak permulaan Masehi sampai zaman Renaissance terus menerus terjadi perbaikan dalam rancangan sistem-sistem aliran, seperti: kapal, saluran, dan talang air. Akan tetapi tidak ada bukti-bukti adanya perbaikan yang mendasar dalam analisis alirannya. Akhirnya kemudian Leonardo da Vinci (1452-1519) menjabarkan persamaan kekekalan massa dalam aliran tunak satu-dimensi. Leonardo da Vinci adalah ahli ekspremen yang ulung, dan catatan-catatannya berisi diskripsi yang seksama tentang gelombang, jet atau semburan, loncatan hidraulik, pembentukan pusaran, dan rancangan-rancangan seretan-rendah (bergaris-alir) serta seretan-tinggi (parasut). Galileo (1564-1642) memperkenalkan beberapa hukum tentang ilmu mekanika. Seorang Perancis, Edme Moriotte (1642 1684) membangun terowongan angin yang pertama dan menguji model-model di dalamnya (Nastain & Suroso, 2005).

Fluida adalah sebuah zat yang dapat mengalir dan dapat berubah bentuk secara terus-menerus jika terkena tekanan atau gaya geser. Fluida juga merupakan zat yang merujuk kepada zat cair (cairan) dan gas (uap). Banyak yang mengira kalau gas bukan termasuk fluida, padahal gas seperti angin dikategorikan sebagai fluida karena karakteristiknya (Suryanto & Bakhri, 2023).

Mekanika adalah cabang ilmu yang menelaah hal-hal yang berkaitan dengan gaya dan gerakan. Fluida adalah zat yang berada dalam keadaan cair (liquid) dan gas. Zat cair adalah zat yang untuk jumlah massa tertentu akan memiliki volume tertentu yang tidak tergantung pada bentuk benda dimana zat cair tersebut ditempatkan. Untuk mengukur volume zat cair biasanya dilakukan dengan mengukur volume kontainer dimana zat cair itu berada. Namun volume yang sebenarnya hanyalah sesuai jumlah yang mengisi kontainer tersebut. Jika volumenya lebih kecil dari kontainer, maka akan terbentuk permukaan bebas; misalnya pada danau dan tandon yang tidak terisi penuh. Sebaliknya, gas dengan jumlah massa tertentu bisa memiliki volume yang bervariasi sesuai dengan wadah dimana gas itu berada. Gas akan mengisi dan memenuhi seluruh wadah dimana gas berada (Ghurri, 2014).

Mekanika fluida merupakan ilmu yang mempelajari keseimbangan dan gerakan zat cair maupun gas, serta gaya tarik dengan benda-benda disekitarnya

atau yang dilalui saat mengalir. Fluida dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu zat cair dan gas. Perbedaan antara keduanya juga bersifat teknis, yaitu berhubungan dengan akibat gaya kohesif. Zat cair terdiri atas molekul-molekul tetap dan rapat dengan gaya kohesif yang relatif kuat, sehingga cenderung mempertahankan volumenya dan akan membentuk permukaan bebas yang rata dalam medan gravitasi. Sebaliknya gas, karena terdiri dari molekul-molekul yang tidak rapat dengan gaya kohesif yang cukup kecil (dapat diabaikan) (Negara, 2014).

Mekanika fluida melihat semua bahan hanya terdiri atas dua keadaan saja, yaitu fluida dan zat padat. Secara teknis perbedaannya terletak pada reaksi kedua zat tersebut terhadap tegangan geser atau tegangan singgung yang dialaminya. Zat padat dapat menahan tegangan geser dengan deformasi yang tetap (static), sedangkan fluida, betapapun kecilnya tegangan geser yang diberikan, akan menyebabkan fluida itu begerak. Fluida itu bergerak dan berubah bentuk secara terus-menerus selama tegangan geser itu bekerja. Oleh karena itu fluida yang diam (hydrostatic) berarti dalam keadaan tegangan gesernya nol (Nastain & Suroso, 2005).

Fluida didefinisikan sebagai zat yang berdeformasi terus-menerus selama dipengaruhi suatu tegangan geser. Sebuah tegangan geser terbentuk apabila sebuah gaya tangensial bekerja pada sebuah permukaan. Apabila benda-benda padat biasa seperti baja atau logam-logam lainnya dikenai oleh suatu tegangan geser, mula-mula benda ini akan berdeformasi (biasanya sangat kecil, tetapi tidak akan terus-menerus berdeformasi atau mengalir). Namun cairan yang biasa seperti air dan minyak, serta gas seperti udara memenuhi definisi dari sebuah fluida. Artinya, zat-zat akan mengalir apabila pada zat tersebut bekerja sebbuah tegangan geser (Salam dan Tarakka, 2021).

Fluida dapat dibedakan atas zat cair dan gas. Dimana kedua zat ini pun berbeda secara teknis akibat gaya kohesif. Zat cair cenderung mempertahankan volumenya dan akan membutuhkan permukaan bebas dalam medan gravitasi. Aliran muka bebas sangat dipenuhi efek gravitasi sedangkan zat gas akan memuai dengan bebas sampai tertahan oleh dinding yang membatasinya. Gas tersebut akan membentuk atmosfer yang pada hakekatnya akan bersifat hidrostatik (Zainudin et. al., 2012).

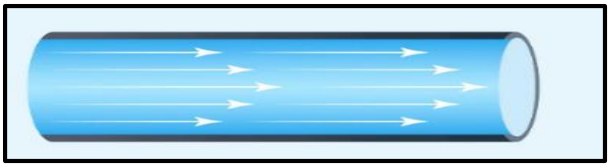
1.6.2 Jenis-Jenis Aliran

1. Aliran Laminar

Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran fluida yang bergerak dengan lapisan-lapisan (lamina-lamina) yang melewati suatu wadah dengan lapisan yang bersebelahan saling bertukar momentum. (Wibowo, 2013).

Beberapa gerakan aliran yang sangat teratur ditandai dengan lapisan fluida yang halus biasanya disebut laminar. Kata laminar ini berasal dari Gerakan partikel fluida yang berdekatan secara Bersama sama dalam sebuah “laminasi”.

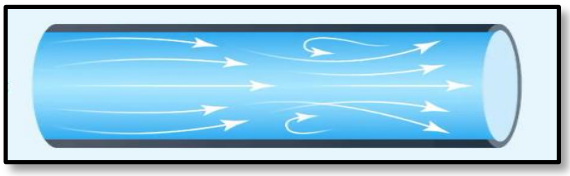
Oli merupakan aliran yang memiliki viskositas tinggi pada kecepatan rendah biasanya bersifat laminar.



Gambar 1.1 Aliran Laminar (Cengel & Cimbala, 2006)

2. Aliran Turbulen

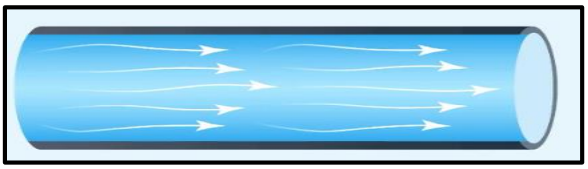
Dalam aliran turbulen, partikel-partikel fluida yang bergerak pada lintasan-lintasan yang sangat tidak teratur, dengan mengakibatkan suatu pertukaran momentum dari satu bagian fluida ke bagian lainnya. Aliran turbulen bisa dapat berskala kecil yang terdiri dari sejumlah besar pusaran kecil yang cepat sehingga dapat mengubah energi mekanik menjadi ketidakmampubalikan melalui kerja viskos, atau dapat berskala besar seperti aliran yang melingkar atau vorteks-vorteks dan juga pusaran-pusaran yang berada di Sungai atau hempasan udara lainnya. Pada umumnya, intensitas turbulensi meningkat dengan meningkatnya juga bilangan Reynold (Wibowo, 2013). Profil kecepatan aliran turbulen biasanya lebih seragam di seluruh bagian, dan dengan demikian kecepatan rata-rata hanya sedikit kurang dari nilai maksimum. Nilai bilangan Reynold yang lebih tinggi pada aliran turbulen bersifat unsteady dan tidak teratur tetapi, jika dirata-ratakan dari waktu ke waktu maka dapat steady dan dapat diprediksi (Frank M. White, 1997).



Gambar 1.2 Aliran Turbulen (Cengel & Cimbala, 2006)

3. Aliran Transisi

Aliran Transisi adalah dimana kondisi partikel fluida berada pada peralihan dari kondisi seragam menuju kondisi acak, pada kondisi nyatanya kondisi seperti ini sangat sulit terjadi. Parameter bilangan Reynold yang terjadi pada saat aliran transisi ini ada pada rentang nilai bilangan Reynold aliran laminar dan turbulen yaitu lebih dari 2100 dan kurang dari 4000 untuk aliran internal dalam pipa (Simanjuntak Dkk.).



Gambar 1.3 Aliran Transisi (Cengel & Cimbala, 2006)

1.6.3 Sifat Fisik Fluida

1. Kerapatan (*Density*)

Kerapatan atau *density* dinyatakan dengan ρ (rho) yang dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara massa per satuan volume. Yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{V} \ [Kg/m^2] \quad (1)$$

dimana: ρ = kerapatan (Kg/m^2)

m = massa (Kg)

V = Volume (m^3)

Kerapatan adalah suatu sifat karakteristik setiap bahan murni. Benda tersusun atas bahan murni, misalnya emas murni, yang dapat memiliki berbagai ukuran ataupun massa, tetapi kerapatannya akan sama untuk semuanya. Satuan SI untuk kerapatan adalah kg/m³ (Wibowo, 2013).

2. Berat Jenis (*Sepesific Gravity*)

Berat jenis suatu bahan didefinikan sebagai perbandingan kerapatan bahan terhadap kerapatan air. Berat jenis (*specific gravity* disingkat SG) adalah besaran murni tanpa dimensi maupun satuan, dinyatakan pada persamaan sebagai berikut:

$$\text{Untuk fluida cair } SGg = \frac{\rho_g \ [g/cm^3]}{\rho_a \ [g/cm^3]} \quad (2)$$

$$\text{Untuk fluida cair } SGc = \frac{\rho_g \ [g/cm^3]}{\rho_w \ [g/cm^3]} \quad (3)$$

Dimana: ρ_w = massa jenis air (g/cm^3)

ρ_g = massa jenis gas (g/cm^3)

ρ_a = massa jenis udara (g/cm^3)

3. Tekanan (*Preassure*)

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

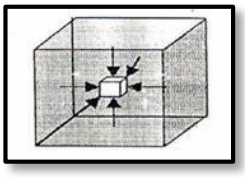
$$P = \frac{F}{A} \ [N/m^2] \qquad (4)$$

Dimana: P = Tekanan (N/m^2)

F = Gaya (N)

A = Luas Permukaan (m^2)

Konsep tekanan sangat berguna terutama dalam berurusan dengan fluida. Sebuah fakta eksperimental menunjukkan bahwa fluida menggunakan tekanan ke semua arah. Hal ini sangat dikenal oleh para perenang dan juga penyelam yang secara langsung merasakan tekanan air pada seluruh bagian tubuhnya. Pada titik tertentu dalam fluida diam, tekanan sama untuk semua arah. Ini diilustrasikan pada gambar 4. Bayangan fluida 8 dalam sebuah kubus kecil sehingga kita dapat mengabaikan gaya gravitasi yang bekerja padanya. Tekanan pada suatu sisi harus sama dengan tekanan pada sisi yang berlawanan. Jika hal ini tidak benar, gaya netto yang bekerja pada kubus ini tidak akan sama dengan nol, dan kubus ini akan bergerak hingga tekanan yang bekerja menjadi sama.



Gambar 1.4 Tekanan adalah sama di setiap arah dalam suatu fluida pada kedalaman tertentu jika tidak demikian maka fluida akan bergerak (Wibowo, 2013).

4. Kekentalan (*Viscocity*)

Kekentalan (*viscosity*) didefinisikan sebagai gesekan internal atau gesekan fluida terhadap wadah dimana fluida itu mengalir. Ini ada dalam cairan atau gas, dan pada dasarnya adalah gesekan antar lapisan fluida yang berdekatan ketika bergerak melintasi satu sama lain atau gesekan antara fluida dengan wadah tempat ia mengalir. Dalam cairan, kekentalan disebabkan oleh gaya kohesif antara molekul-molekulnya sedangkan gas, berasal tumbukan diantara molekul-molekul tersebut.

Kekentalan fluida yang berbeda dapat dinyatakan secara kuantatif dengan koefisien kekentalan, μ yang didefinisikan dengan cara sebagai berikut: Fluida diletakkan diantara dua lempengan datar. Salah satu lempengan diam dan yang

lain dibuat bergerak. Fluida yang secara langsung bersinggungan dengan masing-masing lempengan ditarik pada permukaanya oleh gaya rekat diantara molekul-molekul cairan dengan kedua lempengan tersebut. Dengan demikian permukaan fluida sebelah atas bergerak dengan laju v yang seperti lempengan atas, sedangkan fluida yang bersinggungan dengan lempengan diam bertahan diam (Wibowo, 2013). Dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu = \frac{F/A}{V/y} \tag{5}$$

Dimana: μ = kekentalan fluida (Pa.s)

F = gaya (kg)

A = luas lempengan bergerak (m^2)

v = kecepatan fluida (m/s)

y = ketinggian fluida (m)

Viskositas kinematik adalah perbandingan antara viskositas mutlak terhadap rapat jenis *density*

$$\upsilon = \frac{\mu}{\rho} \tag{6}$$

Dimana μ = nilai viskositas mutlak (kg/m.s)

ρ = nilai kerapatan massa fluida (kg/m^3)

Viskositas dinamik atau viskositas mutlak mempunyai nilai sama dengan hukum viskositas Newton.

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \tag{7}$$

Dimana τ = tegangan geser pada fluida (kg/m^2)

du/dy = gradient kecepatan (m/s)

1.6.1 Karakteristik Airan

1. *Reynolds Number*

Osborne Reynold (1842-1912) lebih dari satu abad yang lalu memverifikasi keberadaan rezim aliran laminar, transisi, dan turbulen dengan menyuntikkan beberapa garis ke dalam aliran dalam pipa kaca. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa, garis pewarna membentuk garis lurus dan halus pada kecepatan rendah

ketika alirannya laminar, memiliki ledakan fluktuasi dalam rezim transisi, dan zigzag dengan cepat dan acak ketika aliran menjadi sepenuhnya bergolak. Ini zig zag dan disperse pewarna merupakan indikasi fluktuasi aliran utama dan pencampuran cepat partiker fluida dari lapisan yang berdekatan.

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V D_h}{\mu} \quad (8)$$

Dimana:

ρ = Massa jenis aliran $(\mathrm{kg/m^3})$.

μ = Viskositas dinamis fluida $(\mathrm{kg/m.s})$.

D_h = Diameter hidrolik (m).

V = Kecepatan aliran fluida $(\mathrm{m/s})$.

Pencampuran cairan yang intens dalam aliran turbulen, sebagai akibat dari fluktuasi yang cepat meningkatkan transfer momentum antara partikel-partikel fluida, yang meningkatkan gaya gesekan pada permukaan dan dengan demikian kekuatan pemompaan yang diperlukan. Faktor gesekan mencapai maksimum ketika aliran menjadi turbulen penuh (Salam & Tarakka, 2021).

Tentu saja diinginkan untuk memiliki nilai bilangan Reynolds yang tepat untuk aliran laminar, transisi, dan turbulen, tetapi dalam praktiknya tidak demikian. Ternyata transisi dari aliran laminar ke turbulen juga tergantung pada derajat gangguan aliran oleh kekasaran permukaan, getaran pipa, dan fluktuasi aliran. Dalam kondisi yang paling praktis, aliran dalam pipa melingkar adalah laminar untuk Re ≤ 2300, turbulen untuk Re $\geq$ 4000, dan transisi di antaranya (Salam & Tarakka, 2021).

2. Pressure Drop

Penurunan tekanan (pressure drop) merupakan fenomena yang terjadi dalam sistem perpipaan di mana tekanan fluida berkurang dari satu titik ke titik lainnya saat mengalir melalui pipa. Penurunan ini diakibatkan oleh adanya hambatan dalam aliran fluida, terutama yang disebabkan oleh gaya gesek antara fluida dan dinding pipa, serta perubahan arah atau geometri saluran. Faktor-faktor utama yang mempengaruhi besar pressure drop meliputi kecepatan fluida, viskositas, panjang dan diameter pipa, serta kondisi permukaan bagian dalam pipa. Dalam aliran fluida satu fase, pressure drop juga sangat dipengaruhi oleh bilangan Reynolds, yang menggambarkan rasio antara gaya inersia dan gaya viskositas dalam fluida. Nilai bilangan Reynolds ini bergantung pada sifat fluida, seperti viskositas dan densitasnya, serta dimensi pipa tempat fluida mengalir. Jika bilangan Reynolds lebih rendah, aliran cenderung laminar, dengan penurunan tekanan yang lebih stabil dan lebih kecil. Sebaliknya, jika bilangan Reynolds tinggi dan aliran bersifat turbulen, maka gesekan serta kehilangan tekanan meningkat secara signifikan (Zainudin, dkk, 2012).

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta h \quad (9)$$

Di mana:

Δp = Pressure drop atau penurunan tekanan (N/m²)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

Δh = Selisih ketinggian pada manometer (m)

1.6.4 Kerugian Pada Aliran *(Head Loses)*

Head losses merupakan suatu fenomena yang mengakibatkan kerugian aliran di dalam sistem perpipaan. Rugi–rugi aliran selalu terjadi pada sistem perpipaan dengan menggunakan berbagai macam fluida, seperti fluida cair dan gas. Pada umumnya, rugi aliran yang terbesar terjadi pada fluida cair, hal ini dikarenakan sifat molekulnya yang padat dibandingkan gas dan memiliki gesekan lebih besar terhadap media yang dilaluinya, terutama jika koefisien gesek media yang dilalui itu lebih besar, maka gesekan yang terjadi pun akan semakin besar. Head losses sangat merugikan dalam aliran fluida di dalam sistem pemipaan, karena head losses dapat menurunkan tingkat efisiensi aliran fluida. (Helmizar, 2010).

1. *Mayor Losses*

Head losses mayor (rugi mayor) adalah besar nilai kehilangan energi yang diakibatkan oleh gesekan antara fluida dengan dinding pipa lurus yang mempunyai luas penampang yang tetap (Helmizar, 2010). Menurut S. Abdulmeer (2022) persamaan yang akan digunakan untuk menghitung *mayor losses* Persamaan Darcy-Weisbach dapat dituliskan sebagai berikut :

Dimana :

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = h_f = f \frac{L}{D_h} \frac{V^2}{2g} \quad (10)$$

h_f : Kerugian Tinggi Tekanan (m)

Q : Laju Aliran (m^3/s)

C : Koefisien Hazen-Williams

D_h : Diameter hidrolik pipa (m)

L : Panjang pipa (m)

V : Kecepatan aliran fluida (m/s)

ρ : Massa Jenis Aliran (kg/m^3)

ΔP : Penurunan Tekanan (N/m^2)

g : Percepatan gravitasi (m/s^2)

f : Faktor Gesek (*friction factor*)

2. *Minor Loses*

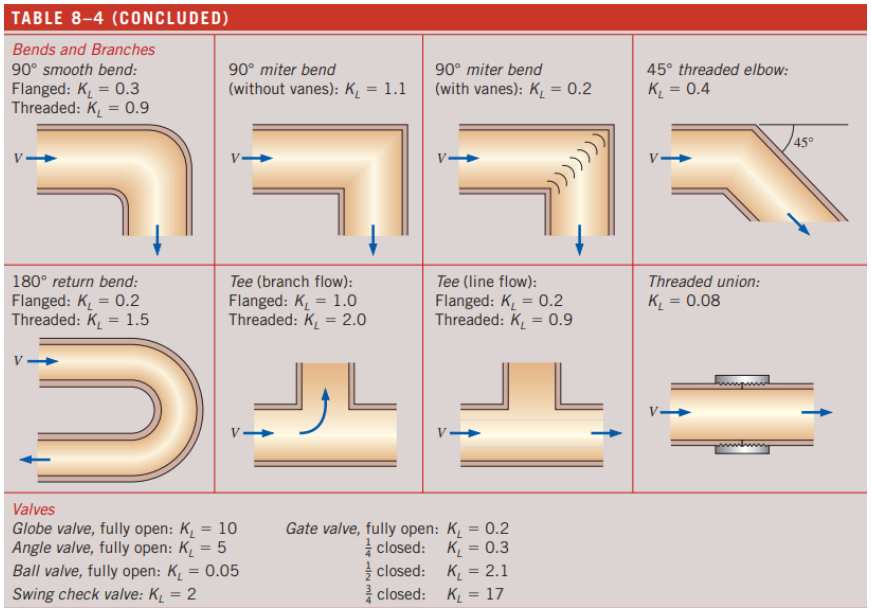
Head losses minor (rugi minor) adalah besar nilai kehilangan energi aliran fluida di dalam pipa yang disebabkan oleh perubahan luas penampang jalan aliran, entrance, fitting, dan lain sebagainya (Helmizar, 2010*). Minor losses* adalah kehilangan tekanan yang terjadi karena akibat adanya gesekan antaran fluida dengan komponen sambungan pipa seperti belokan pipa (elbow), (valve), percabangan (tee) dan perubahan penampang (reducer/expansion) (Munson et al., 2009). Persamaan yang digunakan untuk menghitung minor losses dapat dituliskan sebagai berikut:

$$h_{L\,\text{minor}} = K_L \frac{V^2}{2g} \qquad (11)$$

Dimana :

$h_{L\,\text{minor}}$ = Kehilangan energi minor (m)
K_L = Koefisien kerugian minor *fitting*
V = Kecepatan aliran fluida (m/s)
g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

Menurut Cengel dan Cimbala (2006) kerugian energi pada aliran fluida dalam sistem perpipaan secara umum dibedakan menjadi major losses dan minor losses. Major losses merupakan kehilangan energi akibat gesekan antara fluida dengan dinding pipa sepanjang lintasan lurus, sedangkan minor losses terjadi akibat adanya gangguan lokal yang disebabkan oleh fitting, perubahan arah aliran, percabangan, perubahan luas penampang, serta komponen kontrol seperti *valve*. Kerugian minor dinyatakan dalam bentuk koefisien kerugian, yaitu besaran tak berdimensi yang menunjukkan tingkat hambatan suatu fitting terhadap aliran. kondisi kecepatan yang lebih tinggi, kehilangan energi akibat fitting akan meningkat secara signifikan. Nilai K dipengaruhi oleh bentuk geometri fitting, kondisi permukaan, sudut perubahan arah, serta pola aliran yang terbentuk di dalam fitting tersebut.



Gambar 1.5 Tabel Loss Coefficients

Berdasarkan tabel loss coefficients pada buku Cengel, untuk sambungan 90° smooth bend elbow nilai K, sedangkan untuk 90° threaded elbow nilai K. Nilai ini menunjukkan bahwa elbow dengan tikungan halus menghasilkan kerugian yang lebih kecil dibanding elbow dengan tikungan tajam atau sambungan berulir. Hal tersebut disebabkan karena pada tikungan tajam aliran lebih mudah mengalami separasi aliran, pusaran, dan turbulensi lokal, sehingga energi kinetik fluida lebih banyak hilang dalam bentuk rugi tekanan. Selain itu, elbow 45° memiliki nilai kerugian yang lebih kecil dibanding elbow 90° karena perubahan arah aliran yang terjadi lebih landai.

Pada sambungan tee, nilai koefisien kerugian cenderung lebih besar dibanding elbow karena selain terjadi perubahan arah aliran, juga terjadi percabangan atau penggabungan debit. Menurut Çengel dan Cimbala, nilai KL untuk tee line flow berkisar antara 0,2–0,9, sedangkan untuk tee branch flow berkisar antara 1,0–2,0, tergantung jenis sambungan yang digunakan. Nilai yang lebih besar pada branch flow terjadi karena aliran harus berbelok sebesar 90° dan mengalami perubahan distribusi momentum yang lebih kompleks. Secara teori, total koefisien kerugian pada sistem perpipaan merupakan jumlah dari seluruh nilai KL pada setiap fitting yang digunakan.

Dengan demikian, semakin banyak jumlah fitting dan semakin kompleks jalur aliran pada suatu model loop, maka semakin besar nilai total koefisien kerugian yang dihasilkan. Hal ini mengakibatkan rugi tekanan minor meningkat dan secara langsung memengaruhi debit, tekanan diferensial, serta karakteristik aliran dalam sistem perpipaan. Teori ini sangat relevan dengan penelitian yang

dilakukan, di mana model loop dengan jumlah elbow dan tee lebih banyak menunjukkan nilai koefisien kerugian yang lebih tinggi dibanding model yang lebih sederhana.

3. Faktor Gesek

Faktor gesek (*friction factor*) merupakan parameter tak berdimensi yang digunakan untuk menyatakan besarnya hambatan aliran fluida akibat gesekan antara fluida dengan dinding bagian dalam pipa. Menurut Munson et al. (2013), faktor gesek ini disebut juga sebagai Darcy friction factor, yang didefinisikan sebagai perbandingan antara penurunan tekanan terhadap energi kinetik aliran fluida. Pada aliran di dalam pipa, hubungan antara penurunan tekanan dan faktor gesek dinyatakan sebagai:

$$\Delta p = f \frac{L}{D} \frac{\rho V^2}{2} \quad (12)$$

dengan:

- Δp = penurunan tekanan (Pa)
- f = faktor gesek Darcy
- L = panjang pipa (m)
- D = diameter pipa (m)
- ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)
- V = kecepatan rata-rata aliran (m/s)

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa semakin besar nilai faktor gesek, maka semakin besar pula kehilangan tekanan yang terjadi sepanjang pipa. Dalam penelitian sistem perpipaan, parameter ini sangat penting untuk menganalisis kerugian energi mayor (*major losses*) akibat gesekan aliran dengan dinding pipa. Menurut Munson et al. (2013), untuk aliran laminar berkembang penuh (*laminar fully developed pipe flow*), nilai faktor gesek dinyatakan dengan persamaan:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (13)$$

Dimana :

Re = Bilangan Reynolds

Persamaan ini menunjukkan bahwa faktor gesek berbanding terbalik dengan bilangan Reynolds, sehingga semakin besar nilai Reynolds pada daerah laminar, maka nilai faktor gesek akan semakin kecil. Hubungan ini digunakan sebagai dasar dalam analisis karakteristik aliran fluida pada sistem perpipaan, khususnya untuk menentukan kehilangan tekanan.

4. Persamman Bernoulli

Persamaan Bernoulli merupakan suatu pendekatan yang menggambarkan hubungan antara tekanan, kecepatan, dan elevasi dalam suatu aliran fluida. Persamaan ini berlaku pada kondisi aliran yang stabil dan tunak (Cengel & Cimbala, 2006). Salah satu penerapan dari persamaan Bernoulli adalah untuk menentukan perbedaan tekanan serta profil kecepatan dalam fluida yang mengalir melalui suatu penampang dalam streamline. Dalam mekanika fluida, terdapat prinsip yang menyatakan bahwa kecepatan fluida berpengaruh terhadap tekanan yang dihasilkan. Jika kecepatan fluida meningkat, maka tekanan dalam aliran tersebut akan menurun. Hubungan ini dijelaskan melalui persamaan Bernoulli. Selain itu, persamaan ini juga menyatakan bahwa dalam sistem aliran tertutup, jumlah energi total di setiap titik sepanjang lintasan aliran akan tetap sama. Pada titik tertentu dalam aliran fluida, tekanan akan lebih besar jika kecepatan aliran lebih kecil. Sebaliknya, jika kecepatan fluida bertambah, maka tekanan pada titik tersebut akan berkurang (Avianti, 2021).

$$P_1 + \tfrac{1}{2}P1^2 + h_1pg = P_2 + \tfrac{1}{2}pv2^2 + h_2pg \qquad (14)$$

Dimana:

P_1 = Tekanan pada pipa I (Tinggi)
P_2 = Tekanan pada pipa II (Rendah)
P = Massa jenis Fluida
V_1 = Kecepatan Fluida pada pipa I
V_2 = Kecepatan Fluida pada pipa II
H_1 = Ketinggian pipa I
H_2= Ketinggian pipa II

5. Persamaan Energi

Aliran yang melalui suatu pipa pasti mengalami yang namanya gesekan dan ini menyebabkan penurunan energi. Biasanya untuk mengukur penurunan gesekan yang terjadi dalam pipa menggunakan hubungan Darcy-Weisbach, dan salah satu bagian tersebut ialah faktor gesek Darcy. Persamaan yang tepat untuk mengukur koefisien ini adalah persamaan Colebrook- White. Namun karena hubungan ini berisifat implisit dan membutuhkan metode akar numerik untuk mendapatkan koefisien faktor gesekan, maka para pakar peneliti menyediakan berbagai hubungan substansial dan eksplisit untuk itu yang dimana mempertimbangkan akurasi hasil sebelum di terapkan itu sangatlah penting (Abdulameer et al., 2022). Persamaan yang digunakan untuk menghitung faktor gesek dapat dituliskan sebagai berikut:

$$f = \left[-1{,}8\log\left(\left(\frac{\varepsilon/D_h}{3{,}7}\right)^{1.11} + \frac{6.9}{Re}\right)\right]^{-2} \qquad (15)$$

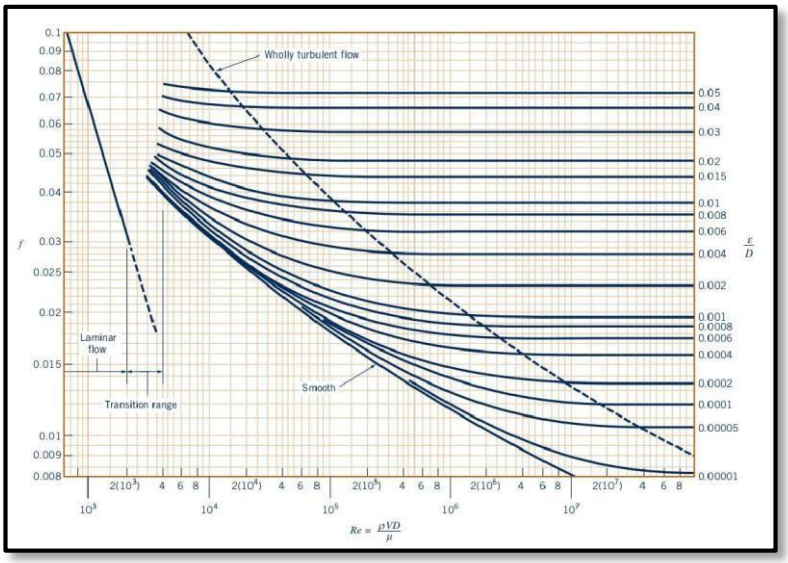
Dimana :

f : Faktor Gesek (*friction factor*)

ε : Kekasaran Permukaan Pipa (m)

D_h : Diameter hidrolik Pipa (m)

Re : Bilangan Reynold

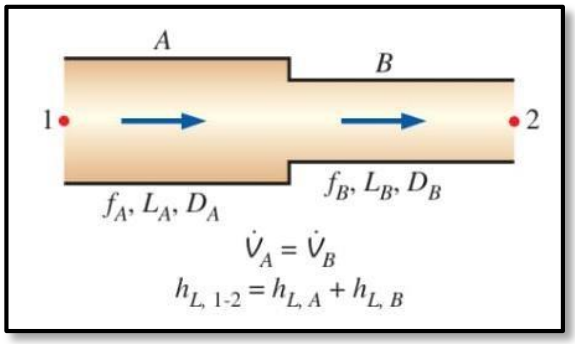


Gambar 1.6 Diagram Moody (Sumber: Munson et al., 2013)

1.6.5 Rangkaian Aliran Pipa

1. Pipa Seri

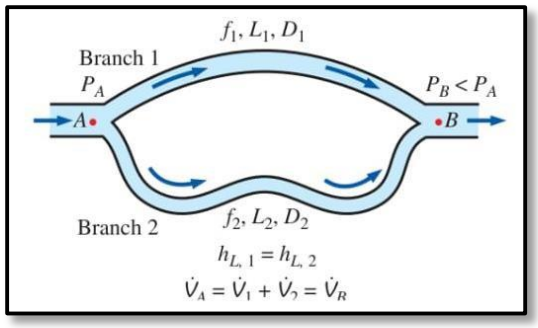
Dalam buku Nastain dan Suroso (2005) apabila suatu saluran pipa terdiri dari pipa-pipa dengan ukuran yang berbeda, pipa tersebut adalah dalam hubungan seri. Menurut (Cengel & Cimbala, 2006) saat pipa dihubungkan secara seri, laju aliran melalui seluruh system tetap konstan terlepas daridiameter masing-masing pipa dalam sistem. Ini merupakan konsekuensi alami dari kekekalan prinsip massa tetap aliran yang tidak dapat dimampatkan. Total kerugian head dalam hal ini sama dengan jumlah dari kerugian head pada masing-masing pipa dalam sistem, termasuk kerugian kecil. Rugi-rugi muai atau susut pada sambungan dianggap sebagai milik pipa berdiameter lebih kecil karena koefisien muai dan kontraksinya sama ditentukan berdasarkan kecepatan rata-rata pada pipa yang berdiameter lebih kecil.



Gambar 1.7 Pipa seri (Cengel & Cimbala, 2006)

2. Pipa Paralel

Dalam buku Nastain dan Suroso (2005) menyatakan bahwa pada keadaan dimana aliran melalui dua atau lebih pipa dihubungkan secara paralel. Menurut (Cengel & Cimbala, 2006) untuk pipa yang bercabang menjadi dua (atau lebih) pipa paralel dan kemudian bergabung kembali di persimpangan hilir, laju aliran total adalah jumlah dari laju aliran dalam masing-masing pipa. Penurunan tekanan (*head loss*) pada masing-masing pipa yang dihubungkan secara paralel harus sama karena $\boldsymbol{\Delta P = P_A - P_B}$ dan tekanan sambungan $\boldsymbol{P_A}$ dan $\boldsymbol{P_B}$ adalah sama untuk semua pipa individu.



Gambar 1.8 Pipa paralel (Cengel & Cimbala, 2006)

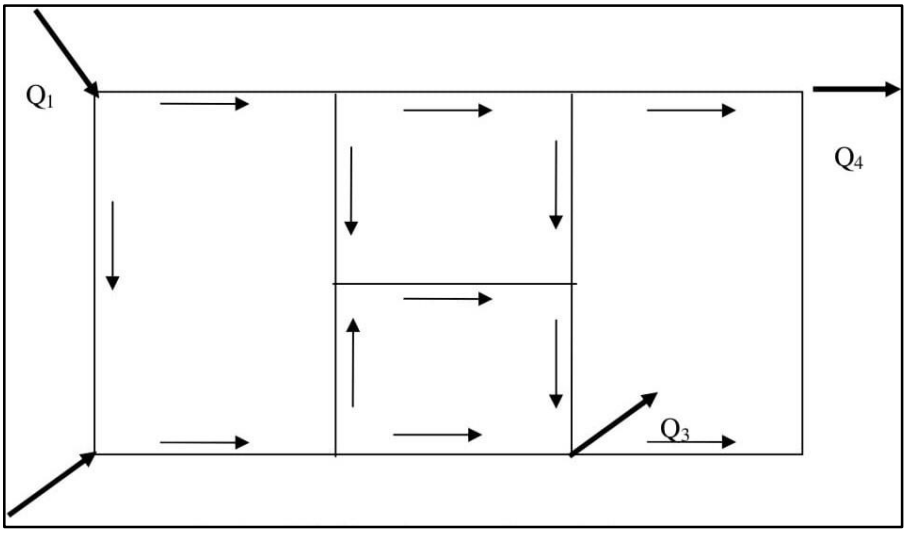
1.6.6 Metode Hardy Cross

Pemakaian jaringan pipa dalam bidang teknik sipil terdapat pada sistem jaringan distribusi air minum. Sistem jaringan ini merupakan bagian yang paling mahal dari suatu perusahaan air minum. Oleh karena itu harus dibuat perencanaan yang teliti untuk mendapatkan sistem distribusi yang efisien. Jumlah atau debit air yang disediakan tergantung pada jumlah penduduk dan macam industri yang dilayani.

Analisis jaringan pipa ini cukup rumit dan memerlukan perhitungan yang besar, oleh karena itu pemakaian komputer untuk analisis ini akan mengurangi

kesulitan. Untuk jaringan kecil, pemakaian kalkulator untuk hitungan masih dilakukan. Ada beberapa metode untuk menyelesaikan perhitungan sistem jaringan pipa, diantaranya adalah metode Hardy Cross dan metode matriks.

Dalam buku Nastain dan Suroso (2005) hanya akan dibahas metode Hardy Cross. Gambar 8 adalah contoh suatu sistem jarringan pipa.



Gambar1. 9 Contoh suatu sistem jaringan pipa

Aliran keluar dari sistem biasanya dianggap terjadi pada titik-titik simpul. Metode Hardy Cross ini dilakukan secara iteratif. Pada awal hitungan ditetapkan debit aliran melalui masing-masing pipa secara sembarang. Kemudian dihitung debit aliran di semua pipa berdasarkan nilai awal tersebut. Prosedur hitungan diulangi lagi sampai persamaan kontinuitas di setiap titik simpul dipenuhi.

Dianggap bahwa karakteristik pipa dan aliran yang masuk dan meninggalkan jaringan pipa diketahui dan akan dihitung debit pada setiap elemen dari jaringan tersebut. Jika tekanan pada seluruh jaringan juga dihitung, maka tinggi tekanan pada satu titik harus diketahui.

Dalam buku Nastain dan Suroso (2005) prosedur perhitungan dengan metode Hardy Cross adalah sebagai berikut :

1. Pilih pembagian debit melalui tiap-tiap pipa Q0 hingga terpenuhi syarat kontinuitas.
2. Hitung kehilangan tenaga pada tiap pipa dengan rumus $hf = k Q^2$.
3. Jaringan pipa dibagi menjadi sejumlah jaring tertutup sedemikian sehingga tiap pipa termasuk dalam paling sedikit satu jaring.
4. Hitung jumlah kerugian tinggi tenaga sekeliling tiap-tiap jaring, yaitu $\Sigma hf = 0$.
5. Hitung nilai $\Sigma | 2kQ |$ untuk tiap jaring.

6. Pada tiap jaring diadakan koreksi debit ΔQ supaya kehilangan tinggi tenaga dalam jaring seimbang.

Adapun koreksinya adalah :

$$\Delta Q = \frac{\sum k\, Q_0^{\,2}}{\sum |2\, k\, Q_0|} \qquad (16)$$

7. Dengan debit yang telah dikoreksi sebesar Q = Q0 + ΔQ, prosedur dari no.1 sampai no.6 diulangi hingga akhir ΔQ ≈ 0, dengan Q adalah debit sebenarnya, Q0 adalah debit dimisalkan, dan ΔQ adalah debit koreksi.

Penurunan rumus pada nomor 6 adalah sebagai berikut :

$$h_f = k\, Q^2 = k\, (Q_0 + \Delta Q)^2$$

$$= k\, Q_0^{\,2} + 2k\, Q_0\, \Delta Q + k\, \Delta Q^2 \qquad (17)$$

Untuk $\Delta Q << Q_0$ maka $\Delta Q^2 \approx 0$ sehingga :

$$h_f = k\, Q_0^{\,2} + 2k\, Q_0\, \Delta Q \qquad (18)$$

Jumlah kehilangan tenaga dalam tiap jaringan adalah nol :

$$\sum h_f = 0$$

$$\sum h_f = \sum k\, Q_0^{\,2} = \Delta Q \sum 2kQ_0 = 0$$

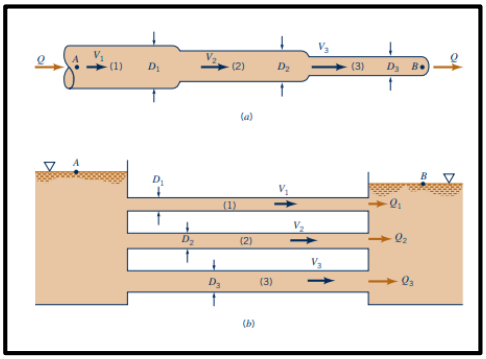
$$\Delta Q = \frac{\sum k\, Q^2}{\sum |2\, k\, Q_0|} \qquad (19)$$

Untuk jaringan pipa yang cukup besar hitungan dilakukan dengan komputer, tetapi untuk jaringan kecil/sederhana dapat menggunakan kalkulator.

Hitungan jaringan pipa sederhana dilakukan dengan membuat tabel untuk setiap jaring. Dalam setiap jaring tersebut jumlah aljabar kehilangan tenaga adalah nol, dengan catatan aliran searah jarum jam (ditinjau dari pusat jaringan) diberi tanda positif, sedang yang berlawanan bertanda negatif. Untuk memudahkan hitungan, dalam tiap jaringan selalu dimulai dengan aliran yang searah jarum jam. Koreksi debit ΔQ dihitung dengan rumus pada nomor 6. Arah koreksi harus disesuaikan dengan arah aliran. Apabila dalam satu jaring kehilangan tenaga karena aliran searah jarum jam lebih besar dari yang berlawanan (Σ k Q0² > 0) maka arah koreksi debit adalah berlawanan jarum jam (negatif). Jika suatu pipa menyusun dua jaring, maka koreksi debit ΔQ untuk pipa tersebut terdiri dari dua buah ΔQ yang diperoleh dari dua jaring tersebut. Hasil hitungan yang benar di capai apabila ΔQ ≈ 0.

1.6.7 *Multiple Pipe Systems*

Menurut Munson et al. (2013), multiple pipe systems merupakan sistem perpipaan yang terdiri atas lebih dari satu pipa yang saling terhubung dalam suatu rangkaian aliran. Sistem ini dapat tersusun dalam bentuk seri, paralel, maupun loop, sehingga analisis aliran menjadi lebih kompleks dibandingkan sistem pipa tunggal. Kompleksitas tersebut disebabkan oleh adanya percabangan, pertemuan aliran, serta beberapa jalur aliran yang memungkinkan fluida mengalir melalui lebih dari satu lintasan. Pada sistem perpipaan majemuk, distribusi debit dan kehilangan energi harus memenuhi prinsip kontinuitas dan persamaan energi untuk setiap jalur aliran.



Gambar 1.10 (a) Series dan Parallel Pipe Systems Menurut (Munson et al. 2013)

Pada gambar 1.10, menjelaskan dua bentuk dasar *multiple pipe systems*, yaitu sistem seri dan paralel. Pada susunan seri, aliran fluida melewati beberapa segmen pipa secara berurutan sehingga debit yang mengalir pada setiap segmen adalah sama. Kondisi ini menyebabkan kehilangan tinggi tekan total merupakan penjumlahan dari kehilangan tekanan pada masing-masing segmen pipa. Sebaliknya, pada susunan paralel, aliran terbagi ke beberapa cabang sehingga debit total merupakan jumlah debit dari seluruh cabang, sedangkan kehilangan tinggi tekan pada setiap cabang memiliki nilai yang sama. Gambar ini sangat penting sebagai dasar pemahaman distribusi debit sebelum memasuki analisis sistem loop (Munson et al. 2013).

Untuk sistem seri, debit dinyatakan dengan persamaan:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 \tag{20}$$

Sedangkan kehilangan tinggi tekanan total:

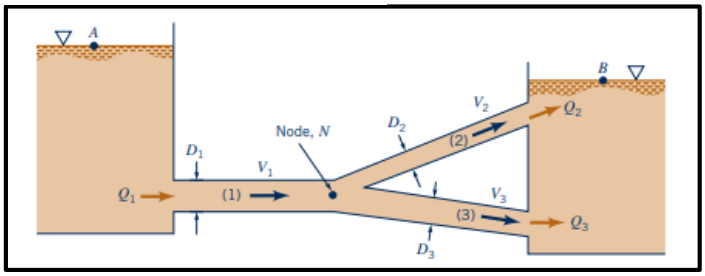
$$h_{L,total} = h_{L1} + h_{L2} + h_{L3} \tag{21}$$

Keterangan:
Q_1, Q_2, Q_3 = debit pada masing-masing segmen pipa (m^3/s)
$h_{L,total}$ = total kehilangan tinggi tekan (m)
h_{L1}, h_{L2}, h_{L3} = kehilangan tinggi tekan tiap segmen (m)

Untuk sistem paralel:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (22)$$

Keterangan:
Q = debit total sistem (m^3/s)
Q_1, Q_2, Q_3 = debit masing-masing cabang (m^3/s)



Gambar 1.11 *Multiple-pipe loop system*. (Munson et al. 2013)

Pada Gambar 1.11, menjelaskan sistem perpipaan loop yang terdiri atas satu pipa utama (1) dengan debit masuk Q1, kemudian aliran bercabang pada node N menjadi dua jalur, yaitu cabang atas (2) dengan debit Q2 dan cabang bawah (3) dengan debit Q3. Kedua jalur ini kemudian berakhir pada titik reservoir B dan C**.** Sistem ini disebut *multiple-pipe loop system* karena aliran dapat terbagi ke lebih dari satu lintasan setelah melewati titik percabangan.

Sesuai dengan hukum kontinuitas, Munson menyatakan bahwa debit pada pipa utama sama dengan jumlah debit pada kedua cabang. Persamaan ini dituliskan sebagai:

Q1=Q2+Q3 (23)

Dimana:
Q1= debit pada pipa utama
Q2 = debit pada cabang atas
Q3 = debit pada cabang bawah

Selanjutnya, berdasarkan persamaan energi Bernoulli antara reservoir A dan B, Munson menuliskan:

$$\frac{p_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + z_A = \frac{p_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + z_B + h_{L1} + h_{L2} \quad (24)$$

Keterangan:

p_A, p_B = tekanan pada titik A dan B (Pa)

γ = berat jenis fluida (N/m^3)

V_A, V_B = kecepatan fluida pada titik A dan B (m/s)

z_A, z_B = elevasi titik A dan B (m)

h_{L1} = kehilangan tekanan pada pipa (1)

h_{L2} = kehilangan tekanan pada pipa (2)

Kemudian untuk lintasan dari reservoir A ke C**,** Munson memberikan persamaan:

$$\frac{p_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + z_A = \frac{p_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + z_B + h_{L1} + h_{L3} \quad (25)$$

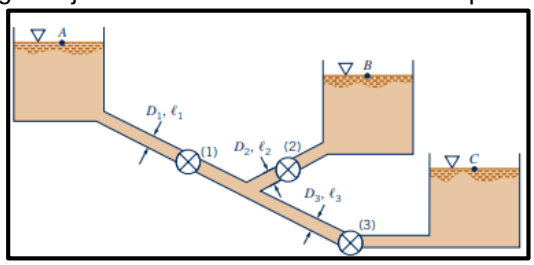
Keterangan:

h_{L3} = kehilangan tekanan pada pipa (3)

Dari kedua persamaan tersebut, Munson menegaskan bahwa karena titik awal dan akhir sama-sama berasal dari reservoir yang setara, maka kehilangan tekanan pada cabang (2) dan cabang (3) harus sama besar. Dengan demikian diperoleh hubungan:

$$h_{L2} = h_{L3} \quad (26)$$

Hal ini menunjukkan bahwa walaupun debit dan diameter tiap cabang berbeda, total kehilangan energi dari node menuju titik keluaran harus seimbang. Prinsip inilah yang menjadi dasar analisis distribusi debit pada sistem loop.



Gambar 1.12 A threereservoir system. (Munson et al. 2013)

Pada Gambar 3.7, (Munson et al. 2013) menampilkan sistem perpipaan yang menghubungkan tiga reservoir, yaitu reservoir A, B, dan C, melalui tiga jalur pipa yang saling bertemu pada titik sambungan. Gambar ini menunjukkan bahwa sistem perpipaan majemuk tidak selalu memiliki arah aliran yang langsung

diketahui sejak awal. Arah aliran fluida ditentukan oleh perbedaan elevasi muka air, tekanan, serta besarnya kehilangan energi pada masing-masing jalur pipa.

Sistem seperti ini, fluida akan mengalir dari titik dengan head energi lebih tinggi menuju titik dengan head lebih rendah, tetapi arah tersebut dapat berubah tergantung kondisi geometri sistem, panjang pipa, diameter, serta kekasaran permukaan. Oleh karena itu, arah aliran pada tiap cabang sering kali harus diasumsikan terlebih dahulu sebelum dilakukan analisis perhitungan.

Pada gambar tersebut juga terlihat bahwa ketiga jalur pipa saling terhubung pada titik node. Untuk kondisi ini, persamaan kontinuitas tetap berlaku, yaitu jumlah debit yang masuk ke titik sambungan harus sama dengan jumlah debit yang keluar (Munson et al. 2013).

Persamaan kontinuitas dapat ditulis sebagai:

$$\sum Q_{masuk} = \sum Q_{keluar} \qquad (27)$$

Keterangan:

Q = debit aliran

Selain itu, untuk setiap lintasan tertutup pada sistem, berlaku persamaan energi:

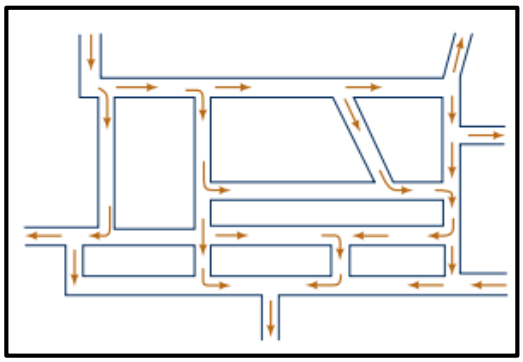
$$\sum h_L = 0$$

Keterangan:

$\sum h_L$ = jumlah kehilangan tinggi tekan pada satu loop (m)

Secara teoritis, Gambar 3.7 memperkuat pembahasan bahwa sistem perpipaan majemuk dengan beberapa jalur aliran harus dianalisis berdasarkan prinsip kontinuitas debit, arah aliran, dan keseimbangan energi.

Bentuk paling kompleks dari *multiple pipe systems*, yaitu jaringan pipa **(***network of pipes***)**. Sistem ini terdiri atas banyak cabang pipa yang saling terhubung, memiliki beberapa titik masuk (*inlets*) dan titik keluar (*outlets*), serta beberapa titik percabangan yang membentuk jaringan aliran yang lebih rumit dibandingkan sistem seri, paralel, maupun loop sederhana. Menurut (Munson et al. 2013), sistem seperti ini banyak dijumpai pada jaringan distribusi air perkotaan dan sistem perpipaan lain yang memiliki banyak jalur aliran.



Gambar 1.13 A general pipe network.

Arah aliran pada setiap cabang tidak selalu mudah ditentukan, bahkan arah tersebut dapat berubah dari waktu ke waktu tergantung bagaimana sistem digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa dalam jaringan pipa yang kompleks, arah aliran tidak hanya dipengaruhi oleh bentuk geometrinya, tetapi juga oleh kondisi operasi seperti perbedaan tekanan, elevasi, dan kebutuhan aliran pada masing-masing cabang.

Selain itu, (Munson et al. 2013) menjelaskan bahwa penyelesaian masalah pada jaringan pipa umumnya dilakukan dengan menggunakan konsep node dan loop, yang memiliki prinsip serupa dengan analisis rangkaian listrik. Pada setiap titik percabangan (*node*), jumlah aliran yang masuk harus sama dengan jumlah aliran yang keluar, sedangkan pada lintasan tertutup (*loop*), perubahan tekanan bersih di sepanjang satu putaran harus bernilai nol. Konsep inilah yang menjadi dasar dalam analisis sistem perpipaan majemuk dan jaringan distribusi.

Gambar 3.8 memperlihatkan bagaimana fluida dapat mengalir melalui beberapa jalur sekaligus dalam satu jaringan. Setiap cabang saling memengaruhi distribusi debit pada cabang lainnya, sehingga perubahan pada satu bagian sistem dapat memengaruhi keseluruhan jaringan.

BAB II
METODOLOGI DAN PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Fluida Departemen Teknik Mesin Lt. 2, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin di Jl. Poros Malino Kecamatan Bontomarannu, Kabupaten Gowa. Waktu Penelitian berlangsung selama 6 bulan, dimulai dari April 2025 sampai Juli 2025 dan dilanjut pada bulan Januari 2026 sampai April 2026.

2.2 Langkah-langkah Penelitian

Untuk memperoleh data yang dibutuhkan dalam penyusunan tugas akhir ini, maka teknik pengumpulan data dilakukan degan cara pengujian di lapangan secara langsung. Pada proses penelitian tugas akhir ini menggunakan beberapa teknik pengumpulan data sebagai berikut:

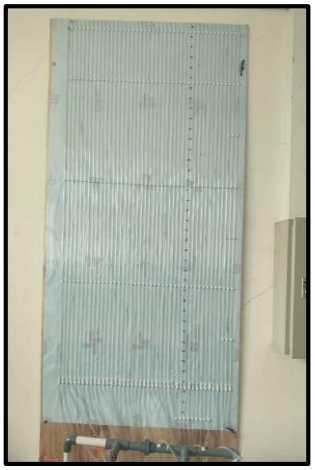
a. Identifikasi dan perumusan masalah, pada awal penelitian dan pengerjaan tugas akhir ini dengan mengidentifikasi masalah yang ada. Perlu juga penulis merumuskan masalah yang ada untuk diselesaikan selama proses penelitian ini.
b. Studi pustaka (*library research*), yaitu dengan membandingkan, membaca, dan mengumpulkan data-data teoritis melalui buku-buku, tulisan ilmiah, literatur lainnya serta catatan pengetahuan perkuliahan yang bersangkutan dengan masalah-masalah yang dibahas, sehingga diperoleh landasan yang digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut.
c. Pengambilan data, dengan melakukan proses pengambilan data sesuai parameter yang dibutuhkan. Hal ini dilakukan agar menghasilkan data yang dapat diolah secara matematis dan dapat dibandingkan dengan teoritis ataupun penelitian sebelumnya. Adapun teknik pengumpulan data yang dilakukan yaitu:
    1. Teknik observasi langsung, dengan melakukan pengambilan data dari pengujian di lapangan dan mencatat hasil yang didapatkan dari setiap pengujian.
    2. Teknik dokumentasi, untuk mengumpulkan data melalui hasil dokumentasi yang dilakukan untuk mengurangi kesalahan dalam pencatatan dan pengumpulan data hasil dari pengujian.

d. Analisa hasil dan pembahasan, setelah semua data yang dibutuhkan telah diperoleh, selanjutnya adalah proses pengolahan data dengan perhitungan data secara matematis dengan persamaan-persamaan yang sesuai dengan topik dari penelitian ini.
e. Penarikan kesimpulan dan saran, setelah semua data diolah dan telah dibuat pembahasan, maka akan dapat ditarik kesimpulan dan juga saran yang

bertujuan sebagai referensi untuk pengembangan penelitian selannjutnya.

2.3 Alat Dan Bahan

1. Manometer
   Manometer berfungsi untuk mengukur tekanan.



Gambar 2.1 Busur derajat

2. Pompa
   Pompa digunakan untuk menggerakkan fluida dari *Reservoir* yang akan dialirkan ke pipa.



Gambar 2.2 Kunci Pompa

3. *Reservoir*
   Reservoir berfungsi sebagai penampungan air.



Gambar 2.3 Reservoir

4. Pipa PVC ½ inchi
   Pipa berfungsi sebagai objek penelitian



Gambar 2.4 Pipa PVC ½ inchi

2.4 Prosedur Penelitian

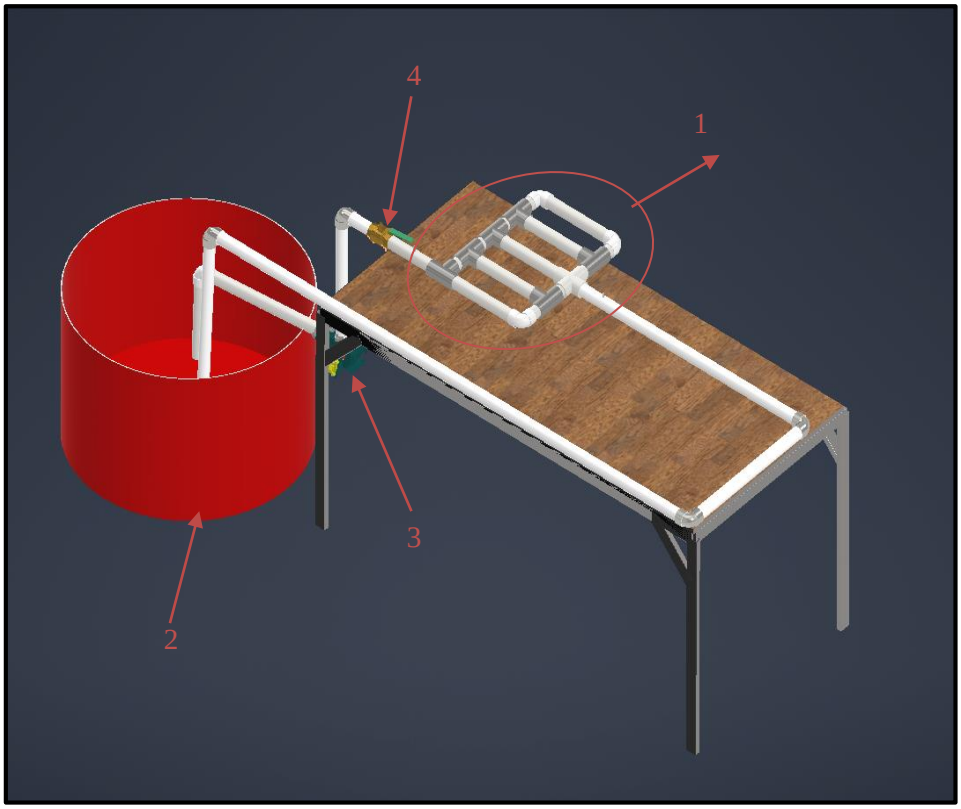
Adapun prosedur penelitian antara lain sebagai berikut:

1. Melakukan persiapan pengujian dengan memastikan *reservoir* sudah terisi air yang cukup untuk melakukan pengujian.
2. Pastikan rangkaian alat uji dalam kondisi baik.
3. Pasang model loop di alat uji.
4. Pompa dinyalakan dan pastikan pompa bekerja dengan baik.
5. Atur debit aliran yang mengalir ke benda uji sesuai data yang diambil dan gunakan variasi debit sebanyak 5 kali.
6. Biarkan air mengalir sampai menunjukkan debit aliran yang dibutuhkan.
7. Kemudian lakukan variasi pada ketiga model loop
8. Ulangi prosedur sebanyak 5 kali dengan variasi debit aliran yang

berbeda sesuai data yang dibutuhkan.

9. Membaca, mencatat tinggi cairan di manometer guna mengetahui kerugian head losses, dan dokumentasi disetiap titik manometer/*pressure taps* yang dipasang.
10. Mematikan pompa air dan membersihkan alat-alat dari tempat instalasi yang digunakan saat pengambilan data.
11. Setelah semua proses pengujian dan pengamatan selesai, matikan saklar pompa dan bersihkan alat uji serta tempat pengujian.
12. Mengolah data yang telah diperoleh dari pengujian.

2.5 Alat Penelitian



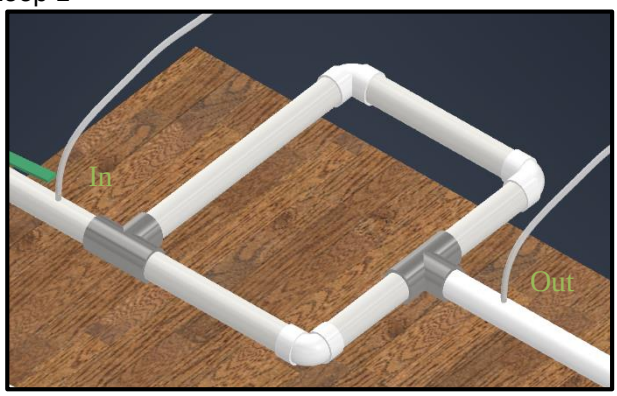
Gambar 2.5 Alat Penelitian

Keterangan:

1. Benda uji
2. Reservoir
3. Pompa
4. *Valve*

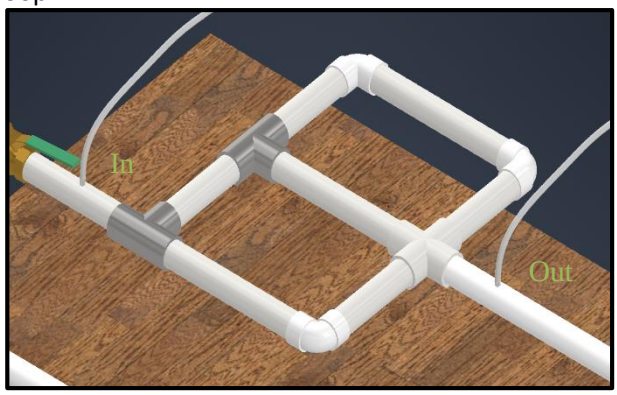
2.6 Gambar Benda Uji

1. Model Loop 1



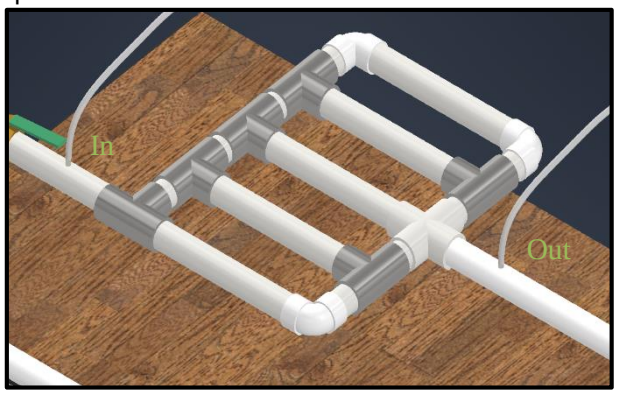
Gambar 2.6 Model Loop 1

2. Model Loop 2



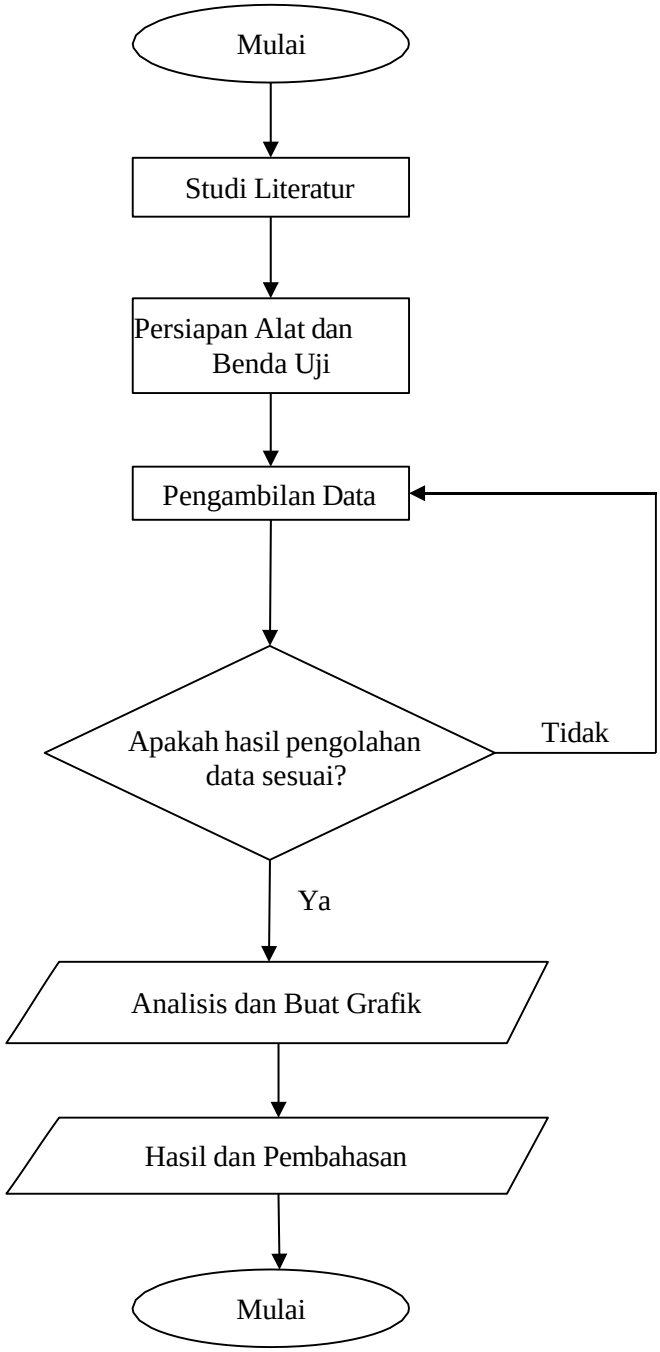
Gambar 2.7 Model Loop 2

5. Model Loop 3



Gambar 2.8 Model Loop 3

2.7 *Flow Chart* Penelitian



BAB III
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas hasil-hasil yang diperoleh dengan menggunakan pendekatan eksperimental pada setiap model loop. Eksperimen ini dilakukan untuk mengetahui hubungan koefisien kerugian, bilangan Reynolds, dan debit aliran, terhadap setiap model loop. Ketiga jenis model loop tersebut dilakukan eksperimental dengan 6 variasi bukaan yaitu 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, dan 100%. Data – data hasil eksperimen disajikan dalam bentuk tabel dan grafik dalam bab ini.

3.1 Hasil

Data dari eksperimen dengan variasi bukaan yang diperoleh dari hasil pembacaan alat ukur manometer terbuka diperlihatkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data hasil eksperimen model loop 1, model loop 2 dan model loop 3

Model Loop	h in (cm)	h out (cm)	Bukaan Valve (%)	Debit (L/s)			
				1	2	3	Rata''
Model 1	147	132	50	0,5453	0,5650	0,5688	0,5597
	133	116	60	0,6127	0,6112	0,6061	0,6100
	114	95	70	0,6502	0,6485	0,6468	0,6485
	108	88	80	0,6693	0,6676	0,6667	0,6679
	110	80	90	0,6868	0,6803	0,6897	0,6856
	98	76	100	0,7174	0,7013	0,6983	0,7056
Model 2	149	130	50	0,5160	0,5165	0,5139	0,5155
	136	114	60	0,5650	0,5650	0,5605	0,5635
	119	94	70	0,6046	0,6090	0,6031	0,6056
	110	83	80	0,6313	0,6337	0,6345	0,6332
	104	75	90	0,6631	0,6614	0,6605	0,6617
	1	70	100	0,6739	0,6729	0,6748	0,6739
Model 3	156	128	50	0,4748	0,4735	0,4699	0,4727
	145	112	60	0,5155	0,5198	0,5171	0,5174
	127	90	70	0,5525	0,5556	0,5519	0,5533
	116	76	80	0,5767	0,5787	0,5780	0,5778
	111	68	90	0,6053	0,6031	0,6024	0,6036
	106	60	100	0,6158	0,6274	0,6258	0,6230

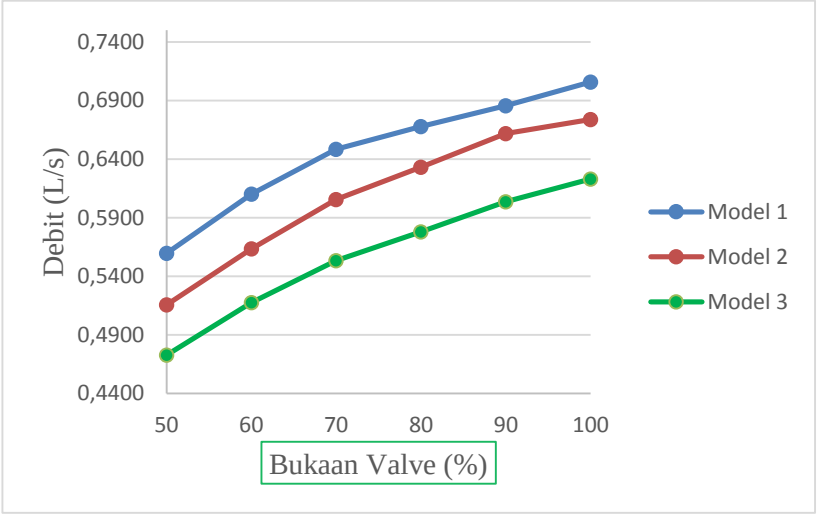
3.1.1 Debit Aliran pada Variasi Bukaan *Valve*

Data debit aliran pada variasi bukaan *valve* yang didapatkan dari hasil pengukuran pada eksperimen dapat dilihat pada tabel *3*.2.

Tabel 3.2 Data debit aliran pada variasi bukaan *valve*

Model Loop	Bukaan Valve (%)	Debit (L/s)
Model 1	50	0,5597
	60	0,6100
	70	0,6485
	80	0,6679
	90	0,6856
	100	0,7056
Model 2	50	0,5155
	60	0,5635
	70	0,6056
	80	0,6332
	90	0,6617
	100	0,6739
Model 3	50	0,4727
	60	0,5174
	70	0,5533
	80	0,5778
	90	0,6036
	100	0,6230

Adapun grafik data debit aliran pada variasi bukaan *valve* yang diperoleh dari hasil pengukuran pada eksperimen dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Grafik debit aliran pada variasi bukaan *valve*

Pada tabel 3.2 dan gambar 3.1 di atas, dapat dilihat bahwa debit aliran pada variasi bukaan *valve* menghasilkan nilai yang berbeda – beda. Debit aliran

yang dihasilkan pada model loop 1 adalah yang paling tinggi dengan rentang nilai 0,5597 sampai 0,7056. Sedangkan debit aliran yang paling rendah dihasilkan oleh model loop 3 dengan rentang nilai 0,4727 sampai 0,6230. Untuk debit aliran pada model loop 2 nilai yang dihasilkan berada di antara jenis lainnya dengan rentang nilai 0,5115 sampai 0,6739.

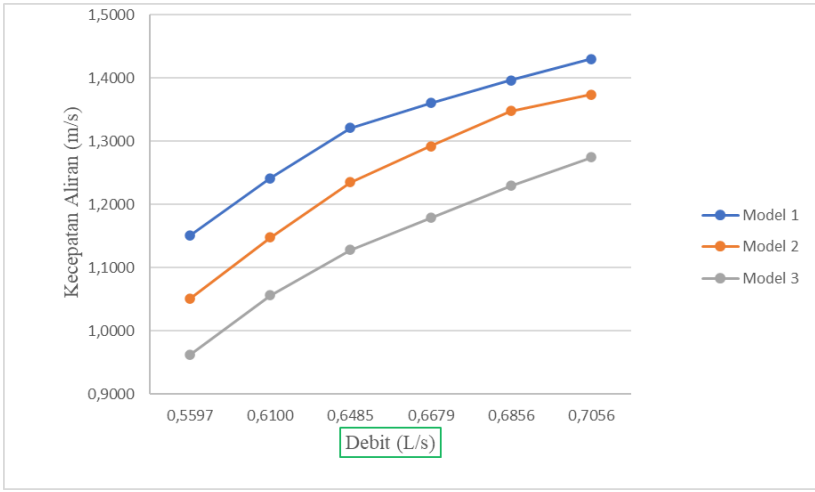
3.1.2 Hubungan Kecepatan Aliran dan Debit Aliran

Data kecepatan aliran dengan debit aliran yang diperoleh dari hasil pengukuran pada eksperimen serta perhitungan data dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3Data kecepatan aliran pada debit aliran

Model Loop	Debit (L/s)	Kecepatan aliran (m/s)
Model 1	0,5597	1,1506
	0,6100	1,2416
	0,6485	1,3207
	0,6679	1,3603
	0,6856	1,3966
	0,7056	1,4304
Model 2	0,5155	1,0503
	0,5635	1,1476
	0,6056	1,2350
	0,6332	1,2919
	0,6617	1,3477
	0,6739	1,3735
Model 3	0,4727	0,9622
	0,5174	1,0560
	0,5533	1,1284
	0,5778	1,1785
	0,6036	1,2292
	0,6230	1,2747

Adapun grafik hubungan data kecepatan aliran dan debit aliran yang diperoleh dari hasil pengukuran pada eksperimen serta perhitungan data dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Grafik hubungan kecepatan aliran dengan debit aliran

Berdasarkan tabel 3.3 dan dan gambar 3.2 yaitu grafik hasil pengujian, terlihat bahwa semakin besar debit aliran, maka kecepatan aliran fluida juga semakin meningkat pada seluruh model loop. Hal ini menunjukkan bahwa debit dan kecepatan aliran memiliki hubungan berbanding lurus.. kecepatan aliran tertinggi didapatkan pada model loop 1 dengan nilai 1,4304 m/s pada debit aliran 0,7056 dan yang terendah didapatkan pada model loop 3 dengan nilai 0,9622 m/s pada debit aliran 0,4727.

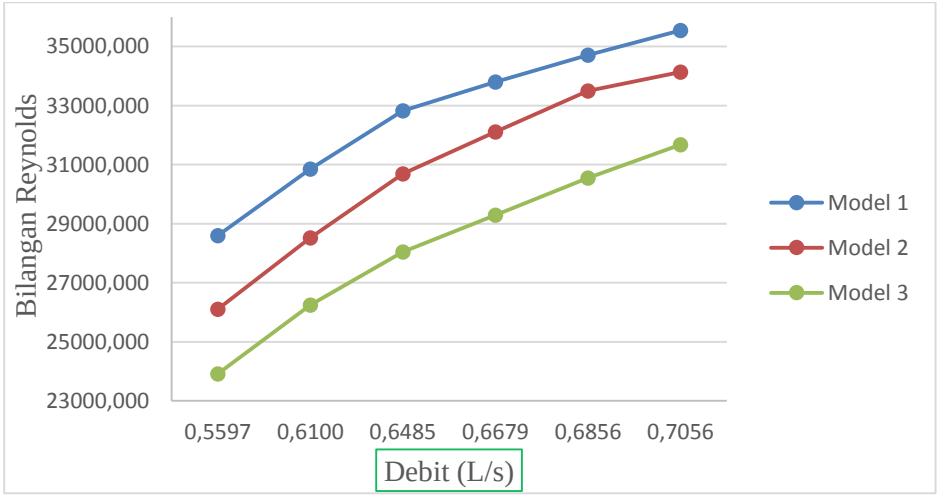
3.1.3 Hubungan Bilangan Reynolds dan Debit Aliran

Data hubungan antara bilangan Reynolds dengan debit pada tiap model loop yang diperoleh dari hasil pengukuran pada eksperimen serta perhitungan data dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Data hubungan bilangan Reynolds dan debit aliran

Model Loop	Debit (L/s)	Bilangan Reynolds
Model 1	0,5597	28593,472
	0,6100	30853,274
	0,6485	32820,731
	0,6679	33803,891
	0,6856	34705,994
	0,7056	35545,615
Model 2	0,5155	26101,076
	0,5635	28517,802
	0,6056	30691,288
	0,6332	32104,200
	0,6617	33490,983
	0,6739	34132,924
Model 3	0,4727	23910,959
	0,5174	26242,389
	0,5533	28040,552
	0,5778	29286,850
	0,6036	30546,740
	0,6230	31676,824

Adapun grafik hubungan bilangan Reynolds dan debit aliran pada pada tiap model loop yang diperoleh dari hasil pengukuran pada eksperimen serta perhitungan data dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3Grafik hubungan bilangan Reynolds dengan debit aliran

Pada gambar 3.3 di atas, dapat dilihat bahwa hubungan debit aliran dan

bilangan Reynolds lurus. Hal ini dapat dilihat semakin tinggi debit aliran maka semakin semakin tinggi bilangan Reynolds yang dihasilkan. Bilangan Reynolds tertinggi didapatkan pada model loop 1 dengan nilai 35545,615 pada debit 0,7056 dan yang terendah didapatkan pada model loop 3 dengan nilai 23910,959 pada debit 0,4727.

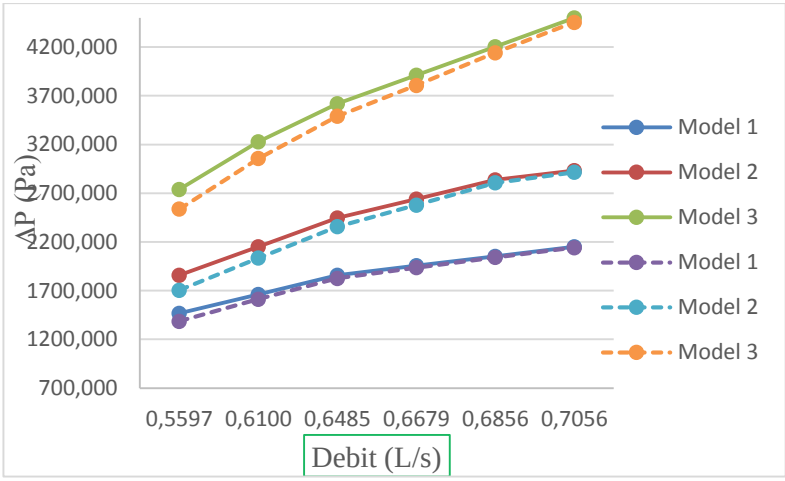
3.1.4 Hubungan Tekanan Diferensial dan Debit Aliran Pada Berbagai Model Loop

Data hubungan tekanan diferensial dan debit aliran pada tiap model loop yang diperoleh dari hasil pengukuran pada eksperimen dan secara teori serta perhitungan data dapat dilihat pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 Data hubungan tekanan diferensial dan debit aliran

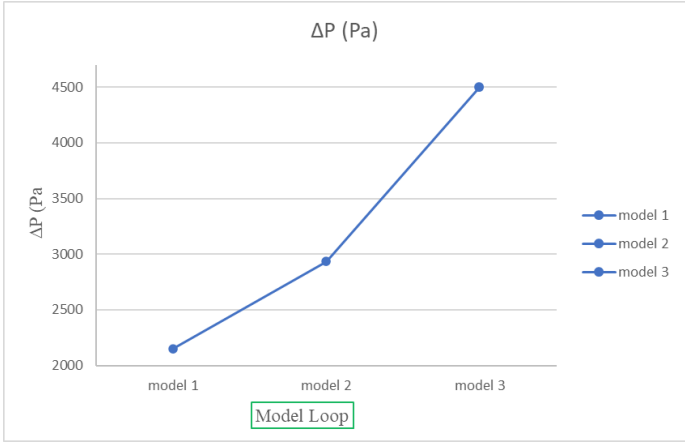
Model Loop	Debit (L/s)	P in (Pa)	P out (Pa)	ΔP (Pa)	ΔP (Pa) Teori	Galat Relatif%
Model 1	0,5597	14377,438	12910,352	1467,086	1385,957	5,854
	0,6100	13008,158	11345,461	1662,697	1613,684	3,037
	0,6485	11149,850	9291,542	1858,308	1826,049	1,767
	0,6679	10563,016	8606,902	1956,114	1937,088	0,982
	0,6856	9878,376	7824,456	2053,920	2041,855	0,591
	0,7056	9584,959	7433,233	2151,725	2141,845	0,461
Model 2	0,5155	14573,049	12714,741	1858,308	1704,807	9,004
	0,5635	13301,575	11149,850	2151,725	2035,122	5,730
	0,6056	11638,878	9193,736	2445,143	2357,158	3,733
	0,6332	10758,627	8117,873	2640,754	2579,183	2,387
	0,6617	10171,793	7335,428	2836,365	2806,818	1,053
	0,6739	9780,570	6846,399	2934,171	2915,448	0,642
Model 3	0,4727	15257,689	12519,130	2738,560	2538,361	7,887
	0,5174	14181,827	10954,238	3227,588	3057,497	5,563
	0,5533	12421,324	8802,513	3618,811	3490,860	3,665
	0,5778	11345,461	7433,233	3912,228	3808,068	2,735
	0,6036	10856,433	6650,788	4205,645	4142,754	1,518
	0,6230	10367,404	5868,342	4499,062	4454,948	0,990

Adapun grafik hubungan tekanan diferensial dan debit aliran pada tiap model loop yang diperoleh dari hasil pengukuran pada eksperimen serta perhitungan secara teori data dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Grafik hubungan tekanan diferensial dan debit aliran

Pada gambar 3.4 di atas, dapat dilihat bahwa hubungan tekanan diferensial dan debit aliran berbanding lurus. Hal ini dapat dilihat semakin tinggi debit aliran maka semakin tinggi juga tekanan diferensial yang dihasilkan. Tekanan diferensial tertinggi didapatkan pada model loop 3 dengan nilai 4499,062 Pa secara eksperimen dan 4454,948 secara teori pada debit aliran 0,6230 dan yang terendah didapatkan pada model loop 1 dengan nilai 1467,086 Pa secara eksperimen dan 1385,957 secara teori pada debit aliran 0,5597.



Gambar 3 5 Grafik pengaruh model loop terhadap nilai tekanan differensial

Grafik menunjukkan bahwa Model 3 memiliki tekanan diferensial paling besar, diikuti Model 2 dan Model 1. Hal ini mengindikasikan bahwa Model 3 memiliki hambatan aliran paling tinggi. Besarnya tekanan diferensial pada Model 3 kemungkinan disebabkan oleh jumlah sambungan, elbow, tee, serta perubahan arah aliran yang lebih banyak, sehingga total koefisien kehilangan tekanan menjadi lebih besar.

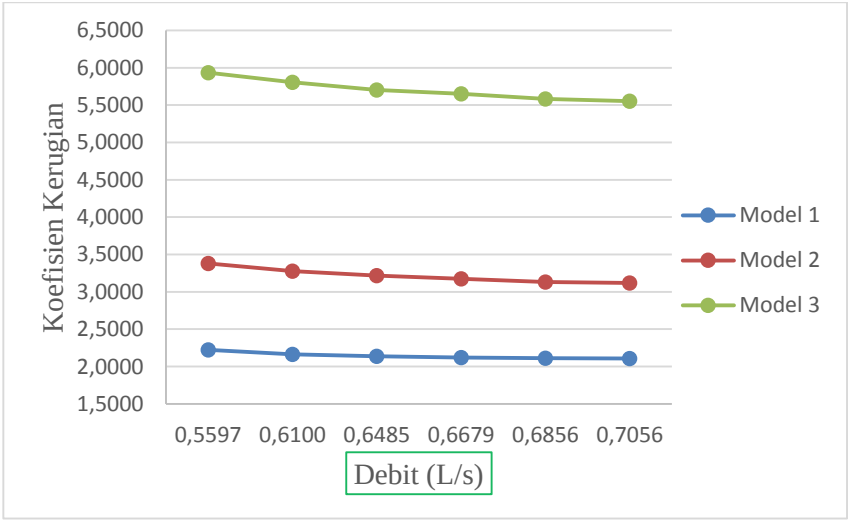
3.1.5 Hubungan Koefisien Kerugian dan Debit Aliran

Data hubungan koefisien kerugian dan debit aliran pada tiap-tiap model loop yang diperoleh dari hasil pengukuran pada eksperimen serta perhitungan data dapat dilihat pada tabel 3.6

Tabel 3.6 Data hubungan koefisien kerugian dan debit aliran

Model Loop	Debit (L/s)	Koefisien Kerugian
Model 1	0,5597	2,2229
	0,6100	2,1638
	0,6485	2,1371
	0,6679	2,1206
	0,6856	2,1124
	0,7056	2,1097
Model 2	0,5155	3,3791
	0,5635	3,2776
	0,6056	3,2157
	0,6332	3,1740
	0,6617	3,1326
	0,6739	3,1199
Model 3	0,4727	5,9338
	0,5174	5,8060
	0,5533	5,7016
	0,5778	5,6504
	0,6036	5,5835
	0,6230	5,5545

Adapun grafik hubungan koefisien kerugian dan debit aliran pada tiap-tiap model loop yang diperoleh dari hasil pengukuran pada eksperimen serta perhitungan data berturut - turut dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.6 Grafik hubungan koefisien kerugian dan debit aliran

Pada gambar 3.5 di atas, dapat dilihat bahwa hubungan koefisien kerugian dan debit aliran berbanding terbalik. Hal ini dapat dilihat semakin tinggi debit aliran maka semakin rendah koefisien kerugian yang dihasilkan. Koefisien kerugian tertinggi didapatkan pada model loop 3 dengan nilai 5,5545 pada debit aliran 0,6230 dan yang terendah didapatkan pada model loop 1 dengan nilai 2,1097 pada debit aliran 0,7056.

3.1.6 Perbandingan Koefisien Kerugian Teori dan Eksperimen

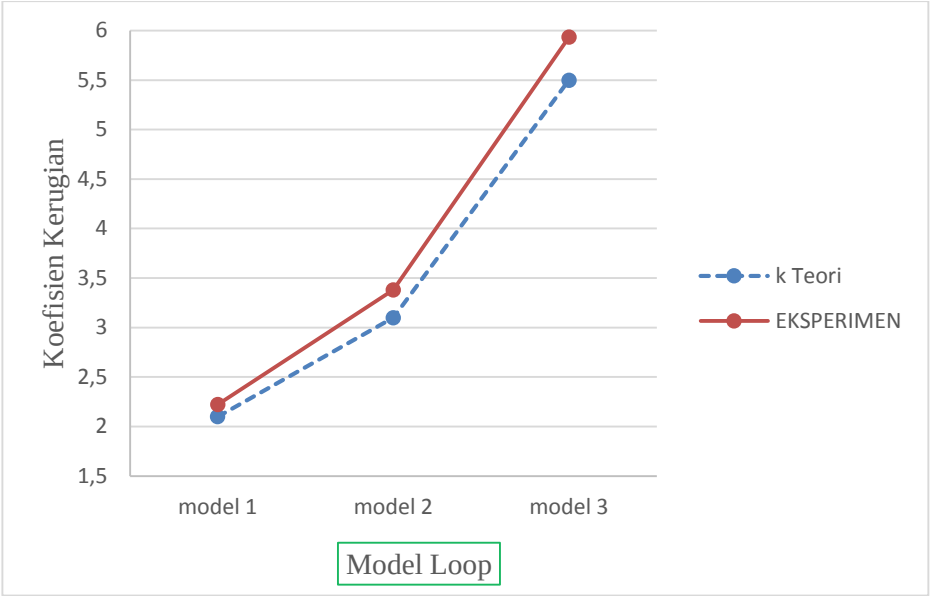
Data perbandingan koefisien kerugian teori dan eksperimen dari pengujian karakteristik aliran fluida melalui tiap model loop dapat dilihat pada tabel 3.7.

Tabel 3.7 Data perbandingan koefisien kerugian teori dan eksperimen

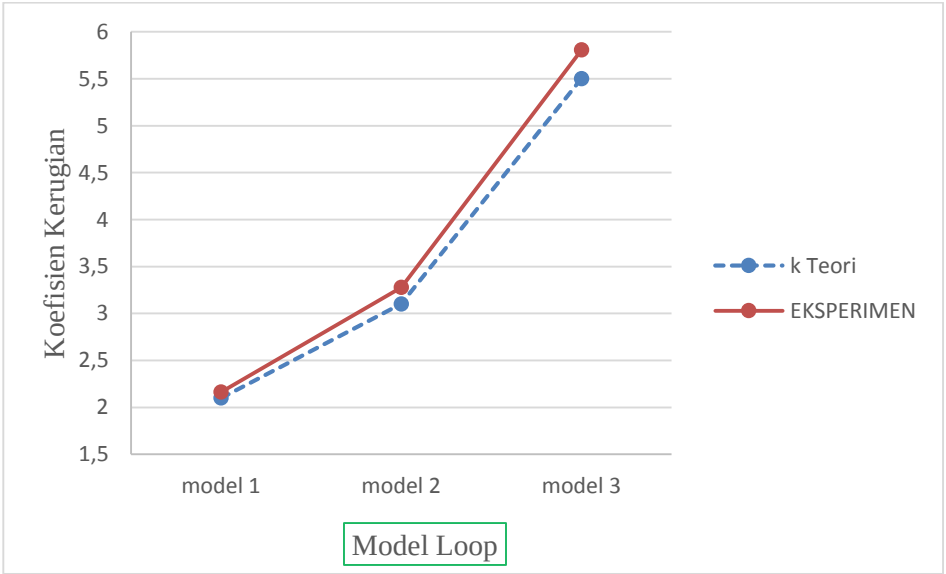
Model Loop	k Teori	k eksperimen	Galat Relatif%
Model 1	2,1	2,2229	5,8536
		2,1638	3,0373
		2,1371	1,7666
		2,1206	0,9822
		2,1124	0,5909
		2,1097	0,4613
Model 2	3,1	3,3791	9,0040
		3,2776	5,7295
		3,2157	3,7327
		3,1740	2,3872
		3,1326	1,0527
		3,1199	0,6422
Model 3	5,5	5,9338	7,8869
		5,8060	5,5631
		5,7016	3,6653
		5,6504	2,7352
		5,5835	1,5181
		5,5545	0,9902

Pada tabel 3.7 di atas ditunjukkan kumpulan data koefisien kerugian yang membandingkan nilai koefisien kerugian berdasarkan teori yang bersumber dari beberapa buku di antaranya Cengel & Cimbala (2006), White (2016), dan Munson et al. (2013). Kemudian dilakukan perhitungan nilai k secara teori dan menyesuikan dengan model loop yang digunakan Sedangkan data eksperimen didapatkan dari proses pengambilan data di laboratorium dan pengolahan data.

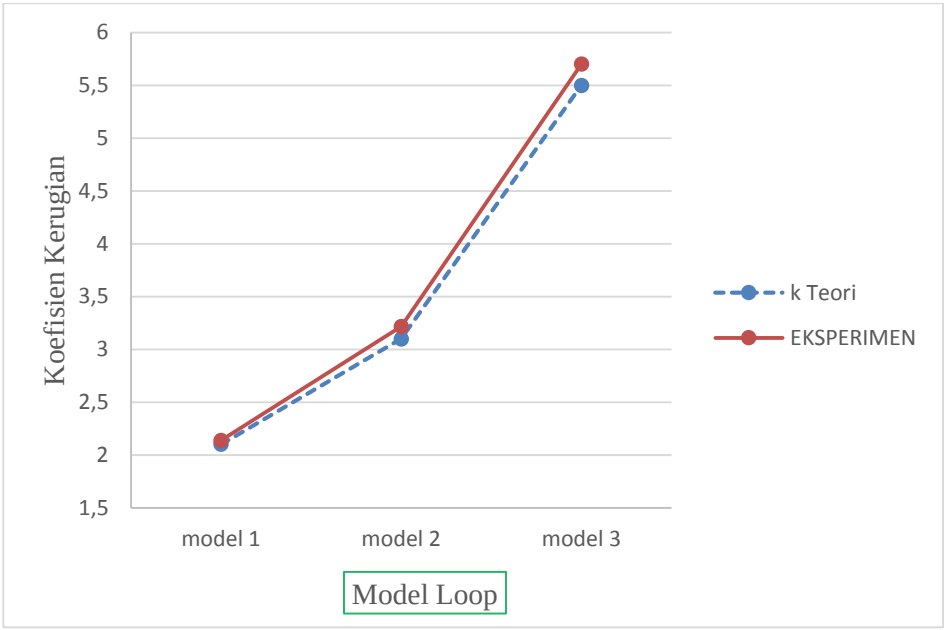
Adapun grafik perbandingan antara nilai koefisien kerugian secara teori dan eksperimen pada tiap-tiap model loop



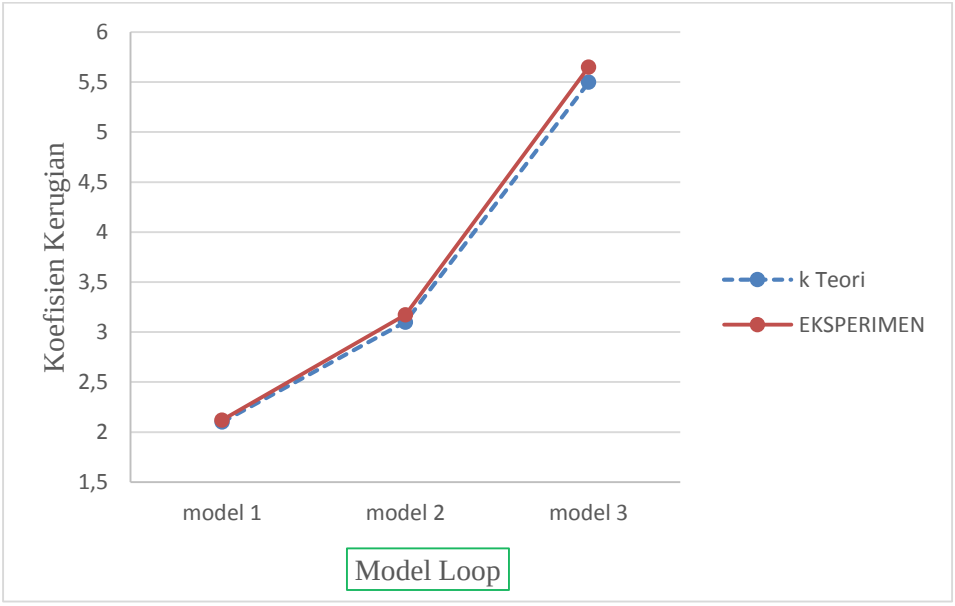
Gambar 3.7 Grafik perbandingan koefisien kerugian secara teori dan secara eksperimen pada pembukaan *valve* 50% pada tiap model loop



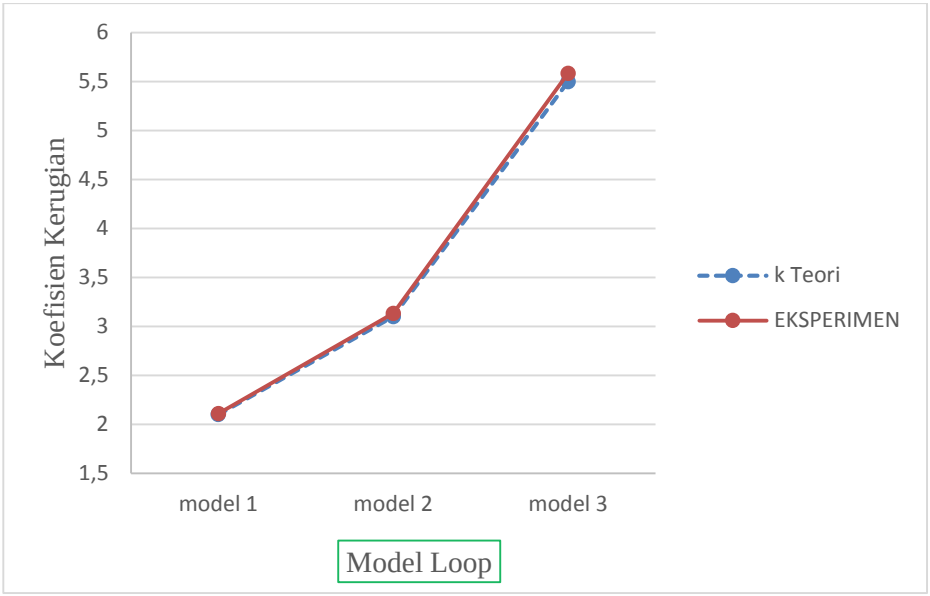
Gambar 3.8 Grafik perbandingan koefisien kerugian secara teori dan secara eksperimen pada pembukaan *valve* 60% pada tiap model loop



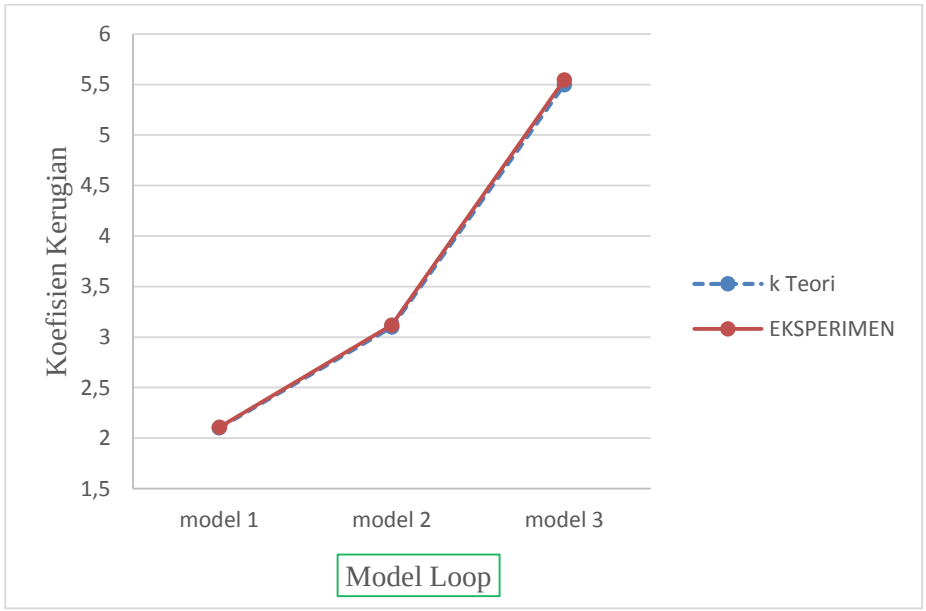
Gambar 3.9 Grafik perbandingan koefisien kerugian secara teori dan secara eksperimen pada pembukaan *valve* 70% pada tiap model loop



Gambar 3.10 Grafik perbandingan koefisien kerugian secara teori dan secara eksperimen pada pembukaan *valve* 80% pada tiap model loop



Gambar 3.11 Grafik perbandingan koefisien kerugian secara teori dan secara eksperimen pada pembukaan *valve* 90% pada tiap model loop



Gambar 3.12 Grafik perbandingan koefisien kerugian secara teori dan secara eksperimen pada pembukaan *valve* 100% pada tiap model loop

3.2 Pembahasan

3.2.1 Debit Aliran pada Variasi Bukaan *Valve*

Dapat dilihat pada tabel 3.2 dan gambar 3.1 debit aliran yang dihasilkan berbeda – beda pada variasi bukaan *valve*. Pada model loop 1, bukaan 50% menghasilkan rerata debit aliran 0,5597 L/s, bukaan 60% menghasilkan rerata debit aliran 0,6100 L/s, bukaan 70% didapatkan rerata debit aliran 0,6458 L/s, bukaan 80% menghasilkan rerata debit aliran 0,6679 L/s, bukaan 90% menghasilkan rerata debit aliran 0,6856 L/s, dan bukaan 100% menghasilkan rerata debit aliran 0,7056 L/a. Pada jenis gate *valve*, bukaan 50% menghasilkan rerata debit aliran 0,5155 L/s, bukaan 60% menghasilkan rerata debit aliran 0,5635 L/s, bukaan 70% didapatkan rerata debit aliran 0,6056 L/s, bukaan 80% menghasilkan rerata debit aliran 0,6332 L/s, bukaan 90% menghasilkan rerata debit aliran 0,6617 L/s, dan bukaan 100% menghasilkan rerata debit aliran 0,6739 L/s. Pada jenis globe *valve*, bukaan 50% didapatkan rerata debit aliran 0,4727 L/s, bukaan 60% didapatkan rerata debit aliran 0,5174 L/s, bukaan 70% didapatkan rerata debit aliran 0,5533 L/s, bukaan 80% didapatkan rerata debit aliran 0,5788 L/s, bukaan 90% didapatkan rerata debit aliran 0,6036 L/s, dan bukaan 100% menghasilkan rerata debit aliran 0,6230 L/s.

Berdasarkan data hasil pengujian, terlihat bahwa semakin besar persentase bukaan *valve*, maka debit aliran pada seluruh model loop cenderung meningkat secara linier. Hal ini menunjukkan bahwa bukaan *valve* memiliki hubungan berbanding lurus terhadap debit aliran. Secara teori, peningkatan bukaan *valve* akan memperbesar luas penampang efektif yang dilalui fluida sehingga hambatan aliran menjadi lebih kecil. Dengan berkurangnya tahanan aliran, fluida dapat mengalir dengan laju yang lebih besar sehingga nilai debit meningkat. Pada Model 1, debit mengalami kenaikan dari 0,5597 L/s pada bukaan 50% menjadi 0,7056 L/s pada bukaan 100%. Kenaikan ini menunjukkan bahwa Model 1 memiliki kemampuan aliran yang paling baik dibandingkan model lainnya. Pada Model 2, debit meningkat dari 0,5155 L/s menjadi 0,6739 L/s. Pola kenaikannya juga cukup konsisten dan mengikuti tren yang hampir sama dengan Model 1, namun nilainya sedikit lebih rendah. Sementara itu, pada Model 3, debit bertambah dari 0,4727 L/s pada bukaan 50% menjadi 0,6230 L/s pada bukaan 100%. Nilai debit pada model ini merupakan yang paling rendah di antara ketiga model. Perbedaan nilai debit antar model menunjukkan bahwa konfigurasi perpipaan dan jumlah kerugian akibat fitting sangat memengaruhi laju aliran. Model dengan jumlah sambungan elbow, tee, atau perubahan arah aliran yang lebih banyak akan menghasilkan kerugian tekanan yang lebih besar, sehingga debit yang dihasilkan menjadi lebih kecil. Grafik juga menunjukkan bahwa Model 1 selalu memiliki debit tertinggi, diikuti Model 2, dan Model 3 terendah pada setiap variasi bukaan *valve*. Hal ini mengindikasikan bahwa Model 1 memiliki total koefisien kehilangan tekanan yang lebih kecil dibandingkan model lainnya. Berdasarkan teori karakteristik aliran pada *valve* menurut Munson et al. (2013)

serta Cengel dan Cimbala (2006), semakin besar pembukaan *valve* maka resistansi aliran semakin kecil sehingga debit aliran meningkat. Pada *valve* dengan karakteristik linear, debit berbanding lurus dengan persentase bukaan *valve*, sehingga peningkatan bukaan dari 50% hingga 100% akan diikuti oleh peningkatan debit aliran.

3.2.2 Hubungan Kecepatan Aliran dan Debit Aliran

Berdasarkan tabel dan grafik hasil pengujian, terlihat bahwa semakin besar debit aliran, maka kecepatan aliran fluida juga semakin meningkat pada seluruh model loop. Hal ini menunjukkan bahwa debit dan kecepatan aliran memiliki hubungan berbanding lurus. Karena diameter pipa yang digunakan pada setiap model tetap, maka luas penampang bernilai konstan. Oleh sebab itu, setiap peningkatan debit akan langsung meningkatkan kecepatan aliran. Pada Model 1, kecepatan aliran meningkat dari 1,1506 m/s pada debit 0,5597 L/s menjadi 1,4304 m/s pada debit 0,7056 L/s. Nilai ini merupakan yang tertinggi dibandingkan model lainnya. Pada Model 2, kecepatan naik dari 1,0503 m/s menjadi 1,3735 m/s seiring bertambahnya debit dari 0,5155 L/s menjadi 0,6739 L/s. Sementara pada Model 3, kecepatan aliran meningkat dari 0,9622 m/s menjadi 1,2747 m/s, yang merupakan nilai terendah dibandingkan Model 1 dan Model 2. Dari grafik terlihat bahwa Model 1 selalu memiliki kecepatan tertinggi, diikuti oleh Model 2 dan Model 3. Hal ini sejalan dengan hasil pengukuran debit sebelumnya, di mana Model 1 juga menunjukkan debit terbesar. Perbedaan kecepatan antar model disebabkan oleh perbedaan konfigurasi sistem perpipaan. Model dengan hambatan aliran yang lebih kecil, seperti jumlah elbow dan tee yang lebih sedikit, akan menghasilkan debit yang lebih besar sehingga kecepatan aliran juga meningkat. Sebaliknya, pada model dengan kerugian tekanan lebih besar, debit yang mengalir menjadi lebih kecil sehingga kecepatan aliran juga lebih rendah.

Berdasarkan teori persamaan kontinuitas menurut Munson et al. (2013) dan Cengel & Cimbala (2006), hubungan antara debit dan kecepatan aliran dinyatakan dengan persamaan $Q = A.v$ Karena luas penampang pipa pada penelitian ini tetap, maka kecepatan aliran berbanding lurus dengan debit. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa peningkatan debit pada setiap model loop selalu diikuti dengan peningkatan kecepatan aliran, sehingga hasil penelitian ini telah sesuai dengan teori kontinuitas yang menyatakan bahwa semakin besar debit aliran, maka semakin besar pula kecepatan alirannya (Munson et al., 2013; Cengel & Cimbala, 2006).

3.2.3 Hubungan Bilangan Reynolds dan Debit Aliran

Berdasarkan tabel dan grafik hasil pengujian, terlihat bahwa semakin besar debit aliran, maka bilangan Reynolds juga semakin meningkat pada seluruh model loop. Hal ini menunjukkan bahwa debit dan bilangan Reynolds memiliki hubungan berbanding lurus. Karena massa jenis, diameter pipa, dan

viskositas fluida pada penelitian ini dianggap konstan, maka nilai bilangan Reynolds sangat dipengaruhi oleh perubahan kecepatan aliran. Karena peningkatan debit menyebabkan kenaikan kecepatan aliran, sehingga nilai Reynolds juga ikut meningkat. Karena massa jenis, diameter pipa, dan viskositas fluida pada penelitian ini dianggap konstan, maka nilai bilangan Reynolds sangat dipengaruhi oleh perubahan kecepatan aliran. Seperti yang telah dibahas sebelumnya, peningkatan debit menyebabkan kenaikan kecepatan aliran, sehingga nilai Reynolds juga ikut meningkat. Pada Model 1, bilangan Reynolds meningkat dari 28.593,47 pada debit 0,5597 L/s menjadi 35.545,62 pada debit 0,7056 L/s. Nilai ini merupakan yang tertinggi dibandingkan model lainnya. Pada Model 2, bilangan Reynolds bertambah dari 26.101,08 menjadi 34.132,92 seiring meningkatnya debit dari 0,5155 L/s menjadi 0,6739 L/s. Sementara itu, pada Model 3, bilangan Reynolds meningkat dari 23.910,96 menjadi 31.676,82 pada rentang debit 0,4727 L/s hingga 0,6230 L/s. Dari grafik terlihat bahwa Model 1 memiliki nilai Reynolds tertinggi, diikuti Model 2 dan Model 3. Hal ini sesuai dengan hasil grafik debit dan kecepatan aliran sebelumnya, di mana Model 1 juga menunjukkan nilai tertinggi. Seluruh nilai Reynolds pada ketiga model berada jauh di atas 4000, sehingga dapat disimpulkan bahwa aliran yang terjadi pada seluruh variasi debit termasuk dalam aliran turbulen. Dengan demikian, sistem perpipaan pada penelitian ini bekerja pada kondisi turbulen untuk seluruh variasi bukaan *valve*.

Kondisi aliran turbulen ini menyebabkan rugi tekanan menjadi lebih besar karena adanya pencampuran fluida dan gesekan yang lebih intens di dalam pipa maupun pada sambungan elbow dan tee.

Berdasarkan teori bilangan Reynolds menurut Cengel dan Cimbala (2006) serta Munson et al. (2013), nilai Reynolds dipengaruhi secara langsung oleh kecepatan aliran. Karena kecepatan aliran berbanding lurus dengan debit berdasarkan persamaan kontinuitas, maka bilangan Reynolds juga berbanding lurus dengan debit. Hasil eksperimen pada penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan debit pada setiap model loop diikuti dengan peningkatan nilai bilangan Reynolds.

3.2.4 Hubungan Tekanan Diferensial dan Debit Aliran

Dapat dilihat pada tabel 3.5 dan gambar 3.4 pada model 1, tekanan diferensial eksperimen meningkat dari 1467,1 Pa pada debit 0,5597 L/s menjadi 2151,7 Pa pada debit 0,7056 L/s. Nilai teoritis juga menunjukkan tren peningkatan dari 1385,96 Pa menjadi 2141,85 Pa. Selisih antara teori dan eksperimen relatif kecil, yang menunjukkan bahwa model teoritis cukup mampu merepresentasikan kondisi aktual. Pada Model 2, tekanan differensial eksperimen meningkat dari 1858,3 Pa menjadi 2934,2 Pa, sedangkan nilai teoritis naik dari 1704,81 Pa menjadi 2915,45 Pa. Pola kenaikan ini menunjukkan kesesuaian yang baik antara hasil eksperimen dan teori. Pada Model 3, diperoleh tekanan diferensial tertinggi dibandingkan model lainnya, yaitu dari 2738,6 Pa

hingga 4499,1 Pa. Nilai teoritis juga meningkat dari 2538,36 Pa menjadi 4454,95 Pa. Grafik menunjukkan bahwa Model 3 memiliki tekanan diferensial paling besar, diikuti Model 2 dan Model 1. Hal ini mengindikasikan bahwa Model 3 memiliki hambatan aliran paling tinggi. Besarnya tekanan diferensial pada Model 3 kemungkinan disebabkan oleh jumlah sambungan, elbow, tee, serta perubahan arah aliran yang lebih banyak, sehingga total koefisien kehilangan tekanan menjadi lebih besar.

Dari eksperimen yang telah dilakukan maka hubungan tekanan diferensial dan debit aliran adalah berbanding lurus, dimana semakin besar debit aliran maka semakin besar tekanan diferensial yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena jika tekanan diferensial berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan aliran. Karena kecepatan berbanding lurus dengan debit, maka tekanan diferensial juga meningkat seiring bertambahnya debit (Munson et al., 2013). Kemudian untuk perbandingan antara tekanan diferensial dengan berbagai model loop berdasarkan data eksperimen dan teori yang telah dihitung model loop 3 memiliki tekanan diferensial yang paling tinggi diikuti dengan model loop 2 dan model loop 1 ini disebabkan karena model loop 3 memiliki perubahan arah aliran yang dipengaruhi oleh elbow dan tee dengan jumlah yang paling banyak maka kerugian aliran akan lebih tinggi yang menghasilkan nilai k yang lebih besar sehingga tekanan diferensial akan lebih besar (Cengel dan Cimbala 2013).

3.2.5 Hubungan Koefisien Kerugian dan Debit Aliran

Berdasarkan tabel dan grafik hasil penelitian, terlihat bahwa semakin besar debit aliran, nilai koefisien kerugian cenderung mengalami penurunan pada seluruh model loop. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara debit dan koefisien kerugian bersifat berbanding terbalik. nilai koefisien kerugian dipengaruhi oleh tekanan diferensial dan kecepatan aliran. Ketika debit meningkat, kecepatan aliran juga meningkat, akibatnya, nilai koefisien kerugian yang dihitung cenderung menurun.Pada Model 1, nilai koefisien kerugian menurun dari 2,2229 pada debit 0,5597 L/s menjadi 2,1097 pada debit 0,7056 L/s. Pada Model 2, nilai koefisien kerugian turun dari 3,3791 menjadi 3,1199. Sementara pada Model 3, penurunan terjadi dari 5,9338 menjadi 5,5545. Dari grafik terlihat bahwa Model 3 memiliki nilai koefisien kerugian tertinggi, diikuti oleh Model 2 dan Model 1. Hal ini menunjukkan bahwa Model 3 memiliki hambatan aliran paling besar dibandingkan model lainnya. Besarnya nilai koefisien kerigian ini kemungkinan disebabkan oleh konfigurasi perpipaan yang memiliki jumlah sambungan elbow dan tee lebih banyak atau perubahan arah aliran yang lebih kompleks. Sebaliknya, Model 1 memiliki nilaikoefisien kerugian paling kecil, yang menunjukkan bahwa sistem perpipaannya memberikan rugi-rugi minor yang lebih rendah. Penurunan nilai koefisien kerugian terhadap debit yang terlihat pada grafik juga mengindikasikan bahwa pada debit yang lebih besar, pengaruh kerugian lokal menjadi relatif lebih stabil.

Dari eksperimen yang telah dilakukan maka hubungan koefisien kerugian

dan debit aliran adalah berbanding terbalik, artinya semakin besar koefisien kerugian maka semakin kecil debit aliran yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena jika nilai koefisien kerugian tinggi maka kehilangan tekanan akan semakin besar, sehingga debit aliran yang dihasilkan akan lebih rendah. Sebaliknya, jika nilai koefisien kerugian rendah maka kehilangan tekanan semakin kecil, memungkinkan nilai debit aliran lebih tinggi (Munson et al., 2013). Untuk perbandingan antara nilai koefisien kerugian dengan berbagai model loop yang dimana model loop 3 memiliki kosfisien kerugian yang paling tinggi kemudian di ikuti dengan model loop 2 dan model loop 1 memiliki kosfisien kerugian yang lebih rendah hal ini disebabkan karena model loop 1 memiliki jumlah elbow dan tee yang lebih banyak dan model loop 1 memiliki elbow yang paling kurang dari ketiga model loop ini sesuai denga napa yang dibahasa di buku (Munson et al., 2013.) dan (Cengel & Cimbala, 2006) dimana semakin banyak elbow,tee atau perubahan aliran maka nilai koefisien keugian akan semakin tinggi.

3.2.6 Perbandingan Koefisien Kerugian Teori dan Eksperimen

Berdasarkan Tabel 3.7 serta Gambar 3.6 sampai Gambar 3.11, ditunjukkan perbandingan nilai koefisien kerugian (K) antara hasil teori dan hasil eksperimen pada tiga model loop untuk variasi bukaan *valve* sebesar 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, dan 100%. Secara umum, keenam grafik menunjukkan pola yang sama, yaitu nilai koefisien kerugian meningkat dari Model 1 ke Model 3, baik pada hasil teori maupun hasil eksperimen. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi sistem perpipaan pada setiap model memberikan pengaruh langsung terhadap besarnya rugi tekanan.

Pada Gambar 3.6, terlihat bahwa pada bukaan *valve* 50%, nilai koefisien kerugian eksperimen untuk Model 1 sebesar 2,2229, lebih tinggi dibandingkan nilai teori sebesar 2,1. Untuk Model 2, nilai eksperimen sebesar 3,3791 juga lebih tinggi dibanding teori 3,1. Pada Model 3, nilai eksperimen mencapai 5,9338, sedangkan teori sebesar 5,5. Pada kondisi ini, selisih antara teori dan eksperimen masih terlihat cukup jelas. Hal ini dapat disebabkan karena pada bukaan *valve* yang lebih kecil, aliran fluida belum sepenuhnya stabil sehingga terjadi fluktuasi tekanan yang lebih besar. Selain itu, pembukaan *valve* yang sempit meningkatkan turbulensi lokal di sekitar *valve* dan sambungan, sehingga rugi tekanan aktual menjadi lebih besar dari perhitungan teori.

Pada Gambar 3.7, pola grafik masih menunjukkan kecenderungan yang sama. Nilai eksperimen untuk masing-masing model masih sedikit lebih tinggi dibandingkan teori, namun selisihnya mulai menurun dibandingkan bukaan 50%. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan bukaan *valve* mulai memberikan aliran yang lebih stabil, sehingga hasil eksperimen semakin mendekati nilai teoritis. Pada Gambar 3.8, garis teori dan eksperimen terlihat semakin berdekatan. Nilai koefisien kerugian eksperimen pada Model 1 sebesar 2,1371, Model 2 sebesar 3,2157, dan Model 3 sebesar 5,7016. Pada tahap ini, perbedaan antara teori dan eksperimen sudah relatif kecil, yang menunjukkan bahwa kondisi aliran semakin

mendekati asumsi teoritis.

Pada Gambar 3.9, grafik menunjukkan bahwa garis teori dan eksperimen hampir berimpit. Hal ini menunjukkan bahwa pada bukaan *valve* 80%, sistem aliran sudah cukup stabil sehingga hasil eksperimen memiliki tingkat akurasi yang tinggi terhadap teori. Kecenderungan ini juga memperlihatkan bahwa pengaruh kesalahan pembacaan alat dan fluktuasi tekanan mulai berkurang. Pada Gambar 3.10, perbedaan nilai teori dan eksperimen semakin kecil pada seluruh model.

Pada pembukaan *valve* 100%Garis grafik hampir menyatu, terutama pada Model 1 dan Model 2. Hal ini menunjukkan bahwa pada debit yang lebih besar, aliran turbulen menjadi lebih seragam sehingga nilai koefisien kerugian mendekati nilai teoritis. Pada Gambar 3.11, terlihat bahwa hasil eksperimen dan teori memiliki kesesuaian paling baik. Nilai eksperimen pada Model 1 sebesar 2,1097, Model 2 sebesar 3,1199, dan Model 3 sebesar 5,5545, yang sangat dekat dengan nilai teori masing-masing.

Kondisi ini menunjukkan bahwa pada bukaan *valve* penuh, sistem aliran mencapai kondisi paling stabil, sehingga nilai koefisien kerugian aliran yang terukur sangat mendekati nilai teoritis. Dari keenam grafik dapat disimpulkan bahwa semakin besar bukaan *valve*, maka selisih antara nilai teori dan eksperimen semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan debit menyebabkan aliran menjadi lebih stabil dan pengaruh rugi-rugi tambahan di luar teori semakin berkurang.

Secara teoritis, perbedaan nilai koefisien kerugian pada setiap model loop dipengaruhi oleh kompleksitas konfigurasi sistem perpipaan, terutama jumlah sambungan elbow 90° dan tee yang digunakan. model 3 memiliki nilai koefisien kerugian paling tinggi karena memiliki jumlah fitting dan perubahan arah aliran yang lebih banyak dibandingkan model lainnya. Banyaknya sambungan tersebut menyebabkan aliran mengalami kehilangan energi yang lebih besar, sehingga rugi tekanan minor meningkat. odel 2 menunjukkan nilai koefisien kerugian yang lebih rendah dari model 3 namun masih lebih tinggi dibandingkan model 1 karena konfigurasi perpipaannya masih memiliki beberapa sambungan elbow dan tee. Sementara itu, Model 1 memiliki nilai koefisien kerugian paling rendah karena susunan sistem perpipaannya lebih sederhana dengan jumlah sambungan yang lebih sedikit, sehingga hambatan aliran dan rugi tekanan minor yang terjadi juga lebih kecil. Dengan demikian, hasil penelitian yang menunjukkan urutan nilai koefisien kerugian model 3 > model 2 > model 1 telah sesuai dengan teori minor losses pada sistem perpipaan, di mana semakin kompleks jalur aliran maka semakin besar nilai koefisien kerugiannya (Çengel & Cimbala, 2006).

BAB IV
PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis karakteristik aliran fluida melalui berbagai model loop, dapat disimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh variasi debit aliran terhadap nilai koefisien kerugian yang melalui tiap-tiap model loop adalah berbanding terbalik. Hal ini disebabkan karena semakin meningkat koefisien kerugian artinya besar hambatan yang dialami fluida saat melalui model loop yang mana dapat mengakibatkan terjadinya gejolak pada aliran, sehingga nilai debit aliran yang melalui *valve* akan menurun. Hubungan ini menunjukkan kecenderungan berbanding terbalik, di mana kenaikan debit menyebabkan kecepatan aliran meningkat sehingga nilai koefisien kerugian hasil perhitungan eksperimen menjadi semakin mendekati nilai teoritis.
2. Perbedaan model loop memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai koefisien kerugian. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa nilai koefisien kerugian tertinggi terdapat pada Model 3, kemudian diikuti oleh model 2, dan nilai terendah pada model 1. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kompleks konfigurasi sistem perpipaan, seperti jumlah elbow, tee, dan perubahan arah aliran, maka rugi tekanan yang terjadi semakin besar. Model 1 menghasilkan nilai koefisien kerugian yang paling kecil. Pada model 2 nilai koefisien kerugian meningkat. Sementara itu, model 3 menunjukkan nilai koefisien kerugian terbesar karena memiliki konfigurasi perpipaan yang paling kompleks. Banyaknya sambungan tee, serta perubahan arah aliran menyebabkan terjadinya rugi tekanan yang lebih tinggi. Semakin sering aliran mengalami perubahan arah, maka semakin besar energi yang hilang dalam bentuk tekanan.
3. Hubungan antara debit aliran dan koefisien kerugian berdasarkan hasil eksperimen dan teori menunjukkan kesesuaian yang baik. Perbandingan antara nilai teori dan eksperimen pada seluruh variasi bukaan *valve* 50% hingga 100% menunjukkan bahwa hasil eksperimen memiliki pola yang sangat mendekati teori. Selisih nilai koefisien kerugian relatif kecil dan semakin menurun pada bukaan *valve* yang lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa model perhitungan teoritis yang digunakan masih relevan dan mampu merepresentasikan kondisi aktual sistem perpipaan pada penelitian ini.

4.2 Saran

1. Melakukan penelitian lebih lanjut dengan melibatkan lebih banyak variabel seperti analisis tiap percabangan pipa , ukuran pipa, atau material yang digunakan.
2. Menggunakan simulasi CFD untuk memodelkan aliran melalui berbagai model loop.

DAFTAR PUATAKA

Afianti, W. (2021). Pengujian Alat Uji Osborne Reynold Menggunakan Pipa Horizontal Dengan Ukuran 1inch (Doctoral Dissertation, Universitas Pasir Pengaraian).

Cengel, Yunus A., & Cimbala, John M. 2006. *Fluid Mechanics: Fundamental and Aplications*. McGraw Hill. New York.

Ghurri, Ainul. 2014. Dasar – Dasar Mekanika Fluida. Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana. Bali.

Helmizar. 2010. Studi Eksperimental Pengukuran Head Losses Mayor (Pipa PVC Diameter ¾) Dan Head Losses Minor (Belokan KNEE 90º Diameter ¾) Pada Sistem INstalasi Pipa

Munson, Bruce R., Donald F. Young, Theodore H. Okiishi, Wade W. Huebsch. 2009. *Fundamentals of Fluid Mechanics Sixth Edition*. John Wiley & Sons, Inc. America.

Munson, Bruce R., Theodore H. Okiishi, Wade W. Huebsch, Alric P. Rothmayer. 2013. Fundamentals of Fluid Mechanics Seventh Edition. John Wiley & Sons, Inc. America

Nastain dan Suroso. 2005. Mekanika Fluida. Jurusan Teknik Sipil Universitas Soedirman. Purwokerto.

Negara, Wendy Priana. 2014. Perbandingan Analisis Pressure drop Pada Pipa Lengkung 900 Standar Ansi B36.10 Dengan COSMOSfloWorks 2007. Jakarta: Universitas Gunadarma.

Purnomo, Agus. 2016. Studi Aliran Fluida Pipan *Expansion* (*U-Loop*) Pada Jalur Pipa Steam Menuju Ke Inlet Turbine Generator. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Salam, Nasaruddin & Rustan Tarakka. 2021. Dinamika Fluida. Unhas Press. Makassar.

Simanjuntak, Herman Ferdinan Philip., Manik ,Parlindungan., Santosa ,Ari Wibawa Budi. 2017. Analisa Pengaruh Panjang, Letak dan Geometri Lunas Bilga Terhadap Arah dan Kecepatan Aliran (Wake) Pada Kapal Ikan Tradisioal (Studi Kasus Kapal Tipe Kragan). Universitas Diponegoro.

White, Frank M. 1997. *Fluid Mechanic Fourth Edition*. McGraw Hill. New York.

Wibowo, Priyo Ari. 2013. Analisis Penurunan Head Losses Pada Belokan Pipa 180 dengan Variasi NonTube Bundle, Tube Bundle 0,25 Inchi, Dan Tube Bundle 0,5 Inchi. Universitas Jember.

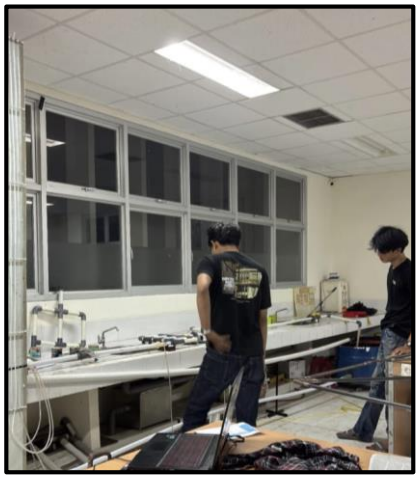
Zainudin, I Made Adi Sayoga, I Made Nuarsa. 2012. Analisa Pengaruh Variasi Sudut Sambungan Belokan Terhadap Head Losses Aliran Pipa. Dinamika Teknik Mesin: 2 (2), 75-83.

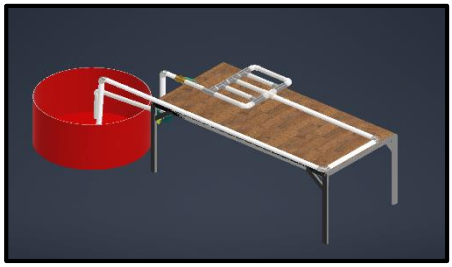
LAMPIRAN

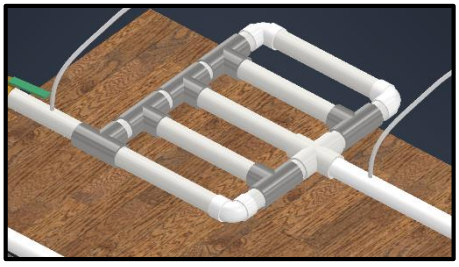












Model Loop	h in (cm)	h out (cm)	ukaan Valve (°	waktu			
				1	2	3	Rata"
Model 1	147	132	50	9,17	8,85	8,79	8,93667
	133	116	60	8,16	8,18	8,25	8,19667
	114	95	70	7,69	7,71	7,73	7,71
	108	88	80	7,47	7,49	7,5	7,48667
	110	80	90	7,28	7,35	7,25	7,29333
	98	76	100	6,97	7,13	7,16	7,08667
Model 2	149	130	50	9,69	9,68	9,73	9,7
	136	114	60	8,85	8,85	8,92	8,87333
	119	94	70	8,27	8,21	8,29	8,25667
	110	83	80	7,92	7,89	7,88	7,89667
	104	75	90	7,54	7,56	7,57	7,55667
	1	70	100	7,42	7,43	7,41	7,42
Model 3	156	128	50	10,53	10,56	10,64	10,5767
	145	112	60	9,7	9,62	9,67	9,66333
	127	90	70	9,05	9	9,06	9,03667
	116	76	80	8,67	8,64	8,65	8,65333
	111	68	90	8,26	8,29	8,3	8,28333
	106	60	100	8,12	7,97	7,99	8,02667