

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Suatu lubang adalah bukaan pada dinding atau dasar tangki di mana zat cair mengalir melaluinya. Biasanya lubang ini digunakan untuk mengukur debit aliran. Lubang tersebut bisa berbentuk segi empat, segi tiga ataupun lingkaran. Sisi hulu lubang tersebut bisa tajam atau dibulatkan. Karena kemudahan dalam pembuatan, lubang lingkaran dengan sisi tajam adalah yang paling banyak digunakan untuk pengukuran debit aliran. Menurut ukurannya lubang dapat dibedakan menjadi lubang kecil dan besar.

Pada lubang besar, apabila sisi atas dari lubang tersebut berada di atas permukaan air di dalam tangki, maka bukaan tersebut dikenal dengan peluap. Peluap ini juga berfungsi sebagai alat ukur debit aliran, dan banyak digunakan pada jaringan irigasi. Peluap dengan ukuran yang besar disebut bendung, yang selain sebagai pengukur debit, dalam jaringan irigasi juga berfungsi untuk menaikkan elevasi muka air. Tinjauan hidraulis bendung adalah sama dengan peluap. Peluap biasanya terbuat dari plat, sedang bendung terbuat dari beton atau pasangan batu. Pengaturan aliran fluida inkompresibel sangat diperlukan pada suatu industri dan pengaturan ini dapat dilaksanakan dengan memasang suatu orifice yang telah ditentukan baik jenis, bentuk maupun letak posisinya.

Oleh karena itu diperlukan adanya suatu penelitian tentang koefisien hidrolik yang melewati suatu orifice. Sehingga nantinya dapat diketahui karakteristik suatu aliran dan selanjutnya kita dapat menentukan daerah mana yang memerlukan suatu pipa orifice.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka perlu untuk dilakukan penelitian yang bersifat eksperimental terkait bagaimana menentukan koefisien-koefisien orifice dengan menggunakan variasi perubahan tinggi energi dan penulis tuangkan dalam penelitian yang berjudul **“Studi Eksperimental Karakteristik Aliran Melalui Lubang dengan Variasi Debit dan Tinggi Energi”**.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini dapat diuraikan dalam rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kecepatan aliran yang keluar menggunakan penutup saluran dengan diameter yang berbeda?
2. Bagaimana hubungan antara koefisien kecepatan, debit, dan kontraksi terhadap perubahan tinggi energi dengan debit dan penutup saluran yang berbeda?

1.3 Tujuan dan Manfaat

Setelah dirumuskan permasalahan yang ada pada latar belakang maka tujuan dari penelitian adalah:

1. Mengetahui pengaruh diameter terhadap kecepatan aliran yang keluar pada orifice.
2. Mengetahui hasil akhir mengenai hubungan antara koefisien kecepatan, debit, dan kontraksi terhadap perubahan tinggi energi dengan debit dan penutup saluran yang berbeda

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah diharapkan dapat dijadikan referensi dalam pemberian informasi yang efektif, efisien, dan berkelanjutan dalam menentukan kecepatan aliran dalam kehidupan sehari-hari..

1.4 Hidrolika

1.4.1 Definisi dan Ruang Lingkup

Hidrolika berasal dari kata *hydor* dalam bahasa Yunani yang berarti air. Dengan demikian ilmu hidrolika dapat didefinisikan sebagai cabang dari ilmu teknik yang mempelajari perilaku air baik dalam keadaan diam maupun bergerak. Sudah sejak lama ilmu hidrolika dikembangkan di Eropa, yang pada waktu itu digunakan sebagai dasar dalam pembuatan bangunan-bangunan air. Ilmu tersebut dikembangkan berdasarkan pendekatan empiris dan eksperimental, dan terutama hanya digunakan untuk mempelajari perilaku air, sehingga ruang lingkungannya terbatas. Dengan berkembangnya ilmu aeronotika, teknik kimia, mesin, sipil, pertambangan dan sebagainya, maka diperlukan ilmu dengan tinjauan yang lebih luas.

Keadaan ini telah mengantarkan para ahli untuk menggabungkan ilmu hidrolika eksperimen dengan hidrodinamika klasik, dan ilmu baru tersebut dikenal dengan mekanika fluida. Ilmu mekanika fluida mempunyai ruang lingkup yang lebih luas, yaitu mempelajari perilaku fluida baik dalam bentuk zat cair maupun gas. Aliran air dalam saluran dapat berupa aliran saluran muka air bebas (aliran saluran terbuka) dan aliran dalam pipa. Aliran saluran terbuka mempunyai muka air bebas dan tekanan permukaan sama dengan tekanan atmosfer. Sedangkan aliran dalam pipa tidak mempunyai muka air bebas dan tekanan atmosfer langsung tetapi mempunyai tekanan hidrolik (Utami & Susilawati, 2000)

Hidrolika dapat dibedakan dalam dua bidang yaitu hidrostatika yang mempelajari zat cair dalam keadaan diam, dan hidrodinamika yang mempelajari zat cair bergerak. Di dalam hidrodinamika dipelajari zat cair ideal, yang tidak mempunyai kekentalan dan tidak termampatkan. Sebenarnya zat cair ideal tidak ada di alam. Tetapi anggapan zat cair ideal perlu dilakukan terutama untuk memudahkan analisis perilaku gerak zat cair. Air mempunyai kekentalan dan pemampatan (pengurangan volume karena penambahan tekanan) yang sangat kecil, sehingga pada kondisi tertentu dapat dianggap sebagai zat cair ideal.

Ilmu hidrolika mempunyai arti penting mengingat air merupakan salah satu jenis fluida yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Air sangat diperlukan untuk kebutuhan hidup sehari-hari seperti air minum, irigasi, pembangkit listrik dan sebagainya. Perencanaan bangunan air untuk memanfaatkan dan mengaturnya

merupakan bagian dari teknik hidro yang termasuk dalam bidang teknik sipil. Bidang teknik hidro masih dapat dibagi menjadi beberapa bidang berikut ini:

1. Hidrologi terapan, yang merupakan aplikasi dari prinsip-prinsip hidrologi seperti hidrometeorologi, pengembangan air tanah, perkiraan debit sungai, hidrologi perkotaan, dan sebagainya.
2. Teknik irigasi dan drainasi, yang meliputi perencanaan dan pelaksanaan pekerjaan jaringan dan bangunan-bangunan irigasi dan drainasi permukaan serta bawah tanah.
3. Teknik transportasi air, meliputi perencanaan dan pelaksanaan pekerjaan pelabuhan, saluran-saluran pelayaran.
4. Bangunan tenaga air, terdiri dari pengembangan tenaga hidroelektrik dengan menggunakan waduk, turbin, dan fasilitas-fasilitas lainnya.
5. Pengendalian banjir dan sedimen, meliputi perencanaan dan pelaksanaan bangunan-bangunan pengendali banjir dan penanggulangan erosi dan sedimentasi.
6. Teknik bendungan, merencanakan dan melaksanakan pekerjaan bendungan dan bangunan-bangunan pelengkapannya. Bendungan merupakan bangunan utama untuk pekerjaan lainnya seperti irigasi, pengendalian banjir dan pembangkit listrik tenaga air.
7. Teknik jaringan pipa, seperti pengangkutan/pengaliran air, minyak, gas dan fluida lainnya melalui sistem pemipaan.
8. Teknik pantai, perencanaan dan pelaksanaan bangunan-bangunan pelabuhan dan penanggulangan erosi pantai serta bangunan lepas pantai.
9. Teknik sumber daya air, perancangan sistem waduk (reservoir) dan fasilitas-fasilitas lainnya untuk mencapai penggunaan sumber daya air secara optimum.
10. Teknik penyehatan, yang meliputi sistem pengumpulan dan distribusi air untuk berbagai keperluan, dan sistem pembersihan (treatment) dari air buangan (Triatmodjo, 1993).

1.4.2 Sejarah Perkembangan Ilmu Hidrolika

Pada zaman Mesir kuno dan Babilonia, teknik hidraulik telah dipraktikkan dalam kehidupan sehari-hari. Bangunan-bangunan irigasi dan drainasi seperti bendungan, saluran, akuaduk, dan sebagainya telah dibangun pada tahun 2500 sebelum masehi. Pada masa tersebut juga telah dibuat saluran besar dari Laut Tengah ke Laut Merah. Sekitar tahun 1400 sebelum masehi dibuat saluran serupa dari Sungai Nil ke Laut Merah.

Sejarah ilmiah ilmu hidraulika dimulai oleh Archimedes (287-212 SM) yang mengemukakan hukum benda terapung dan teori yang mendukungnya. Pada masa kekaisaran Romawi, beberapa saluran/terowongan air dibangun setelah diketahuinya hukum-hukum aliran air. Sesudah kemunduran kekaisaran Romawi (476 M), perkembangan ilmu hidraulika terhenti selama hampir 1000 tahun. Ilmu hidraulika mulai berkembang lagi, ketika Leonardo da Vinci (1452- 1519) melakukan penelitian mengenai aliran melalui saluran terbuka, gerak relatif fluida dan benda

yang terendam dalam air, gelombang, pompa hidraulis, dan sebagainya. Pada masa tersebut muncul juga seorang ahli matematika Belanda yaitu Simon Stevin (1548-1620) yang menyumbang perkembangan ilmu hidrostatika. Hasil karyanya yang dipublikasikan pada tahun 1586 memberikan analisis gaya yang dilakukan oleh zat cair pada bidang terendam. Prinsip hidrostatika yang dikemukakan yaitu: pada bidang horisontal yang terendam di dalam zat cair bekerja gaya yang besarnya sama dengan berat kolom zat cair di atas bidang tersebut. Selain itu juga perlu diingat karya dari Galileo (1564-1642) yang menemukan hukum benda jatuh dalam zat cair. Masa antara Leonardo da Vinci sampai dengan Galileo disebut dengan zaman Renaissance.

Pada zaman setelah renaissance dapat dicatat Evangelista Torricelli (1608-1647), murid Galileo, yang menemukan kecepatan aliran melalui lobang. Selanjutnya Edme Mariotte (1620-1684) menentukan secara eksperimental nilai koefisien debit pada lobang. Pada masa yang sama, Robert Hooke (1635-1703), yang terkenal dengan teori elastisitas, meneliti tentang anemometer dan baling-baling yang akhirnya menjadi dasar dalam pengembangan baling-baling kapal. Antoin Parent (1666-1716) mempelajari kincir air dan mencari hubungan antara kecepatan roda dan kecepatan air untuk mendapatkan rendemen maksimal. Pada tahun 1692, Varignon menemukan pembuktian secara teoritis theorema Torricelli untuk aliran melalui lobang.

Pada abad ke 17, ilmu matematika dan mekanika mulai dikembangkan dalam ilmu hidraulika. Blaise Pascal (1623-1662), seorang ahli matematika terkenal, memberi sumbangan yang sangat penting pada bidang hidraulika dengan teori hidrostatika. Hukum Pascal tersebut menyatakan bahwa pada zat cair diam, tekanan hidrostatik pada suatu titik adalah sama dalam segala arah. Sir Isaac Newton (1642-1728), ahli fisika terkenal, juga memberi sumbangan pada ilmu hidraulika dengan merumuskan hukum aliran fluida viskos (kental), yaitu bentuk hubungan antara tegangan geser yang terjadi dan gradien kecepatan. Pada dekade kedua dari abad ke 18, karena pengaruh matematika terapan ke teknik praktis, perkembangan ilmu hidraulika mengalami perubahan. Hidraulika teoritis terpisah dari hidraulika praktis. Hidraulika teoritis dikembangkan menjadi ilmu hidrodinamika.

Kelahiran ilmu hidrodinamika tidak lepas dari sumbangan empat ahli matematika pada abad ke 18 yaitu Daniel Bernoulli, Leonard Euler, Clairault dan Jean d'Alembert. Hidrodinamika merupakan aplikasi ilmu matematika untuk analisis aliran fluida. Ilmu ini mempelajari gerak zat cair ideal. Bernoulli (1700-1782) mengemukakan hukum kekekalan energi dan kehilangan energi selama pengaliran. Studi matematis yang dilakukan oleh d'Alembert (1717-1783) dan Clairault (1713-1765) yang kemudian disempurnakan oleh Leonard Euler (1707-1783) merupakan dasar dari ilmu hidrodinamika. Persamaan yang menggambarkan aliran fluida ideal dikenal dengan persamaan Euler. Rintisan keempat ahli tersebut kemudian dilanjutkan oleh banyak ahli. Dapat disebutkan disini, Louis Navier (1785-1836) dan Sir George Stokes (1819-1892) yang menyempurnakan persamaan Euler menjadi persamaan gerak fluida viskos, yang dikenal dengan persamaan Navier-Stokes. Sir George Airy (1801-1892) menemukan persamaan gelombang amplitudo kecil;

Hermann von Helmholtz (1821-1894) mempelajari aliran vortex, garis arus, analisis dimensi, dan sebagainya. Lord Kelvin (1824- 1907) mengembangkan teori hidrodinamika untuk berbagai bidang dan penemuannya yang terpenting adalah hukum pertama dan kedua termodinamika. Lord Rayleigh (1842-1919) orang pertama yang mempopulerkan prinsip-prinsip kesebangunan dan analisis dimensi.

Perkembangan hidrodinamika terpisah dengan studi hidraulika eksperimen, yang juga berkembang sangat pesat pada abad ke 18 dan 19. Henri Pitot (1695-1771) menemukan alat untuk mengukur kecepatan aliran zat cair, dan alat tersebut kemudian dikenal dengan tabung Pitot. Antoine Chezy (1718-1798) mempelajari tahanan hidraulik yang kemudian dikenal dengan rumus Chezy untuk aliran melalui saluran terbuka. Jean Borda (1733-1799) mempelajari aliran melalui lobang dan orang pertama yang menggunakan faktor $2g$ secara eksplisit dalam rumus-rumus hidraulika. Dapat disebut di sini beberapa ahli lainnya seperti Jean Baptiste Belanger (1789-1874) yang mempelajari garis pembendungan (backwater); Benoit Fourneyron (1802-1867) mengembangkan turbin hidraulik; Gaspar de Coriolis (1792-1843) mempelajari distribusi kecepatan aliran dan pengaruh perputaran bumi terhadap aliran.

Jean Louis Poiseuille (1799-1869) mengembangkan persamaan aliran laminar; Barre de Saint Venant (1797-1886) mempelajari gerak gelombang di saluran terbuka; Arsene Dupuit (1804-1866) mengembangkan hidraulika air tanah; Antoine Charles Bresse (1822-1883) melakukan studi hitungan profil muka air. Henri Darcy (1803-1858) mengemukakan hukum tahanan aliran melalui pipa yang diturunkan berdasarkan percobaan pipa, dan aliran melalui media berpori. Paul du Boys (1847-1924) melakukan penelitian gerak sedimen dasar di saluran dan sungai. Henri-Emile Bazin (1829-1917) melakukan studi distribusi kecepatan pada arah transversal saluran dan mengusulkan rumus kekasaran dinding saluran dalam bentuk koefisien Chezy. Pada saat yang hampir bersamaan dengan Darcy dan Bazin, Emile Oscar Ganguillet (1818-1894) dan Wilhelm-Rudolph Kutter (1818-1888) juga mengusulkan rumus tahanan aliran. Rumus serupa juga diusulkan oleh Philippe-Gaspard Gauckler (1826-1905) dan Robert Manning (1816-1897). Giovanni Venturi (1746-1822) mempelajari pengaruh perubahan penampang pipa dan saluran terhadap tekanan dan profil aliran. Osborn Reynolds (1842-1912) mengembangkan teknik model fisik gerak sedimen dasar dan meneliti masalah kavitasi. Selain itu dia juga mengusulkan bilangan tak berdimensi yang dikenal dengan Angka Reynolds, dan meneliti kondisi aliran laminar, turbulen dan kritis.

Pada sekitar akhir abad ke 19 dan awal abad ke 20 terjadi perkembangan yang sangat penting dalam sejarah ilmu hidraulika. Ludwig Prandtl (1875-1953) menggabungkan teori hidrodinamika dan hidraulika eksperimen menjadi ilmu mekanika fluida. Sampai saat ini Prandtl dianggap sebagai pencetus lahirnya ilmu mekanika fluida. Karyanya yang terpenting adalah konsep lapis batas (1901). Murid beliau yaitu Paul Heinrich Blasius meneliti aliran melalui pipa halus dan mengusulkan hubungan antara koefisien gesekan dan Angka Reynolds; dan Johann Nikuradse meneliti aliran melalui pipa kasar.

Pada awalnya, ilmu hidraulika, hidrodinamika dan mekanika fluida berkembang dengan pesat di Eropa. Mulai akhir abad ke 19 dan awal abad ke 20 para peneliti dan insinyur Amerika juga banyak melakukan penelitian tentang ilmu tersebut. Dapat dicatat di sini nama-nama seperti Buckingham (1867-1940) yang mengembangkan teknik analisis dimensi dan kesebangunan; Boris Alexandrovitch Bakhmeteff (1880-1951) banyak meneliti aliran melalui saluran terbuka; Keulegan yang banyak meneliti gerak gelombang, tahanan pada aliran melalui pipa dan saluran terbuka, dan aliran dengan perbedaan rapat massa.

1.5 Aliran Fluida

Aliran fluida adalah cabang dari mekanika yang mempelajari perilaku fluida (cair dan gas) saat bergerak. Ini mencakup berbagai konsep dan hukum yang menjelaskan bagaimana fluida berinteraksi dengan lingkungan dan satu sama lain.

1.5.1 Aliran menurut Fungsi Waktu

Secara umum aliran menurut fungsi waktu pada saluran terbuka dibagi menjadi 2 yaitu aliran permanen (Steady flow) dan aliran aliran tidak permanen (Unsteady flow). Aliran permanen memiliki kondisi dimana komponen aliran yang tetap atau tidak berubah terhadap waktu, sedangkan aliran tidak permanen memiliki kondisi dimana komponen aliran dapat berubah terhadap waktu.

1. Aliran Tunak (Steady Flow)

Menurut Khalimah (2016), Aliran Tunak atau Steady Flow yaitu kecepatan aliran fluida tidak dipengaruhi oleh perubahan waktu. Aliran ini terjadi dalam saluran terbuka dengan kedalaman aliran yang konstan dalam suatu selang waktu.

2. Aliran Tak Tunak (Unsteady Flow)

Aliran tak tunak yaitu kecepatan aliran fluida yang dipengaruhi oleh perubahan waktu. Aliran ini dapat terjadi karena perubahan kondisi fluida, seperti perubahan debit atau tekanan.

1.5.2 Aliran menurut Fungsi Ruang

Secara umum aliran menurut fungsi ruang pada saluran terbuka dibagi menjadi 2 yaitu aliran seragam (uniform flow) dan aliran aliran tidak seragam (Non-uniform flow).

1. Aliran seragam (Uniform Flow)

Aliran seragam (Uniform flow) merupakan aliran dalam saluran terbuka yang memiliki kedalaman aliran sama pada setiap penampang saluran.

2. Aliran berubah (non-uniform flow)

Aliran berubah (non-uniform flow) merupakan aliran dalam saluran terbuka yang memiliki kedalaman aliran berubah sepanjang saluran

1.6 Resistansi Aliran

1.6.1 Tipe Aliran

Aliran fluida memiliki beberapa tipe aliran. Untuk mengetahui suatu tipe aliran digunakan perhitungan bilangan Reynoldsyaitu suatu bilangan yang tak berdimensi

yang dapat membedakan suatu aliran itu dinamakan turbulen, transisi dan laminar (Saleh & Widodo, 2019)

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu} \quad (1)$$

Dimana:

V = kecepatan fluida (m/s)

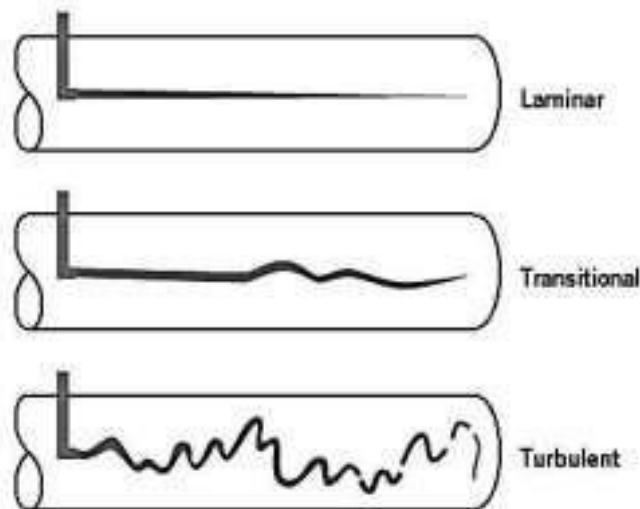
D = diameter dalam pipa (m)

ρ = rapat massa fluida (kg/m³)

μ = viskositas dinamik fluida (kg/ms) atau (N.s/m)

Tipe-tipe aliran ada 3 yaitu :

1. Aliran Turbulen Lebih dari 4000
2. Aliran Transisi 2300 sampai 4000
3. Aliran Laminar Kurang dari 2300



Gambar 1. Tipe aliran dalam pipa

1.6.2 Debit Aliran Fluida

Debit merupakan jumlah air yang mengalir melalui tampang lintang aliran tiap satu satuan waktu dan dinotasikan dengan Q . Debit aliran biasanya diukur dalam volume air tiap satuan waktu, sehingga satuannya adalah meter kubik per detik (m³/s) atau satuan lain (liter/detik, liter/menit dsb) (Triatmodjo, 1993, h.134). Pengukuran debit aliran berfungsi untuk mengetahui seberapa banyak air yang mengalir dan seberapa cepat air tersebut mengalir dalam suatu penampang (Budianto, 2015). Debit aliran dapat diperoleh dengan pengukuran langsung di

lapangan dengan memanfaatkan rumus berikut. $Q = V \times A$. Menurut Triatmodjo (1993), kecepatan aliran merupakan besarnya debit aliran yang mengalir per satuan luas. Adapun dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

Dimana:

Q = Debit aliran (m³/s)

V = Kecepatan aliran (m/s)

A = Luas penampang basah (m²)

1.6.3 Resistansi Aliran

Resistensi aliran merujuk pada hambatan yang dihadapi aliran fluida saat bergerak melalui suatu medium, baik itu pipa, saluran, atau permukaan lain (Zainuddin, 2012). Resistensi aliran fluida adalah tahanan yang dialami oleh fluida ketika mengalir melalui saluran atau pipa. Tahanan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti viskositas fluida, kecepatan fluida, dan geometri saluran.

1. Viskositas

Viskositas fluida merupakan ukuran ketahanan sebuah fluida terhadap deformasi atau perubahan bentuk. Viskositas dipengaruhi oleh temperatur, tekanan, kohesi dan laju perpindahan momentum molekulernya. Viskositas dibedakan atas dua macam, yaitu viskositas kinematik dan viskositas dinamik atau viskositas mutlak (Jalaluddin dkk., 2019).

a. Viskositas dinamik

Viskositas dinamik adalah perbandingan tegangan geser dengan laju perubahannya, besarnya nilai viskositas dinamik tergantung dari faktor-faktor diatas tersebut, untuk viskositas dinamik air pada temperatur standar lingkungan (27°C) adalah $8,6 \times 10^{-4}$ kg/m.s

b. Viskositas kinematik

Viskositas kinematik merupakan perbandingan viskositas dinamik terhadap kerapatan (densitiy) massa jenis dari fluida tersebut. Viskositas kinematik ini terdapat dalam beberapa bilangan tak berdimensi, nilai viskositas kinematik air temperatur standar (27°C) adalah $8,7 \times 10^{-7}$ kg/m.s

Mengutip dari jurnal yang ditulis oleh Fuad (2020) Secara matematis, besarnya viskositas dinyatakan dengan gaya yang diperlukan untuk menggerakkan lapisan fluida:

$$F = k\eta V \quad (3)$$

Dengan:

F = gaya untuk menggerakkan lapisan fluida (N)

V = kecepatan fluida (m/s)

η = koefisien viskositas (Ns/m²)

2. Kecepatan fluida

Kecepatan fluida juga mempengaruhi resistansi. Pada kecepatan rendah, aliran cenderung laminar (Reynolds Number < 2300), sedangkan pada kecepatan tinggi, aliran menjadi turbulen ($Re > 4000$), yang dapat meningkatkan resistansi akibat turbulensi yang lebih besar.

3. Diameter pipa.

Diameter pipa berpengaruh langsung terhadap resistansi. Pipa yang lebih besar umumnya memiliki resistansi yang lebih rendah dibandingkan pipa yang lebih kecil, karena area penampang yang lebih besar mengurangi efek gesekan.

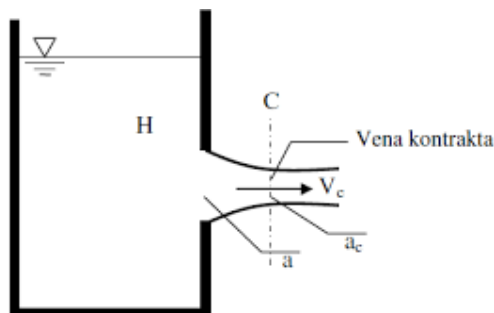
Resistansi juga berhubungan erat dengan perbedaan tekanan dalam sistem pipa. Menurut prinsip Bernoulli, peningkatan laju aliran akan menyebabkan penurunan tekanan. Hubungan antara laju aliran (Q), perbedaan tekanan (ΔP), dan resistansi (R) dapat dinyatakan dengan rumus:

$$\Delta P = Q^2 \times R \quad (4)$$

Rumus ini menunjukkan bahwa jika laju aliran meningkat, maka perbedaan tekanan di sepanjang pipa juga akan meningkat, asalkan resistansi tetap konstan.

1.7 Koefisien Aliran

Koefisien aliran pada lubang adalah parameter penting dalam mekanika fluida yang menggambarkan seberapa efisien fluida mengalir melalui lubang. Dipandang aliran melalui lubang seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2. Partikel zat cair yang melalui lubang berasal dari segala arah seperti ditunjukkan oleh garis arus. Karena zat cair mempunyai kekentalan maka beberapa partikel yang mempunyai lintasan membelok akan mengalami kehilangan tenaga. Setelah melewati lubang pancaran air mengalami kontraksi, yang ditunjukkan oleh penguncupan aliran. Kontraksi maksimum terjadi pada suatu tampang sedikit disebelah hilir lubang, di mana pancaran kurang lebih horisontal. Tampang dengan kontraksi maksimum tersebut dikenal dengan vena kontrakta.



Gambar 2. Vena kontrakta

Pada aliran zat cair melalui lubang terjadi kehilangan tenaga sehingga beberapa parameter aliran akan lebih kecil dibanding pada aliran zat cair ideal. Berkurangnya parameter aliran tersebut dapat ditunjukkan oleh beberapa koefisien, yaitu koefisien kontraksi, kecepatan, dan debit. Terdapat beberapa jenis koefisien aliran yang sering digunakan, antara lain:

1.7.1 Koefisien Kontraksi (C_c)

Koefisien ini merupakan rasio antara luas penampang aliran pada vena kontrakta (area di mana aliran menyempit) dan luas lubang. Nilai C_c biasanya berkisar sekitar 0,64 untuk lubang bulat tajam dan dapat bervariasi tergantung pada bentuk dan ukuran lubang.

$$C_c = \frac{a_c}{a} \quad (5)$$

1.7.2 Koefisien Kecepatan (C_v)

Koefisien debit menggambarkan rasio antara debit aliran yang sebenarnya dan debit teoritis. Nilai C_d biasanya berkisar sekitar 0,62 untuk lubang bulat.

$$C_v = \frac{V_c}{V} \quad (6)$$

1.7.3 Koefisien Debit (C_d)

Koefisien debit (C_d) adalah perbandingan antara debit nyata dan debit teoritis. Nilai koefisien debit tergantung pada nilai (C_c) dan (C_v) yang nilai reratanya adalah 0,62.

$$C_d = \frac{\text{debit nyata}}{\text{debit teoritis}} = \frac{\text{kecepatan nyata} \times \text{luas tampang aliran}}{\text{kecepatan teoritis} \times \text{luas lubang}} \quad (7)$$

$$C_d = \frac{V_c}{V} = \frac{a_c}{a} \quad (8)$$

$$C_d = C_v \times C_c \quad (9)$$

1.8 Aliran Melalui Lubang Kecil

Aliran melalui lubang, atau sering disebut sebagai aliran orifice, merupakan fenomena penting dalam mekanika fluida yang berkaitan dengan aliran zat cair melalui lubang atau celah. Hukum Bernoulli menjelaskan hubungan antara tekanan, kecepatan, dan tinggi dalam aliran fluida. Dalam konteks aliran melalui lubang, kecepatan aliran V dapat dihitung dengan rumus:

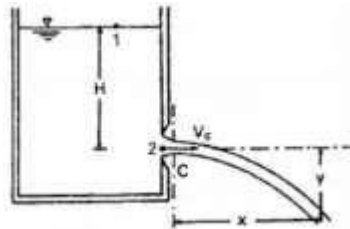
$$V = \sqrt{2gh} \quad (10)$$

Dimana:

g : percepatan gravitasi (m/det^2)

h : tinggi kolom fluida di atas lubang (m)

Saat fluida mengalir melalui lubang, terjadi kehilangan energi akibat viskositas dan turbulensi. Hal ini menyebabkan beberapa parameter aliran menjadi lebih kecil dibandingkan dengan aliran ideal. Aliran melalui lubang banyak diterapkan dalam berbagai bidang seperti irigasi, pengendalian banjir dan desain tangki penyimpanan. Gambar 3. menunjukkan zat cair yang mengalir melalui lubang kecil dari suatu tangki. Pusat lubang terletak pada jarak H dari muka air. Tekanan pada vena kontrakta adalah atmosfer. Dengan menggunakan persamaan Bernoulli pada permukaan zat cair di kolam dan di vena kontrakta, kecepatan zat cair pada titik tersebut dapat dihitung.



Gambar 3. Aliran melalui lubang kecil

$$Z_1 = Z_c + \frac{V_c^2}{2g}$$

$$V_c^2 = 2g(Z_1 - Z_c) \quad \text{atau}$$

$$V_c = \sqrt{2gH} \quad (11)$$

Rumus tersebut menunjukkan kecepatan aliran teoritis pada zat cair ideal. Pada zat cair riil, terjadi kehilangan tenaga yang disebabkan oleh kekentalan. Untuk itu perlu dimasukkan koefisien kecepatan C_v , sehingga:

$$V_c = C_v \sqrt{2gH} \quad (12)$$

Debit aliran adalah $Q = acV_c$, dimana ac adalah luas tampang aliran di vena kontrakta. Luas penampang pada titik C adalah lebih kecil dari luas lubang. Dengan memperhitungkan koefisien kontraksi :

$$C_c = \frac{a_c}{a} \quad \text{atau}$$

$$a_c = C_c \times a$$

Maka debit aliran menjadi:

$$Q = C_d a \sqrt{2gH} \quad (13)$$

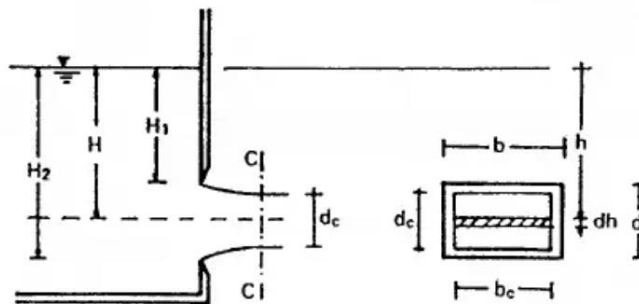
Dimana:

C_d adalah koefisien debit

Persamaan 13 dapat digunakan untuk menghitung debit aliran untuk semua jenis zat cair dan berbagai bentuk lubang kecil, tetapi koefisien C_d harus ditentukan melalui percobaan.

1.9 Aliran Melalui Lubang Besar

Dipandang lubang besar berbentuk segi empat dengan lebar dan tinggi seperti Gambar 4 yang melewati debit aliran secara bebas ke udara luar (tekanan atmosfer). Evaluasi permukaan zat cair di dalam kolam adalah konstan sebesar H dari sumbu lubang. Distribusi kecepatan pada vena kontrakta C_c adalah sebanding dengan akar dari kedalaman pada setiap titik.



Gambar 4. Aliran melalui lubang besar

Debit aliran melalui lubang dapat dihitung dengan memandang aliran melalui suatu elemen kecil dengan lebar b dan tinggi dh yang berada pada kedalaman h dari permukaan zat cair. Kecepatan aliran melalui elemen tersebut adalah:

$$V = C_v \sqrt{2gh}$$

Debit aliran melalui lubang:

$$dQ = C_d \times b \times dh \sqrt{2gh}$$

Untuk mendapatkan debit aliran melalui lubang, maka persamaan diatas diintegrasikan, sehingga:

$$Q = C_d \times b \sqrt{2g} \int_{H_1}^{H_2} h \, dh = \frac{2}{3} C_d \times b \sqrt{2g} [h^{3/2}]_{H_1}^{H_2}$$

$$Q = \frac{2}{3} C_d \times b \sqrt{2g} (H_2^{3/2} - H_1^{3/2})$$

Apabila zat cair mempunyai kecepatan datang V_0 maka persamaan diatas menjadi:

$$Q = \frac{2}{3} C_d \times b \sqrt{2g} \left\{ \left(H_2 + \frac{V_0^2}{2g} \right)^{3/2} - \left(H_1 + \frac{V_0^2}{2g} \right)^{3/2} \right\}$$

Apabila elevasi permukaan zat cair sebelah hilir berada di atas sisi atas lubang maka aliran disebut melalui lubang terendam. Pada kondisi ini penurunan rumus debit aliran dilakukan seperti pada lubang kecil yang terendam. Rumus debit aliran melalui lubang besar yang terendam adalah:

$$Q = C_d \times b (H_2 - H_1) \sqrt{2gH} \quad (14)$$

Debit aliran merupakan gabungan antara aliran melalui lubang terendam dan lubang bebas. Rumus debit aliran melalui lubang besar yang terendam sebagian adalah:

$$Q = Q_{1(bebas)} + Q_{2(terendam)}$$

$$Q_1 = \frac{2}{3} C_d \times b \sqrt{2g} (H_2^{3/2} - H_1^{3/2})$$

$$Q_2 = C_d \times b (H_2 - H_1) \sqrt{2gH}$$

1.10 Model Fisik dan Analisis Dimensi

1.10.1 Model Fisik

Studi laboratorium pada umumnya dinamakan model fisik karena menggunakan reproduksi miniatur dari sebuah sistem fisik. Selain model fisik, ada juga model numerik yaitu representasi matematis dari sebuah sistem fisik (Ajiwibowo, 2012). Skala dasar untuk sembarang model fisik adalah skala geometris yaitu nisbah antara dimensi panjang dalam model dan prototipe. Pemilihan skala geometris tergantung pada sistem fluida yang akan diteliti dan bergantung pada ketersediaan ruang di laboratorium untuk membuat model. Selain itu persyaratan kesamaan dinamis dapat dipakai untuk menentukan skala model yang lain. Hal ini diperlukan untuk mendapatkan model yang memenuhi kesetaraan dinamis sehingga pengukuran

yang dilakukan pada model dapat digunakan untuk menentukan harga-harga dalam prototipe.

Untuk memenuhi kesetaraan dinamis (*Dynamic Similarity*) disyaratkan menggunakan hukum model gravitasi bahwa di dalam model, sebagaimana pada prototipe, tetap terjadi aliran air yang kendalikan oleh gaya-gaya gravitasi dan inersia. Akar dari perbandingan antara gaya inersia dan gaya berat disebut *angka Froude*,

$$F_r^2 = \frac{F_I}{F_G} = \frac{\rho V^2 L^2}{\rho L^3 g} = \frac{V^2}{gL} \text{ atau}$$

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (15)$$

Dimana:

Fr = bilangan Froude tidak berdimensi

V = kecepatan zat cair (m/det)

L = panjang karakteristik misalnya kedalaman (m)

g = percepatan gravitasi (m/det²)

Agar model dan prototipe serupa, maka bilangan *Froude* pada prototipe harus sama dengan model:

$$Fr_m = Fr_p$$

$$\frac{V_m}{\sqrt{L_m g}} = \frac{V_p}{\sqrt{L_p g}}$$

$$\frac{V_p^2}{V_m^2} = \frac{L_p}{L_m}$$

Jika skala kecepatan $V_r = V_p / V_m$ dan skala panjang $L_r = L_p / L_m$ maka berlaku hubungan $V_r^2 = L_r$ atau $V_r = L_r^{1/2}$. Dengan mengambil λ sebagai faktor skala panjang, maka:

$$\text{Skala Panjang } L_r = \frac{L_p}{L_m} = \lambda \quad (16)$$

$$\text{Skala Kecepatan } V_r = \frac{V_p}{V_m} = \lambda \quad (17)$$

$$\text{Skala Waktu } T_r = \frac{L_r}{V_r} = \frac{\lambda}{\sqrt{\lambda}} = \sqrt{\lambda} \quad (18)$$

$$\text{Skala Gaya } F_r = \frac{V_p L_p^3}{V_m L_m^3} = \lambda^3 \quad (19)$$

$$\text{Skala Percepatan } a_r = \frac{g_p}{g_m} = 1 \quad (20)$$

1.10.2 Analisis Dimensi

Konsep dasar analisa dimensi adalah menyederhanakan jumlah variabel terpisah yang tercakup dalam suatu sistem fisik tertentu menjadi grup variabel tak berdimensi dengan jumlah yang lebih kecil. Susunan grup variabel dipilih sedemikian rupa sehingga masing-masing grup menggambarkan karakteristik fisik yang signifikan (Ajiwibowo, 2012). Variabel dapat dibedakan berdasarkan dimensinya menjadi:

1. Geometrik dengan dimensi L .
2. Kinematik dengan dimensi L, T
3. Dinamik dengan dimensi M, L, T
4. Variabel tak berdimensi

Teori analisa dimensi adalah murni matematika dimensi dan kuantitas yang terdiri dari metode pembentukan variabel-variabel yang signifikan ke dalam grup yang tak berdimensi. Dalam tulisan ini, teori analisa dimensi yang digunakan adalah *Metoda Buckingham*. Metode ini menyatakan bahwa kuantitas fisik sejumlah n dengan dimensi dasar r secara umum dapat disusun menjadi hanya $(n - r)$ grup dimensi independen yang dikenal dengan nisbah (*ratio*) π .

Penggunaan *theorem* π *Buckingham* perlu diperhatikan urutan langkah sebagai berikut:

1. Mereduksi data
 - a. Buat daftar semua variabel fisik yang terkait dalam suatu sistem berdasarkan tipenya.
 - b. Pilih semua dimensi yang dipakai, FLT atau MLT
 - c. Pilih kelompok dasar dari karakteristik variabel aliran sebagai berikut:
 - a) B_G , variabel geometris
 - b) B_K , variabel kinematis
 - c) B_D , variabel dinamis
 - d. Selebihnya dari ketiga dimensi tersebut dipakai lambang "A" dimulai dari A_1 .
2. Turunkan nisbah π

Tuliskan persamaan dasar untuk masing-masing nisbah π , jumlah nisbah π sama dengan jumlah A .

$$\begin{aligned}
\pi_1 &= (B_G)^{x_1} (B_K)^{y_1} (B_D)^{z_1} (A_1) \\
\pi_2 &= (B_G)^{x_2} (B_K)^{y_2} (B_D)^{z_2} (A_2) \\
\pi_n &= (B_G)^{x_n} (B_K)^{y_n} (B_D)^{z_n} (A_n)
\end{aligned}
\tag{21}$$

Eksponen pada persamaan di atas bisa disetarakan dengan menulis persamaan dimensi dan memberi harga eksponen x, y, z untuk tiap-tiap nisbah π .

3. Nisbah π dikonversikan dalam bentuk praktis.

Teori Buckingham π menyatakan bahwa sembarang nisbah π dapat dinyatakan sebagai fungsi nisbah π lainnya.

$$f = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n) = 0$$

Persamaan di atas merupakan penyederhanaan dari pernyataan fungsional, yang dapat ditulis dalam bentuk lain yaitu :

$$\pi_2 = f(\pi_1, \pi_3, \dots, \pi_n)$$

Persamaan ini menyatakan bahwa π_2 merupakan suatu fungsi dari π_1, π_3 sampai π_n tetapi belum menyatakan bentuk fungsinya. Bentuk fungsinya hanya dapat ditentukan berdasarkan analisis eksperimental.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, dengan waktu rencana penelitian 2 bulan.



Gambar 5. Lokasi Penelitian (Sumber: Google Earth)

2.2 Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang digunakan selama kegiatan pengambilan data di laboratorium adalah sebagai berikut:

1. Orifice sebagai tempat keluarnya air dari tabung reservoir.



Gambar 6. Plat orifice diameter 3 mm

2. Hidraulik bench berfungsi sebagai pengatur debit air yang masuk ke tabung reservoir.



Gambar 7. Hydraulic bench

3. Tabung reservoir digunakan untuk mengatur tinggi energi yang diinginkan.



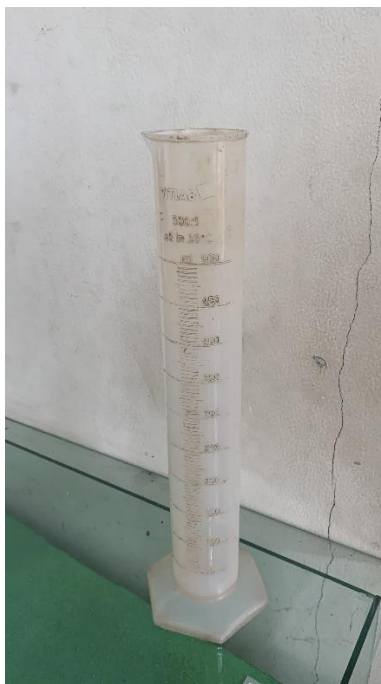
Gambar 8. Tabung reservoir

4. Stopwatch



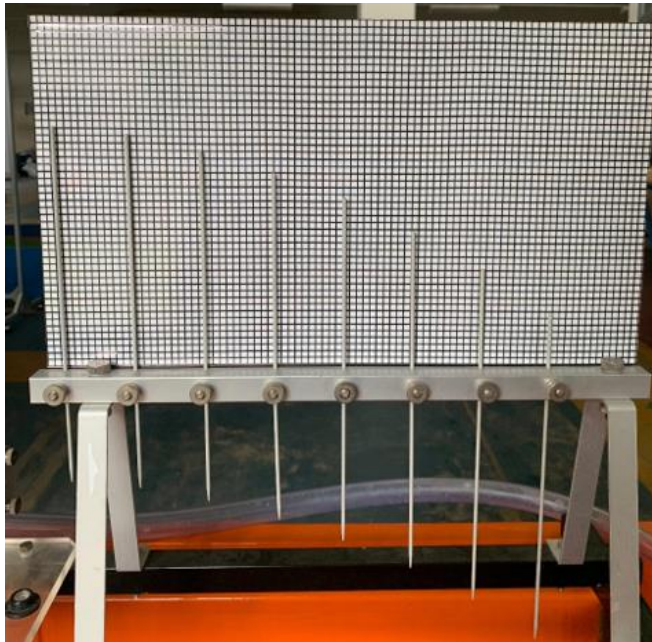
Gambar 9. Stopwatch

5. Gelas ukur



Gambar 10. Gelas ukur kapasitas 1000 ml

6. Pengukur pancaran yang dilengkapi mistar kertas dengan skala 1 mm.



Gambar 11. Pengukur panjang dan tinggi pancaran fluida

2.3 Metode dan Rancangan Penelitian

Penelitian tentang aliran melalui lubang orifice merupakan topik penting dalam bidang teknik mesin dan hidrolika. Rancangan penelitian ini bertujuan untuk memahami karakteristik aliran fluida saat melewati orifice, serta pengaruh variasi diameter dan kondisi aliran terhadap hasil yang diperoleh. Rancangan penelitian ini menggunakan metode eksperimental, yang memungkinkan peneliti untuk memanipulasi variabel dan mengamati efeknya. Dalam konteks ini, desain yang dapat digunakan adalah Post Test-Only Control Group, di mana peneliti akan melakukan pengujian setelah perlakuan diberikan tanpa adanya kelompok kontrol.

Pengumpulan data dilakukan dengan beberapa metode, antara lain:

1. Studi Pustaka: Menggunakan literatur dan sumber referensi untuk memahami teori dasar mengenai aliran fluida dan orifice.
2. Observasi: Melakukan pengamatan langsung terhadap alat dan bahan yang digunakan dalam eksperimen.
3. Eksperimen: Melaksanakan pengujian dengan variasi debit aliran dan diameter orifice untuk mengamati perubahan tekanan dan pola aliran.

Dalam penelitian ini, beberapa variabel yang perlu diperhatikan adalah:

1. Variabel Bebas: Diameter lubang orifice dan debit aliran fluida.
2. Variabel Terikat: Tekanan statis dan dinamis pada saluran uji, serta karakteristik aliran downstream.
3. Variabel Terkontrol: Kondisi lingkungan seperti suhu dan jenis fluida yang digunakan dalam eksperimen.

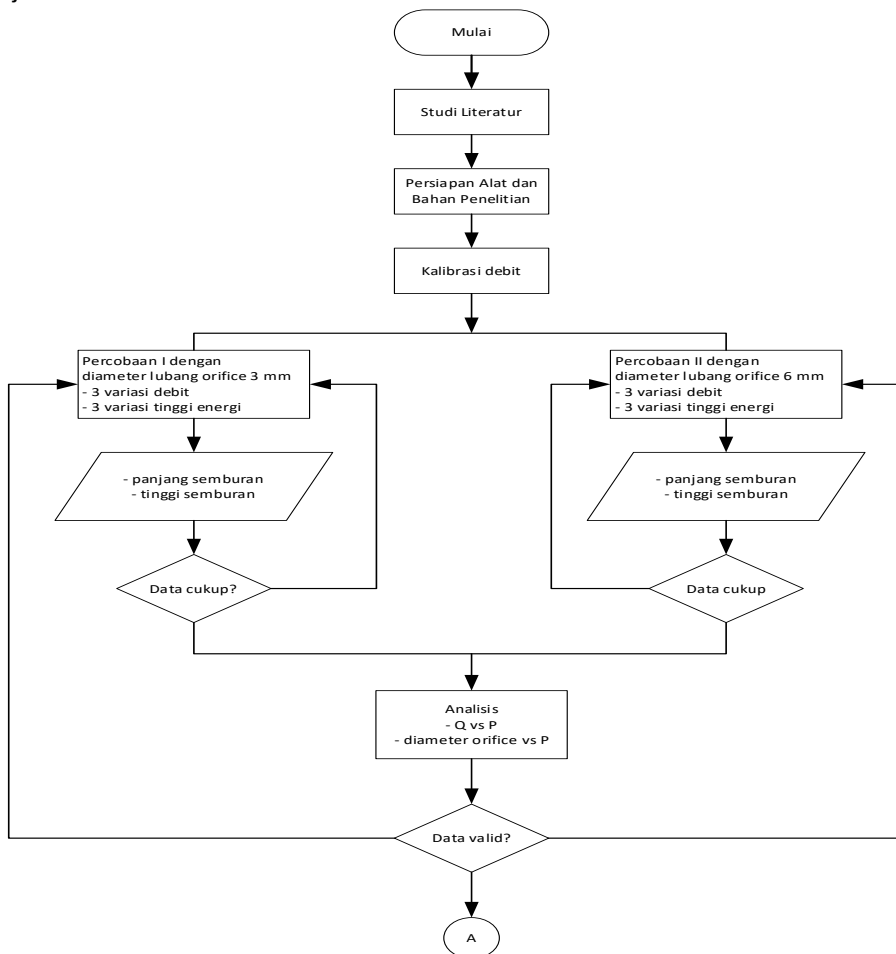
Prosedur eksperimen:

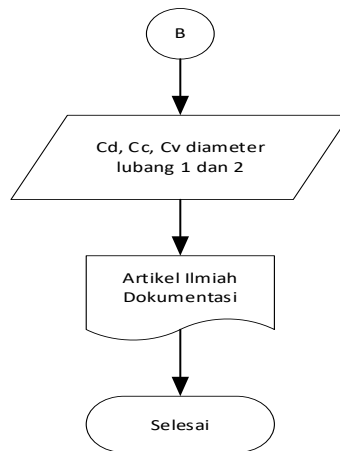
1. Persiapan Alat: Siapkan pipa akrilik dengan berbagai ukuran diameter orifice (misalnya 20 mm, 22 mm, 26 mm) dan alat ukur tekanan.
2. Pengaturan Aliran: Atur sistem aliran fluida dengan debit tertentu (misalnya $0.1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$) untuk memulai eksperimen.
3. Pengukuran Tekanan: Lakukan pengukuran tekanan pada titik-titik tertentu di upstream dan downstream dari orifice.
4. Analisis Data: Kumpulkan data yang diperoleh untuk dianalisis menggunakan metode statistik guna menentukan hubungan antara variabel

Hasil yang diharapkan:

Dari penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh informasi mengenai:

1. Pengaruh diameter lubang orifice terhadap karakteristik aliran downstream, termasuk ketebalan boundary layer dan profil kecepatan.
2. Hubungan antara debit aliran dengan tekanan yang terjadi di sepanjang saluran uji





Gambar 12. Bagan alir penelitian