

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aliran Fluida

Fluida adalah zat yang dapat bergerak ketika dikenai gaya. Fluida dapat berubah bentuk dan bersifat tidak permanen. Fluida membentuk berbagai jenis benda padat sesuai dengan bentuk benda yang dilewatinya (Akmal, Za, & Ishak, 2019)

a. Hukum kontinuitas

Kontinuitas adalah ketika zat cair yang tidak dapat kompresi mengalir secara terus menerus melalui pipa, Baik dengan tampilan aliran terus menerus maupun tidak tetap. Maka volume cairan yang bergerak setiap waktu yang sama di semua tampang. Hukum kontinuitas adalah istilah untuk keadaan ini. (suprianto, 2008)

b. Persamaan Bernoulli

Hukum Bernoulli ditemukan oleh matematikawan Swiss Daniel Bernoulli pada tahun 1700-an, dan menyatakan bahwa ketika fluida seperti udara bergerak lebih cepat, tekanan fluida tersebut berkurang. Tekanan, kecepatan fluida, dan elevasi dalam sistem aliran berhubungan dengan persamaan bernoulli.

Hukum Bernoulli pada dasarnya menyatakan bahwa di area dengan kecepatan tinggi tekanan fluida lebih kecil dibandingkan di area dengan kecepatan rendah. Jadi, semakin tinggi kecepatan fluida dalam pipa, semakin kecil tekanan yang dihasilkan, dan sebaliknya, semakin rendah kecepatan fluida dalam pipa, semakin besar tekanan yang dihasilkan. (Mochamad, 2017)

c. Persamaan energi dan keseimbangan momentum

Hukum Kekekalan Energi: jumlah dalam sistem tertutup energi potensial dan energi kinetik adalah konstan. (suprianto, 2008)

Momentum merupakan hasil kali antara massa dan kecepatan suatu objek. Momentum biasanya dinyatakan dengan simbol P . Jika m

menyatakan massa benda dan v menyatakan kecepatan, maka momentum P dari benda tersebut, $P = mv$. Dengan massa yang sama, mobil yang bergerak cepat memiliki momentum yang lebih besar daripada mobil yang bergerak lambat. Untuk mengubah momentum suatu benda, gaya harus memperbesar, memperkecil, atau mengubah arahnya. Momentum dalam fluida yang bergerak dibutuhkan untuk memodifikasi fluida sehingga dapat mengalir. (Pratiwi, Widjajanti, & Wyrasti, 2013)

2.2 Kerugian Tekanan pada Aliran dalam Pipa

Setiap cairan yang mengalir melalui pipa akan mengalami gesekan. Akibatnya, kerugian penurunan tekanan dapat terjadi. Untuk mengetahuinya, kita perlu memahami efek kekasaran permukaan pada aliran viskos pipa. Untuk mengetahuinya, kita harus memahami pengaruh kekasaran permukaan terhadap aliran viskos dalam pipa Reynolds number dapat dihitung dengan mengetahui keadaan kekasaran permukaan dinding pipa. Penelitian ini akan memeriksa bagaimana Kekasaran permukaan pipa berpengaruh terhadap debit dan tekanan pada aliran pipa silinder yang viskos berukuran 1/2 inci. Ditemukan bahwa kekasaran permukaan memengaruhi rugi head aliran fluida permukaan yang lebih kasar pipa, semakin tinggi kualitas. (Junita & Intang, 2023)

a. Faktor – faktor yang mempengaruhi kerugian tekanan

Beberapa faktor memengaruhi kerugian aliran pada instalasi pipa. Ini mencakup jumlah pipa yang digunakan, panjangnya, perubahan penampangnya, kecepatan fluida, indeks tekanan-viskositas dan viskositas awal oli hidrolik, laju aliran, tekanan keluar, dan penggunaan pipa sambungan dengan sudut belokan 300, 450, 600, dan 900. Selain itu, salah satu faktor yang menyebabkan perubahan tekanan adalah laju aliran fluida. (Wibowo, Mahendra, Fitri, & Romahadi, 2022)

b. Kerugian Tekanan Utama dan Sekunder

Persamaan Bernoulli, yang memperhitungkan perubahan tekanan ke dalam perubahan ketinggian dan kecepatan, digunakan untuk menghitung perubahan tekanan dalam aliran fluida tanpa gesekan. Karena itu, efek

gesekan adalah fokus utama dalam menganalisis kondisi aliran nyata. Gesekan akan menyebabkan penurunan tekanan atau hilangnya tekanan dalam dua kategori—kerugian besar dan kecil—dibandingkan dengan aliran yang tidak mengalami gesekan. Selain itu, aliran fluida yang bersentuhan dengan permukaan saluran menyebabkan penurunan tekanan, juga dikenal sebagai penurunan tekanan. Hal ini juga bisa terjadi saat aliran fluida melalui sambungan pipa, belokan, atau katup. Penurunan tekanan yang besar ini dipengaruhi oleh kecepatan aliran, kekasaran permukaan, panjang pipa, serta diameter pipa. (Fadlhi & Madjid, 2017)

c. Koefisien Gesekan Darcy-Weisbach

Perubahan tekanan dalam aliran fluida terjadi karena adanya perubahan ketinggian, perubahan kecepatan akibat perubahan penampang dan gesekan fluida. Pada aliran tanpa gesekan perubahan tekanan dapat dianalisa dengan persamaan Bernoulli yang memperhitungkan perubahan tekanan ke dalam perubahan ketinggian dan perubahan kecepatan. Sehingga perhatian utama dalam menganalisa kondisi aliran nyata adalah pengaruh dari gesekan. Gesekan akan menimbulkan penurunan tekanan atau kehilangan tekanan dibandingkan dengan aliran tanpa gesekan. Berdasarkan lokasi timbulnya kehilangan, secara umum kehilangan akibat tekanan akibat gesekan atau kerugian ini dibagi menjadi dua yaitu kerugian mayor dan kerugian minor.

Kerugian mayor adalah kehilangan tekanan akibat gesekan aliran fluida pada sistem aliran penampang pipa yang konstan. Sedangkan kerugian minor adalah kehilangan tekanan akibat gesekan yang terjadi pada alat kelengkapan pipa seperti katup, belokan, tee, filter dan pada penampang pipa yang tidak konstan. Kerugian ini untuk selanjutnya akan disebutkan sebagai *headloss*.

Untuk aliran laminar, berkembang penuh pada pipa horisontal, penurunan tekanan dapat dihitung secara analitis dengan persamaan:

$$h_{I\ major} = \left(\frac{64}{Re}\right) \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Sedangkan untuk aliran turbulen headloss dihitung dengan menggunakan diperoleh dengan menggabungkan persamaan Darcy-Weisbach berikut;

$$h_{I\ major} = f \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Dimana l adalah panjang pipa, V adalah kecepatan aliran fluida dan f adalah faktor gesekan Darcy yang diperoleh dari diagram Moody. Diagram Moody adalah diagram faktor gesekan fungsi bilangan Reynolds dan kekasaran relatif pipa (ϵ).

Kerugian minor diberikan dalam bentuk koefisien kerugian (*loss coefficient*) yang didefinisikan sebagai:

$$h_{1\ minor} = K_l \frac{V^2}{2g}$$

Nilai koefisien kerugian, K_l sangat tergantung pada geometri komponen sistem pipa yang antara lain ujung masuk dan keluar pipa, perubahan penampang, penampang melengkung dan fitting yang tersedia secara komersial seperti sambungan siku, *reducer*, katup dan saringan. (Ermadi, 2018)

2.3 Teori Aliran dalam Pipa

Aliran fluida dibagi menjadi 3 yaitu aliran laminar, aliran turbulen dan aliran transisi. (priadi, 2020)

a. Laminar

Suatu aliran dikatakan laminar jika gaya kekentalan relatif sangat besar dibandingkan dengan gaya inersia sehingga kekentalan berpengaruh

besar terhadap perilaku aliran. Pada aliran laminar, butir-butir air seolah-olah bergerak menurut lintasan tertentu yang teratur atau lurus, dan selapis cairan yang sangat tipis seperti menggelincir di atas lapisan di sebelahnya.

Dinyatakan dengan rumus faktor gesekan Darcy untuk aliran laminar (ketika bilangan Reynolds di bawah 2000) menggunakan rumus sebagai berikut:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Dengan:

f = Koefisien gesek

Re = Angka Reynolds

b. Turbulen

Suatu aliran dikatakan turbulen jika gaya kekentalan relatif lemah dibandingkan dengan gaya kelebamannya. Pada aliran turbulen, butir-butir air bergerak menurut lintasan yang tidak teratur, tidak lancar maupun tidak tetap, walaupun butir-butir tersebut tetap menunjukkan gerak maju dalam aliran secara keseluruhan.

Rumus koefisien gesek untuk aliran turbulen (ketika nilai bilangan Reynolds lebih dari 4000) adalah sebagai berikut:

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$$

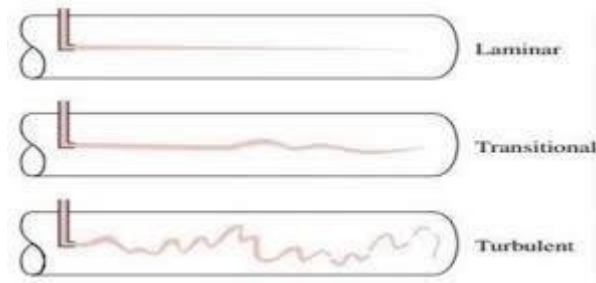
Dengan:

f = Koefisien gesek

Re = Angka Reynolds

c. Transisi

Aliran transisi (peralihan) adalah aliran peralihan antara aliran laminar dan aliran turbulen. Kondisi aliran transisi yaitu sebagian aliran lancar dan sebagian aliran terganggu.



Gambar 1. Jenis Aliran

d. Efek panjang pipa terhadap aliran

Dihitung dalam simulasi, perubahan panjang pipa terhadap tekanan, perubahan laju dan nilai Re pipa dengan variasi suhu. (Pratama, Hadiningrum, & Muldiani, 2022)

2.4 Pengaruh Dimensi Pipa Terhadap Kerugian Tekanan

Di dunia industri, pipa merupakan komponen yang banyak digunakan untuk pendistribusian fluida dalam membantu proses produksi seperti air, minyak dan fluida lainnya. Aliran fluida akan mengalami rugi-rugi diantaranya berkurangnya tekanan, massa, volume dan kecepatan suatu fluida. Berkurangnya tekanan atau energi akibat gesekan fluida yang mengalir dan terhadap dinding saluran atau pipa merupakan permasalahan atau hambatan yang tidak bisa dihindarkan, namun dapat diminimalisir atau nilainya diperkecil. (Ridwan, Bondan, & Setyawan, 2024)

a. Hubungan antara Diameter dan Kecepatan Aliran

Secara teoritis, hubungan antara laju aliran dan diameter terhadap torsi berbanding lurus. Torsi teoritik adalah torsi rata-rata yang dihasilkan dari perubahan posisi sudu 10o, yang berubah setiap setengah putaran. Kondisi ini sebanding dengan hasil penelitian Jeronimo Zanette [7] [8]. Dengan diameter 28 cm, torsi terkecil 0.1414 Nm dan torsi teoritik 0.334 Nm. Pada diameter 40 cm, torsi tertinggi 0.858 m/s, dengan torsi aktual 0.7618 Nm dan torsi teoritik 0.890 Nm. Kedua grafik menunjukkan kecenderungan

yang sama, meskipun mereka memiliki nilai torsi yang sangat berbeda, dengan nilai torsi teoritik lebih besar daripada nilai torsi aktual. Gaya yang bekerja pada sudu naik karena kecepatan fluida naik, yang meningkatkan gaya hambat dan gaya seret. Dengan diameter turbin yang lebih besar, lengan turbin diperpanjang, yang menghasilkan torsi yang lebih besar. (Irsyad, 2010)

b. Pengaruh Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan dinding saluran dapat mempengaruhi aliran fluida laminar dalam beberapa hal, antara lain gesekan. Dimana kekasaran permukaan dinding saluran dapat meningkatkan gesekan antara fluida dan dinding saluran. Hal ini dapat menyebabkan penurunan kecepatan aliran fluida. Kemudian ada turbulensi, yaitu kekasaran permukaan dinding saluran dapat menyebabkan aliran fluida laminar menjadi turbulen. Hal ini dapat menyebabkan penurunan efisiensi aliran fluida dan meningkatkan kehilangan energi, dan ada penurunan tekanan. Dimana kekasaran permukaan dinding saluran dapat menyebabkan penurunan tekanan aliran fluida. Hal ini dapat menyebabkan penurunan kinerja sistem fluida. (Rumapea & Supriyatna, 2024)

2.5 Metode Pengukuran Kerugian Tekanan

Cairan mengalir melalui saluran dengan kecepatan yang berbeda. Kecepatan aliran juga memengaruhi penurunan atau kehilangan tekanan aliran. Tekanan aliran cairan yang diminimalkan dikejar serendah mungkin. (ridwan, 2013)

c. Jangka Sorong

Jangka sorong juga dikenal dengan nama-nama seperti *schuifmaat*, vernier caliper, jangka geser, mistar geser. Jangka sorong adalah alat ukur yang memiliki ketelitian yang jauh lebih besar daripada batang pengukur konvensional. Instrumen ini dilengkapi dengan dua jenis skala, yaitu skala utama dan skala nonius. Skala utama memiliki ketelitian hingga satu milimeter (1 mm), di mana 0,1 mm setara dengan 0,1 cm. Sementara itu, skala nonius atau vernier scale memungkinkan pembacaan hasil pengukuran

yang lebih presisi, dengan tingkat ketelitian bervariasi seperti 0,1 mm, 0,05 mm, hingga 0,02 mm tergantung jenis jangka sorong yang digunakan.

Ketelitian jangka sorong sebanding dengan nilai skala terkecil yang dimilikinya. Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, jangka sorong merupakan alat ukur presisi yang mampu mengukur diameter luar, diameter dalam, serta kedalaman suatu objek seperti cincin atau tabung, dengan ketelitian mencapai 0,005 cm. Kualitas alat, tingkat akurasi skala, dan keterampilan pengguna memengaruhi keakuratan membaca hasil pengukuran. Pada versi analog, ketelitian jangka sorong umumnya berada



Gambar 2. Pembacaan Skala Jangka Sorong

pada rentang 0,05 mm hingga 0,02 mm. Selain itu, inovasi terbaru dalam pengembangan jangka sorong mencakup penggunaan tampilan digital untuk mempermudah pembacaan hasil pengukuran dan meminimalkan kesalahan manusia saat membacanya. (MUFARRIH, Harijono, Qosim, & Gumono, 2022)

2.6 Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian sebelumnya, peneliti berusaha untuk menemukan analogi dan inspirasi baru untuk penelitian berikutnya. Ini juga membantu peneliti untuk memilih tempat penelitian dan menunjukkan bahwa itu unik. Peneliti menggabungkan temuan penelitian sebelumnya tentang subjek penelitian yang akan dilakukan dan kemudian membuat ringkasan temuan tertulis, apakah telah dipublikasikan atau belum. Berikut ini adalah studi terdahulu yang masih berhubungan dengan topik yang dibahas penulis. (TRIONO, 2019)

a. Penelitian terkait variasi panjang dan diameter

Air merupakan elemen yang sangat penting untuk menunjang setiap kegiatan makhluk hidup khususnya manusia. Untuk memindahkan air dari sumber menuju ke tempat yang diinginkan dibutuhkan sebuah alat yaitu pompa air. Dalam pengoperasiannya pompa air membutuhkan energi listrik atau bahan bakar minyak. Kebutuhan terhadap bahan bakar minyak yang semakin meningkat mengakibatkan bahan bakar minyak menjadi semakin mahal dan langka, sehingga diperlukan solusi dari permasalahan ini. Salah satu solusinya adalah pompa hidram. Pompa hidram merupakan pompa air yang dapat bekerja tanpa menggunakan energi listrik maupun bahan bakar minyak. Pompa hidram bekerja dengan memanfaatkan energi aliran yang jatuh dari sumber menuju ke dalam pompa. Tujuan dari penelitian ini adalah memperoleh deskripsi tentang pengaruh debit air masuk terhadap kinerja pompa hidram dan pengaruh panjang lintasan air terhadap kinerja pompa hidram. Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah eksperimen dengan membuat pompa hidram yang selanjutnya akan diuji kinerjanya. Teknik analisis data dalam penelitian ini yaitu menggunakan analisis data deskriptif yaitu menggambarkan hasil penelitian secara grafis dalam tabel dan grafik. Adapun variabel diameter pipa dan panjang pipa yang digunakan antara lain: (1) 1 inchi : 4 m, (2) 1 inchi : 5 m, (3) 1¼ inchi : 4 m, (4) 1½ inchi : 5 m, (5) 1½ inchi : 4 m, (6) 1½ inchi : 5 m. Dari penelitian ini didapatkan rancangan pompa hidram yang paling optimal adalah dengan diameter pipa inlet sebesar 1 inchi dan panjang pipa inlet 4 meter. Pompa dengan rancangan tersebut mampu menghasilkan kapasitas discharge sebesar 6,72 l/min dengan efisiensi volumetris sebesar 49,64% dan efisiensi pompa sebesar 54,88%. (Alfarizi & Siregar, 2015)

b. Penelitian tentang pengukuran kerugian tekanan pada aliran turbulen

Praktik pengujian headlos dikembangkan untuk akademisi karena tingginya biaya magang buatan di pasar. Alat dirancang dengan asumsi bahwa fluida mengalir melalui pipa lurus, dan bahwa komponennya, seperti

sambungan pipa, elbow, katub gerbang, dan katub globe, akan mengalami kerugian tekanan saat diameter pipa diperbesar dan dikecilkan. Desain alat yang ergonomis memudahkan pengoperasiannya. Hasil pengujian dengan beragam debit fluida, didapatkan kerugian terbesar terjadi pada katub globe saat bukaan katubnya $\frac{1}{4}$ yaitu 776,7 mm dan kerugian terkecil terjadi pada pembesaran diameter pipa sebesar 3,6 mm. Semakin banyak cairan yang mengalir di dalam pipa, baik secara lurus maupun melalui komponennya, semakin banyak kerugian tekanan atau headloss yang terjadi. Pengujian membuktikan bahwa alat yang dirancang memiliki tingkat akurasi akurasi tertinggi pada pengukuran kerugian pipa lurus dengan debit 36 liter/menit yaitu 99,7%, sedangkan yang akurasi terendah/ kesalahan pengukuran terbesar pada pengukuran kerugian katub globe sebesar 56,2% untuk bukaan $\frac{1}{4}$ dengan debit 8 liter per menit. Dengan demikian alat ini bisa dipakai untuk praktikum mata kuliah prestasi mesin. (Ermadi, 2018)

2.7 Standar Pengukuran

Pengukuran aliran udara dalam pipa bisa digunakan untuk berbagai tujuan, seperti proses industri dan sistem udara bangunan. Sistem udara misalnya, membutuhkan data laju aliran udara untuk melihat dan mengontrol proses kondisi udara di lokasi. Aliran udara yang melewati pipa dengan kecepatan yang relatif rendah sangat sulit dikondisikan untuk menjadi aliran yang tumbuh penuh (fully developed flow) atau laminar karena tingginya. Metode korelasi silang gelombang ultrasonik adalah salah satu cara untuk mengatasi masalah pengukuran aliran udara dalam pipa. Metode ini menawarkan alternatif yang menjanjikan untuk sistem pengukuran yang sederhana dan relatif murah. (Kurniadi, Suwandhika, & Trisnobudi, 2009)

a. Panduan dari ASHRAE

Standar kenyamanan termal yang digunakan adalah standar ASHRAE 62.1 menentukan tingkat ventilasi minimum dan tindakan lain yang dimaksudkan untuk memberikan kualitas udara dalam ruangan (IAQ) yang dapat diterima oleh penghuni manusia dan yang meminimalkan efek kesehatan yang merugikan. Standar ini menyediakan prosedur dan metode

untuk memenuhi ventilasi minimum dan persyaratan IAQ bagi para insinyur, profesional desain, pemilik, dan otoritas yurisdiksi di mana kode model telah diadopsi. Menetapkan kondisi untuk lingkungan termal yang dapat diterima dan dimaksudkan untuk digunakan dalam desain, operasi, dan commissioning bangunan dan ruang yang ditempati lainnya. Parameter dari standar ASHRAE 62.1 mengacu kepada temperatur udara dan laju aliran udara dari sistem sirkulasi udara yang ada. (Tan, et al., 2023)

b. Manual Hidrolik dan Aliran Fluida

Sistem hidrolik merubah atau memindahkan daya dengan menggunakan cairan sebagai media penghantar untuk mendapatkan lebih banyak daya daripada yang sebelumnya dikeluarkan. (Bhirawa, 2017)