BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sangatlah terlihat dengan mengadakan suatu analisa, pengujian dan penelitian pada berbagai macam bidang ilmu pengetahuan. Mekanika fluida ialah salah satu dari ilmu pengetahuan yang sangat dibutuhkan untuk dikaji karena penerapannya yang sangat luas dan bermanfaat bagi kehidupan manusia. Fenomena alam yang ada di bumi ini sebagian besar berkaitan dengan fluida dan semua fluida mempunyai karakteristik masing-masing dalam kegunaan dalam dunia rekayasa.

Mekanika fluida merupakan salah satu ilmu pengetahuan dasar dalam bidang rekayasa engineering. Di dalam mekanika fluida dipelajari tentang sifat-sifat aliran fluida, baik itu fluida incompressible maupun compressible. Aliran fluida di dalam pipa merupakan salah satu pokok bahasan yang banyak mendapat perhatian dalam bidang mekanika fluida. Banyak peneliti yang telah menyampaikan kajiannya, tertuang dalam berbagai rujukan pustaka, berupa kajian teoritis dan empiris.

Pipa pada suatu sistem instalasi fluida mempunyai peranan yang sangat penting, mulai dari rumah tangga sampai pada sektor-sektor industri, seperti penyulingan minyak bumi, proses kimiawai, dan pengolahan limbah. Fungsi utama pipa tersebut adalah mengalirkan fluida dari satu tempat ke tempat lain, baik dalam bentuk cair, gas, maupun dalam bentuk massa yang terfluidisasi.

Kerugian berupa penurunan *head* yang disebabkan oleh gesekan disebut dengan *major losses*, sedangkan kerugian yang disebabkan oleh perubahan bentuk lokal dari saluran seperti belokan, *orifice*, katup, sambungan maupun perubahan luas penampang disebut dengan *minor losses*. Dalam instalasi perpipaan seringkali tidak dapat dipisahkan dari penggunaan *orifice* pada instalasi pipa.

Salah satu cara untuk mengurangi aliran sekunder atau *vortex* akibat adanya orifice, belokan atau akibat sambungan pipa adalah dengan pemasangan suatu *flow conditioner* (alat pengkondisi aliran) baik berupa plat perforasi ataupun *tube bundle* (Shao, 2001).

Deane (1996) memperlihatkan bahwa *flow conditioner* mempunyai peranan yang penting dalam dunia industri. Karena dalam dunia industri terjadi beragam permasalahan yang terjadi yang berkaitan dengan instalasi perpipaan. *Orifice* digunakan

BRAWIJAYA

untuk mengukur debit dan menambah kecepatan aliran . Selain itu juga berfungsi untuk mengukur debit aliran. Namun setelah aliran melewati *orifice* akan terbentuk turbulensi dan *vortex* yang menyebabkan kerugian berupa penurunan *head* akibat bentuk penampangnya.

Oleh karena itu perlu diadakan sebuah penelitian lebih lanjut untuk mengurangi koefisien kerugian *head* akibat terjadinya *vortex* tersebut, yaitu dengan pemasangan suatu alat pengkondisi aliran dengan variasi jarak peletakan pada sisi keluaran *orifice*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut dapat dirumuskan sebuah permasalahan, yaitu bagaimana pengaruh jarak peletakan *vortab flow conditioner* terhadap koefisien kerugian *head* aliran fluida pada *orifice*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan permasalahan pada penelitian ini meliputi:

- 1. Fluida yang digunakan adalah air dan bersifat incompressible.
- 2. *Vortab flow conditioner* yang digunakan terbuat dari bahan acrylic dengan sudut 40° dan tebal sirip 2 mm.
- 3. Tidak terjadi kebocoran pada rangkaian, sehingga massa dalam rangkaian konstan.
- 4. Viskositas fluida dianggap konstan.
- 5. Temperatur dianggap konstan selama pengujian.
- 6. Dimensi material yang lainnya dianggap konstan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh jarak peletakan *vortab flow conditioner* terhadap koefisien kerugian *head* aliran fluida pada *orifice*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan untuk merencanakan suatu instalasi industri yang banyak menggunakan orifice.

- 2. Memberikan motivasi bagi para peneliti untuk mengadakan penelitian lebih lanjut mengenai aliran fluida melalui *orifice*.
- 3. Sebagai dasar untuk menentukan jarak peletakan *vortab flow conditioner* dari sisi keluaran *orifice* untuk memperkecil kerugian energi pada instalasi pipa
- 4. Memberikan masukan bagi dunia industri yang mempergunakan instalasi perpipaan dalam usaha mengurangi kerugian energi berupa penurunan tekanan pada *orifice*



BRAWIJAYA

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Pada saat ini flow conditioner telah banyak dikembangkan. Salah satu penelitian tentang flow conditioner telah dilakukan oleh Usman (2012). Penelitian yang dilakukan oleh Usman (2012) dilakukan pada gate valve dengan diletakkan vortab flow sebagai flow conditioner. Hasil penelitian menyatakan bahwa semakin dekat jarak peletakan vortab flow conditioner terhadap sisi keluaran gate valve menyebabkan nilai koefisien kerugian head semakin kecil. Hal tersebut dikarenakan semakin dekat peletakan vortab flow conditioner kemampuan vortab flow conditioner untuk menyeragamkan aliran semakin besar, akibatnya vortex dapat berkurang sehingga koefisien kerugian head pada gate valve semain berkurang.

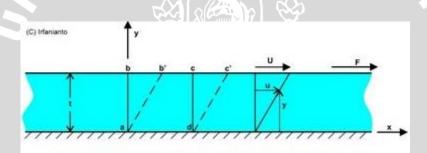
Syamsuddin (2008), meneliti tentang pengaruh peletakan plat perforasi terhadap kerugian *head* pada belokan pipa.Penelitian tersebut dilakukan pada belokan pipa dengan diletakkan pelat perforasi (pelat berlubang) sebagai *flow conditioner*. Beda tekanan diukur pada bagian hulu dan hilir pada belokan. Hasil penelitian menyatakan bahwa pemasangan plat perforasi dengan jarak peletakan 2D menghasilkan kerugian *head* yang lebih rendah dibandingkan dengan jarak peletakan 3D, 4D, 5D dan tanpa pemasangan plat. Tetapi pada jarak peletakan plat perforasi 4D mempunyai kerugian *head* yang hampir sama dengan tanpa plat perforasi, sedangkan dengan jarak 5D kerugian *head*-nya lebih besar dari pada tanpa plat perforasi.

Sase (2011), meneliti tentang "Pengaruh Jarak Peletakan Plat Perforasi dan Bukaan *Gate Valve* Terhadap Koefisien Kerugian *Head* Aliran Fluida". Dalam penelitiannya disimpulkan bahwa pada jarak peletakan plat perforasi yang tetap, semakin besar bukaan *gate valve*, semakin besar koefisien kerugian *head* yang terjadi, hal tersebut dikarenakan semakin besar bukaan *gate valve* menyebabkan debit yang mengalir semakin besar, kecepatan fluida yang semakin meningkat dan aliran semakin turbulen. Turbulensi tersebut mempunyai partikel-partikel yang bergerak acak dan tidak stabil sehingga sangat potensial untuk membentuk *swirl/vortex* yang menyebabkan aliran fluida kehilangan energi lebih banyak sehingga koefisien kerugian *head* yang terjadi semakin besar.

2.2 Fluida

2.2.1 **Definisi Fluida**

Fluida adalah suatu zat/bahan yang dalam keadaan setimbang tak dapat menahan gaya atau tegangan geser (Raswari, 1986) atau Fluida adalah suatu zat yang berubah bentuk secara terus – menerus bila terkena tegangan geser sekecil apapun (Streeter, 1994: 4), dapat pula didefinisikan sebagai zat yang dapat mengalir bila ada perbedaan tekanan dan atau tinggi. Suatu sifat dasar fluida nyata, yaitu tahanan terhadap aliran yang diukur sebagai tegangan geser yang terjadi pada bidang geser yang dikenai tegangan tersebut adalah viskositas atau kekentalan/kerapatan zat fluida tersebut. Tegangan geser tersebut timbul akibat adanya gaya geser yang terjadi dan komponen gaya yang menyinggung permukaan, kemudian gaya geser ini yang dibagi dengan luas permukaan tersebut adalah tegangan geser rata-rata pada permukaan itu. Hal tersebut sesuai pada Gambar 2.1 di bawah ini:



Gambar 2.1 Perubahan bentuk yang diakibatkan oleh penerapan gaya geser yang konstan.

Sumber: Streeter (1996: 4).

Pada Gambar 2.1 diatas dapat dilihat bahwa suatu zat yang ditempatkan di antara dua pelat yang sejajar dengan jarak yang kecil (y) dan sedemikian luasnya sehingga pada keadaan tepi-tepinya dapat diabaikan. Pelat bagian bawah dalam keadaan diam dan pelat bagian atas bergerak dengan kecepatan U karena adanya gaya F terhadap suatu luasan A dari pelat yang bergerak.

Apabila gaya F tersebut menyebabkan pelat atas bergerak dengan suatu kecepatan, betapapun sangat kecilnya gaya F, maka dapat disimpulkan bahwa zat diantara pelat tersebut adalah suatu fluida yang sedang mengalami pergerakan dengan kecepatan tertentu dan ditandai perubahan bentuk dari fluida tersebut di sepanjang saluran.

Ditunjukkan bahwa dengan besaran lainnya dipertahankan konstan maka F berbanding lurus dengan A dan juga dinyatakan berbanding terbalik dengan tebal dari pipa t, yang dinyatakan dengan Persamaan 2-1 sebagai berikut:

$$F = \mu \cdot \frac{A.U}{t}$$
 (Streeter, 1996: 4)

Keterangan:

 μ = faktor kesebandingan dan pengaruh fluida yang bersangkutan tercakup didalamnya

U/t = kecepatan sudut garis ab atau laju perubahan bentuk sudut fluida dan dapat ditulis du/dy

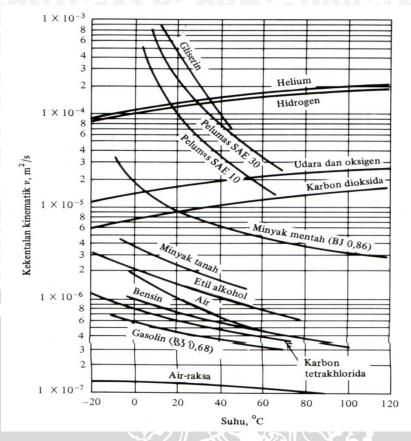
Kecepatan sudut juga dapat ditulis du/dy, karena baik U/t maupun du/dymenyatakan perubahan dibagi dengan jarak sepanjang perubahan yang terjadi. Jika tegangan geser $\tau = F/A$, maka diperoleh Persamaan 2-2 sebagai berikut:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$
 (Streeter, 1996: 4)

Bentuk diferensial di atas adalah hubungan antara tegangan geser dan laju perubahan bentuk sudut untuk aliran satu dimensi. Faktor kesebandingan μ disebut viskositas dinamik dan persamaan di atas adalah hukum viskositas Newton.

2.2.2 Viskositas

Viskositas adalah sifat fluida dalam menahan laju deformasi dari molekul fluida tersebut. Hukum Viskositas Newton menyatakan bahwa, untuk laju perubahan bentuk suatu fluida tertentu, merupakan fungsi dari tegangan geser dan viskositas. Contoh cairan yang kental adalah oli SAE 15W-30 sedangkan air dan udara mempunyai viskositas yang kecil/ tidak kental.



Gambar 2.2 : Viskositas kinematik berbagai fluida pada 1 atm Sumber : White, 1994 : 388

Gambar 2.2 merupakan grafik pengaruh temperatur terhadap kekentalan suatu fluida. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa untuk fluida cair viskositasnya akan menurun dengan meningkatnya temperatur sedangkan untuk fluida gas semakin meningkat temperatur maka viskositasnya akan meningkat. Menurut Streeter (1996: 8) perbedaan dalam kecenderungan terhadap suhu dikarenakan tahanan suatu fluida terhadap tegangan geser tersebut tergantung pada kohesinya dan laju perpindahan momentum molekulernya. Fluida cair yang memiliki ikatan-ikatan molekul yang jauh lebih rapat daripada gas, mempunyai gaya-gaya kohesi yang jauh lebih besar daripada gas. Kohesi merupakan salah satu penyebab utama viskositas cairan dan karena kohesi berkurang dengan naiknya temperatur, maka demikian pula dengan viskositasnya. Sebaliknya gas mempunyai gaya-gaya kohesi yang sangat kecil. Sebagian besar dari tahanannya terhadap tegangan geser merupakan akibat perpindahan momentum molekuler. Semakin meningkat temperatur mengakibatkan laju perpindahan molekul semakin tinggi sehingga viskositasnya semakin besar.

Viskositas dibedakan menjadi 2 macam yaitu viskositas mutlak/ dinamik dan viskositas kinematik (v), dimana viskositas kinematik adalah rasio perbandingan antara viskositas dinamik dengan densitas suatu fluida. Secara matematis dinyatakan sebagaimana rumus 2-3:

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$
 (Streeter, 1984: 347)

Dimana:

v = viskositas kinematik (m²/s)

 $\mu = \text{viskositas dinamik (N.s/m}^2)$

 $\rho = \text{densitas/ massa jenis (kg/m}^3)$

Viskositas banyak dipengaruhi oleh temperatur tanpa memperhitungkan tekanan yang bekerja dan banyak muncul dalam penerapan, misalnya untuk menentukan bilangan Reynolds pada internal flow, misalnya aliran fluida di dalam pipa, sedangkan viskositas dinamik adalah viskositas yang menunjukkan ketahanan suatu fluida terhadap tegangan geser/ gaya yang bekerja padanya.

2.2.3 Densitas (ρ)

Densitas adalah suatu ukuran dari konsentrasi massa dan dinyatakan sebagai massa tiap satuan volume. Oleh karena temperatur dan tekanan mempunyai pengaruh (walaupun sedikit) maka densitas dapat didefinisikan sebagai massa tiap satuan volume pada suatu temperatur dan tekanan tertentu. Kerapatan atau densitas dari fluida juga akan mempengaruhi jenis aliran dari fluida, bila ditinjau dari bilangan Reynolds. Secara matematis dinyatakan sebagaimana rumus 2-4:

$$\rho = \frac{m}{V}$$
 (Potter, 1927: 12)

2.2.4 Berat Jenis (γ)

Berat jenis (specific weight) y dari suatu benda adalah besarnya gaya gravitasi yang bekerja pada suatu massa dari suatu satuan volume, oleh karena itu berat jenis dapat didefinisikan sebagai berat tiap satuan volume. Secara matematis dinyatakan sebagaimana rumus 2-5:

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{m.g}{V} = \frac{\rho.V.g}{V} = \rho.g$$
 (Potter, 1997: 12)

Dimana:

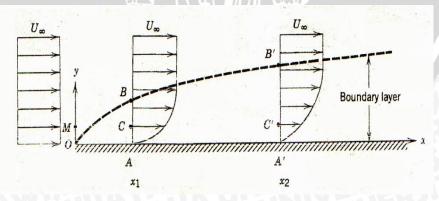
 γ = berat jenis (N/m³)

 $\rho = \text{kerapatan zat (kg/m}^3)$

g = percepatan gravitasi (m/s²)

2.2.5 Lapisan Batas/ Boundary layer

Boundary layer adalah lapisan tipis fluida pada permukaan benda padat dimana terjadi suatu gradien parameter yang besar. Pada fluida yang mengalir di dalam pipa, terjadi lapisan batas, dimana pada lapisan tersebut terjadi perubahan kecepatan terhadap jarak dari dinding pipa, karena pengaruh dari tegangan geser dinding pipa, sehingga terjadi gradien kecepatan. Pada aliran fluida aktual/ viscous yang melalui permukaan suatu benda terdapat suatu daerah dimana aliran fluida masih dipengaruhi gesekan dengan permukaan benda. Pada daerah tersebut kecepatan bertambah, dari nol (pada permukaan benda) hingga mendekati kecepatan aliran utama (kecepatan fluida di dalam lapisan batas telah mencapai 99% kecepatan aliran utama). Semakin mendekati permukaan diam (dinding pipa), kecepatan semakin berkurang, sebaliknya semakin menjauh kecepatan aliran semakin bertambah. Daerah ini disebut dengan lapisan batas (boundary layer) dengan ketebalan yang sangat tipis. Gradien kecepatan tersebut mempengaruhi tegangan geser dalam aliran fluida viscous karena besarnya tegangan geser sebanding dengan gradien kecepatan. Gambar 2.3 menjelaskan tentang stuktur boundary layer.



Gambar 2.3 : Struktur Boundary layer

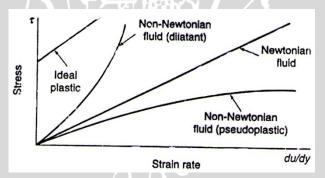
Sumber: White, 1994: 142

Pada gambar 2.3 terlihat ketika berada pada titik O fluida memiki kecepatan yang seragam, karena aliran fluida masih belum terpengaruh oleh gaya pada permukaan dinding. Saat fluida melewati titik A, fluida terpengaruh oleh gaya dinding, sehingga terjadi gradien kecepatan. Sedangkan ketika fluida pada titik A¹ juga terjadi gradien kecepatan, akan tetapi pengurangan kecepatan semakin besar karena jarak fluida mengalir pada dinding semakin jauh, sehingga pengaruh gaya dinding semakin besar terhadap fluida.

2.3 Klasifikasi Fluida

2.3.1 Fluida Newtonian dan Fluida non-Newtonian

Berdasarkan kemampuan fluida dalam menahan tegangan geser, fluida dibedakan menjadi fluida Newtonian dan fluida non-Newtonian (Streeter, 1996: 3). Dalam fluida Newtonian terdapat hubungan linier antara besarnya tegangan geser yang diterapkan dengan laju perubahan bentuk yang diakibatkan. Sedangkan fluida non-Newtonian memiliki hubungan yang tak linier antara besarnya tegangan geser dengan laju perubahan bentuk seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.4. Contoh fluida Newtonian adalah air, udara, dan oli, sedangkan fluida non-Newtonian adalah plastik cair dan lilin cair.



Gambar 2.4 Fluida Newtonian dan Fluida non-Newtonian Sumber: Potter (1997: 15)

2.3.2 Fluida Mampu Mampat Dan Fluida Tak Mampu Mampat

Menurut Daugherty, (1986: 4) fluida dibagi menjadi 2 yaitu fluida mampu mampat (*compressible*) dan fluida tak mampu mampat (*incompressible*). Fluida tak mampu mampat (*incompressible*) adalah fluida yang mempunyai massa jenis (ρ) konstan, tidak terpengaruh oleh perubahan tekanan ($d\rho/dp$) = 0. Sedangkan untuk fluida mampu mampat (*compressible*) massa jenisnya (ρ) berubah–ubah terhadap tekanan

 $(d\rho/dp) > 0$. Contoh fluida tak mampu mampat adalah fluida cair dan fluida gas yang memiliki Bilangan $Mach\ (M) < 0,3$ sedangkan untuk fluida gas yang memiliki Bilangan $Mach\ (M) > 0,3$ dianggap fluida mampu mampat dan sifat-sifat kompresibelitasnya harus diperhitungkan.

2.4 Bilangan Reynolds

Tahun 1884 *Osborne Reynolds* melakukan percobaan untuk menunjukkan sifat aliran laminer dan turbulen. Reynolds menunjukkan bahwa untuk kecepatan aliran yang kecil, zat warna akan mengalir dalam satu garis lurus seperti benang/sumbu pipa.

Bilangan *Reynolds* merupakan suatu parameter yang menyatakan suatu perbandingan kecepatan aliran, dan ukuran yang mewakili diameter penampang yang dilewati aliran fluida terhadap viskositas kinematik fluida. Besar bilangan *Reynolds* membedakan jenis aliran laminer, transisi atau turbulen pada lapisan batas, di dalam pipa atau di sekitar benda yang terendam.

Bilangan Reynolds merupakan besaran fisis yang tidak berdimensi. Bilangan ini dipergunakan sebagai acuan dalam membedakan aliran laminer dan turbulen di satu pihak, dan di lain pihak dapat dimanfaatkan sebagai acuan untuk mengetahui jenis-jenis aliran yang berlangsung dalam air. Hal ini didasarkan pada suatu keadaan bahwa dalam satu tabung/pipa atau dalam satu tempat mengalirnya air, sering terjadi perubahan bentuk aliran yang satu menjadi aliran yang lain. Perubahan bentuk aliran ini pada umumnya tidaklah terjadi secara tiba-tiba tetapi memerlukan waktu, yakni suatu waktu yang relatif pendek dengan diketahuinya kecepatan kritis dari suatu aliran. Kecepatan kritis ini pada umumnya akan dipengaruhi oleh bentuk pipa dan jenis zat cair yang lewat dalam pipa tersebut.

Terdapat empat besaran yang menentukan apakah aliran tersebut digolongkan aliran laminer ataukah aliran turbulen. Keempat besaran tersebut adalah besaran massa jenis air, kecepatan aliran, kekentalan, dan diameter pipa. Kombinasi dari keempatnya akan menentukan besarnya bilangan *Reynolds*.

Pada *incompressible flow* di dalam pipa kondisi aliran laminer atau turbulen ditentukan oleh besarnya bilangan *Reynolds* yang dapat dituliskan dalam Persamaan 2-6:

Re =
$$\frac{\rho.v.D}{\mu} = \frac{v.D}{v}$$
 (Potter, 1997: 260)

Keterangan:

v = kecepatan rata-rata aliran dalam pipa [m/s]

D = diameter pipa [m]

 $v = \text{viskositas kinematik } [\text{m}^2/\text{s}]$

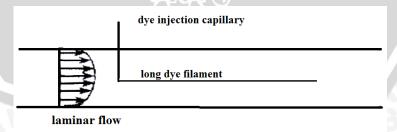
 $\mu = viskositas absolut/dinamik [N.s/m²]$

 $\rho = densitas [kg/m^3]$

2.4.1 Aliran Laminer dan Turbulen

Berdasarkan karakteristik struktur internal aliran, aliran fluida dapat dibedakan menjadi aliran laminer dan turbulen. Aliran laminer adalah aliran fluida yang memiliki stream line teratur dan tidak saling berpotongan antara satu dengan yang lain, yang bergerak mengikuti arah kontur dari saluran. Pada aliran laminer lapisan-lapisan atau lamina-lamina fluida bergerak secara lancar dan teratur, dengan tidak ada pencampuran partikel fluida dalam skala besar antara lapisan-lapisan fluida.

Fluida memiliki aliran laminer ketika fluida bergerak dengan kecepatan rendah dan memiliki viskositas yang tinggi. Aliran laminer memiliki angka *Reynolds* lebih kecil dari 2300. Pada aliran laminer kecenderungan untuk turbulensi diredam oleh gaya viskos yang memberikan tahanan terhadap gerakan relatif lapisan fluida yang berdekatan. Hal tersebut ditunjukkan oleh percobaan *Osborne Reynolds* (1884). Pada laju aliran rendah, aliran laminer tergambar sebagai filamen panjang yang mengalir sepanjang aliran sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 2.5.

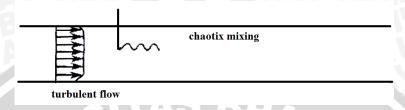


Gambar 2.5 Aliran Laminer

Sumber: Papanastasiou (1993: 26)

Aliran turbulen adalah aliran fluida dimana *stream line* bergerak secara acak ke segala arah dan saling berpotongan antara satu dan yang lain. Hal ini dikarenakan pada

aliran turbulen memilki partikel-partikel fluida yang bergerak secara acak dengan saling tukar momentum dan partikel antar lapisan fluida yang berdekatan dalam skala, sehingga fluida bergerak ke segala arah, dan terjadi pembauran aliran fluida. Hal tersebut oleh *Osborne Reynolds* digambarkan sebagai bentuk fluida yang bercampur dalam waktu cepat yang selanjutnya memecah dan menjadi tidak terlihat sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Aliran Turbulen

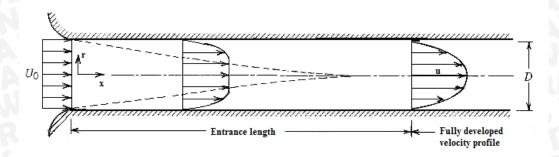
Sumber: Papanastasiou (1993: 26)

Dalam aliran laminer *losses* pada aliran sebanding dengan kecepatan fluida, tetapi untuk aliran turbulen *losses* sebanding dengan kecepatan fluida pangkat 1,7-2,0. Hal ini membuktikan bahwa pada aliran turbulen cenderung menghasilkan *losses* yang lebih besar. Bilangan *reynolds* untuk aliran laminer adalah kurang dari 2300, untuk aliran transisi 2300-4000, dan untuk turbulen lebih dari 4000.

2.4.2 Fully Developed Flow (Aliran Berkembang Penuh)

Aliran dalam pipa awalnya memiliki kecepatan yang seragam, setelah melewati pipa menempuh jarak tertentu kecepatan aliran pada dinding pipa semakin mendekati nol dan akan sama dengan nol bila fluida mengalir pada jarak yang lebih jauh lagi. Adanya penurunan kecepatan pada dinding pipa dikarenakan adanya gaya dinding pipa, sehingga terbentuk gradien kecepatan yang ditunjukan oleh terbentuknya lapisan batas. Semakin jauh jarak tempuh fluida semakin besar gradien kecepatan yang terjadi.

Setelah mencapai jarak yang mencukupi, lapisan batas akan mengembang dan mencapai garis pusat pipa. Aliran akan seluruhnya kental (*viscous*) dan bentuk dari profil kecepatan akan berubah. Ketika bentuk profil kecepatan sudah tidak lagi berubah terhadap bertambahnya jarak tempuh fluida terhadap pipa maka aliran itu disebut aliran *fully developed flow*. Bentuk aktual dari profil kecepatan aliran yang telah berlangsung mantap tergantung dari apakah aliran tersebut laminer atau turbulen. Proses terbentuknya aliran berkembang penuh dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Perkembangan aliran laminer pada pipa Sumber: Fox (1994: 26)

Jarak dari awal masuk pipa sampai aliran berkembang penuh (fully developed flow) terjadi disebut entrance length. Entrance length merupakan suatu fungsi dari bilangan Reynolds.

Rumus Entrance length ditulis dalam persamaan 2-8:

$$\frac{L}{D} = 0.06 \frac{\rho v D}{\mu}$$
 (Fox, 1994: 305)

Dimana:

 $L = entrance \ length \ (m)$

D = diameter pipa (m)

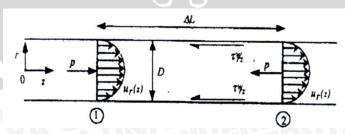
 $\rho = densitas (kg/m^3)$

v = kecepatan rata-rata (m/s)

 $\mu = viskositas absolut (N.s/m²)$

2.5 Aliran Fluida Dalam Pipa

2.5.1 **Hukum Kontinuitas**



Gambar 2.8 Aliran steady dalam pipa

Sumber: Papanastasiou (1993: 140)

Gambar 2.8 menggambarkan aliran fluida pada bagian 1 dan 2 mengalir dengan laju aliran yang konstan, sehingga kuantitas massa aliran fluida di berbagai bagian pipa pada waktu yang sama adalah tetap.

Jika tidak ada fluida yang ditambahkan, dipindahkan atau diletakkan di antara bagian 1 dan 2, maka massa fluida yang mengalir antara bagian 1 dan 2 tiap satuan waktu adalah tetap, dan dapat dirumuskan dengan persamaan 2-8:

$$M_1 = m_2 = \text{konstan}$$
 (White, 1994: 350) (2-8)
 ρ_1 . $A_1 \cdot v_1 = \rho_2$. $A_2 \cdot v_2$

Persamaan diatas adalah persamaan kontinuitas apabila aliran fluida yang mengalir adalah compressible. Jika fluida yang mengalir didalam pipa adalah incompressible maka $\rho_1 = \rho_2$. Sehingga persamaan kontinuitas dapat dirumuskan pada persamaan 2-9:

$$Q_1 = A_1 \cdot v_1 = Q_2 = A_2 \cdot v_2$$
 (White, 1994: 305) (2-9)

Dimana:

Q = debit aliran fluida (m³/s)

A = luas penampang pipa (m²)

v = kecepatan aliran fluida dalam pipa (m/s)

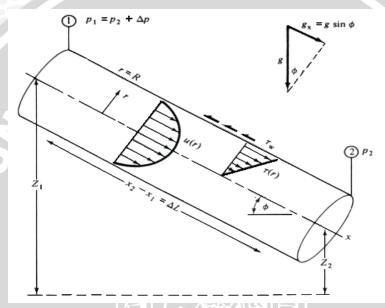
2.5.2 Persamaan Bernoulli

Syarat berlakunya persamaan Bernoulli yaitu alirannya tidak mengalamai perubahan kecepatan steady, tanpa gesekan antara fluida dengan permukaan saluran atau pipa, tak mampu mampat (*incompressible*), dan massa jenis fluida (ρ) konstan.

Pada fluida real total energi yang dimilki fluida tidak konstan, karena ada kerugian energi selama fluida mengalir. Untuk aliran fluida real di dalam pipa ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu fluida memiliki viskositas yang menyebabkan distribusi kecepatan pada penampang melintang saluran tidak seragam dan mengakibatkan kerugian energi (head losses). Ketika fluida berviskositas mengalir di dalam pipa, aliran diperlambat oleh gaya viskositas dan adhesi antara molekul fluida dan dinding pipa. Variasi kecepatan terjadi ketika lapisan-lapisan fluida saling terpengaruh satu sama lain karena gaya gesek atau tegangan geser yang disebabkan perbedaan kecepatan antara lapisan fluida. Fluida berviskositas memiliki partikelpartikel yang sering bergerak tak teratur yang dapat menyebabkan timbulnya vortex atau swirl dan hal ini dapat mengakibatkan kerugian energi pada fluida. Rumus bernoulli ditunjukkan pada persamaan 2-10:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{{V_1}^2}{2g} = z_2 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{{V_2}^2}{2g} + kerugian_{1-2}$$
 (Streeter, 1985: 110)

Perubahan bentuk energi akan terjadi bila pada posisi 2 penampang diperkecil, dengan demikian kecepatan fluida naik menjadi V_2 dan tekanan pada posisi 2 akan berkurang, hal ini akan terlihat dengan jelas letak pipa tersebut dibuat mendatar $Z_1=Z_2$. Aliran yang telah berkembang penuh antara 2 penampang dalam pipa miring dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Aliran yang telah berkembang penuh antara 2 penampang dalam pipa miring

Sumber: White (1994: 305)

2.6 Head Losses

Head losses adalah energi yang hilang pada fluida ketika fluida mengalir. Besarnya head losses tergantung pada bentuk, ukuran dan kekasaran saluran, kecepatan dan viskositas fluida dan tidak tergantung pada tekanan absolut. Head losses dibedakan menjadi dua macam, major losses dan minor losses.

2.6.1 Major Losses

Major losses adalah energi yang hilang sepanjang pipa lurus yang seragam dan sebanding dengan panjang pipa. Losses ini disebabkan karena gesekan internal fluida

BRAWIJAYA

dan juga gesekan antara fluida dan dinding saluran, maka di semua pipa baik pipa halus atau pipa kasar muncul *major losses*.

Rumusan untuk *major losses* menurut Darcy ditulis dalam Persamaan 2-12:

$$h_f = \lambda \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g}$$
 (Nekrasov, 1990: 60)

Dimana:

 $h_f = major \ losses \ (m)$

 λ = faktor gesek

1 = panjang pipa (m)

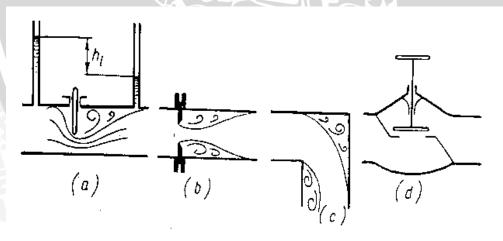
D = diameter pipa (m)

v = kecepatan fluida (m/s)

 $g = percepatan gravitasi (m/s^2)$

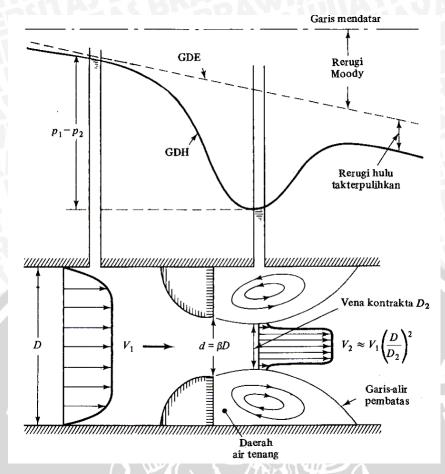
2.6.2 Minor Losses

Minor losses adalah energi yang hilang dari fluida disebabkan oleh perubahan bentuk lokal dari saluran, seperti; perubahan luas panampang, katup, belokan dan *orifice. Minor losses* terjadi karena aliran yang mengalir melewati bentuk lokal dari saluran mengalami perubahan kecepatan, arah atau besarnya, maupun keduanya. Hal tersebut terlihat pada Gambar 2.10, 2.11 dan 2.12.

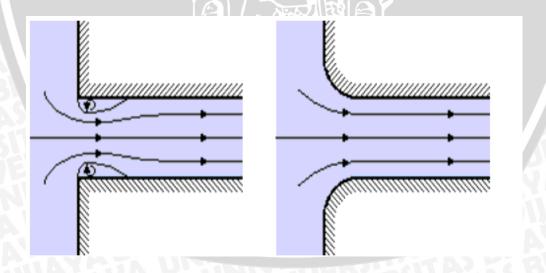


Gambar 2.10 Bentuk-bentuk lokal saluran

Sumber: Nekrasov (1960: 61)



Gambar 2.11 Penurunan tekanan akibat *minor losses (orifice)*Sumber: White (1988: 361)



Gambar 2.12 Minor losses dalam saluran masuk

Sumber: Anonymous 1: 2013

Minor losses dapat dirumuskan pada Persamaan 2-12:

$$h_l = \zeta \frac{V^2}{2a}$$
 (Nekrasov, 1990: 61)

Dimana:

 $h_1 = minor \ losses (m)$

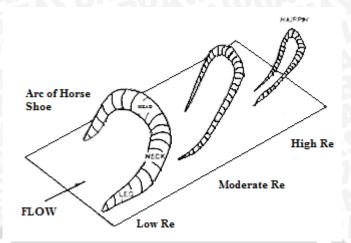
 ζ = koefisien kerugian *head* untuk *minor losses*

v = kecepatan fluida (m/s)

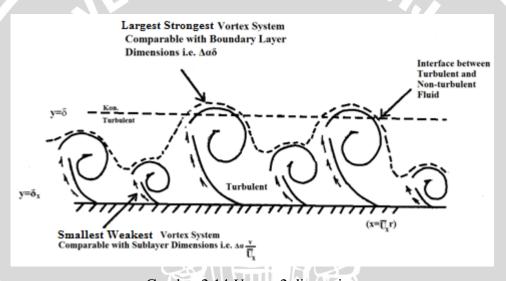
g = percepatan gravitasi (m/s²)

2.7 Vortex

Vortex didefinisikan sebagai massa fluida cairan atau gas yang partikelpartikelnya bergerak berputar. Gerakan partikel fluida bergerak berputar disebabkan adanya perbedaan kecepatan antara lapisan-lapisan fluida yang bersebelahan dengan jarak tertentu menimbulkan gaya-gaya yang akhirnya akan menyebabkan puntiran (Potter, 1997). Torsi ini akan menyebabkan terjadinya vortex-vortex pada fluida tersebut. Menurut proses pembentukannya *votex* dibagi menjadi 2 macam yaitu *vortex* bebas (free vortex) dan vortex paksa (forced vortex). Vortex bebas terjadi jika mekanisme pembentukan vortex tidak melibatkan energi dari luar sumber. Fluida berputar karena gerakan internalnya contohnya yaitu pusaran air disungai dan pusaran di belokan pipa akibat aliran sekunder. Vortex paksa terjadi jika mekanisme pembentukan vortex melibatkan energi dari luar misalnya fluida diberi torsi atau puntiran dari luar. Contohnya yaitu fluida dalam suatu wadah diputar dengan pipa silinder. Sesungguhnya vortex berwujud tiga dimensi dan dapat berubah menurut harga bilangan Reynolds. Pada bilangan Reynolds yang rendah, vortex berbentuk seperti tapal kuda dan semakin tinggi harga bilangan Reynolds maka vortex akan semakin meruncing, hal tersebut terlihat pada Gambar 2.13 dan 2.14.



Gambar 2.13 Geometri Vortex menurut besar bilangan Reynolds Sumber: Gerhart (1985: 607)



Gambar 2.14 Vortex 2 dimensi Sumber: Gerhart (1985: 619)

2.8 Flow Conditioner

Gangguan – gangguan pada aliran dapat dihilangkan sebagian ataupun seluruhnya dengan memasang alat pengkondisi aliran atau flow conditioner. Flow conditioner adalah suatu alat yang dapat mengurangi gangguan-gangguan yang terjadi pada aliran pada suatu instalasi perpipaan sehingga dapat mengurangi turbulensi. Alat ini mempunyai kemampuan untuk mengisolasi gangguan-gangguan aliran yang disebabkan oleh belokan, katup, perubahan luas penampang, dan orifice, dengan cara menghilangkan separasi dan vortex.

Flow conditioner juga bisa mengkondisikan aliran menjadi lebih stabil sehingga dapat mencapai kondisi aliran fully developed (berkembang penuh) lebih cepat dengan menempuh panjang pipa lurus yang lebih pendek (Lundberg, 1996).

Karena flow conditioner bisa menghilangkan separasi dan vortex, yang merupakan penyebab hilangnya energi pada aliran, yang menghasilkan pressure drop pada belokan pipa, terjadinya getaran pada pipa, dan kavitasi, maka pemasangan flow conditioner dapat meminimalisasi kerugian tersebut ketika aliran melewati belokan, katup, dan sebagainya.

Pemasangan flow conditioner pada instalasi perpipaan sendiri juga dapat menyebabkan pressure drop. Pemasangan flow conditioner akan efektif jika pressure drop akibat gangguan-gangguan aliran yang minimalisir oleh flow conditioner lebih besar daripada pressure drop yang dihasilkan oleh flow conditioner itu sendiri.

Ada beberapa flow conditioner yang sering digunakan yaitu, plat perforasi, honey comb, vane, tube bundle. Pada penelitian ini jenis flow conditioner yang dipakai adalah tab type flow conditioner.

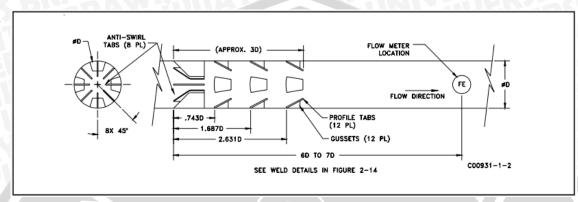
2.8.1 Plat Perforasi

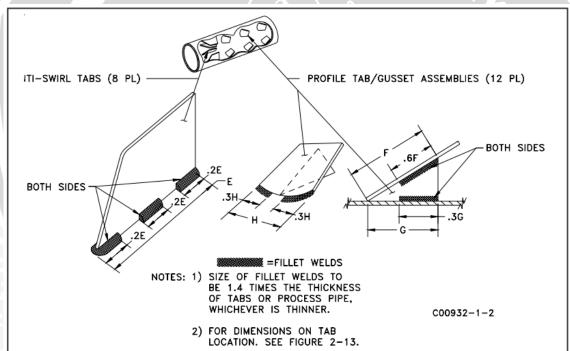
Plat perforasi adalah salah satu jenis alat pengkondisi aliran/ flow conditioner yang berfungsi untuk mengurangi separasi dan *vortex* pada instalasi pipa akibat adanya katup/valve, belokan pipa dan sambungan pada bagian pipa (Ziqiong, Shao, 2001: 1). Plat perforasi banyak digunakan dalam industri perpipaan gas, minyak, dan industri kimia dalam usaha untuk mengurangi terjadinya separasi, dimana separasi ini berpotensi menyebabkan terjadinya vortex, getaran, kavitasi dan kebisingan aliran fluida serta penurunan tekanan pada belokan pipa. Plat perforasi dapat menahan kecepatan aliran yang tinggi saat melewati belokan sehingga separasi dan aliran sekunder dapat dikurangi, disamping itu dengan adanya plat perforasi aliran akan seragam dan akan cepat mantap.

2.8.2 **Tipe Tab** (*Vortab flow conditioner*)

Vortab flow conditioner adalah salah satu jenis alat pengkondisi aliran flow conditioner yang mempunyai desain yang simpel, sehingga mampu menghasilkan aliran yang seragam dengan intensitas aliran turbulen yang rendah. Kebanyakan vortab flow conditioner didesain untuk menghilangkan swirl dan mengembangkan kecepatan aliran secara penuh pada instalasi perpipaan dengan seminim mungkin jarak yang tersedia (Lunberg, 1996).

Vortab flow conditioner banyak digunakan dalam industri perpipaan gas, minyak, dan industri kimia dalam usaha untuk mengurangi terjadinya separasi, dimana separasi ini berpotensi menyebabkan terjadinya vortex, getaran, kavitasi dan kebisingan aliran fluida serta penurunan tekanan pada perubahan luas penampang secara tiba-tiba pada instalasi perpipaan. Penampang vortab flow conditioner dapat dilihat pada gambar 2.15.





Gambar 2.15 Dimensi vortab flow conditioner

2.8.3 Tube Bundle

Tube bundle adalah salah satu jenis flow conditioner yang terdiri dari kumpulan tabung-tabung yang diikat menjadi satu yang dipasang pada penampang melintang di dalam pipa. Tube bundle menghasilkan profil aliran seperti peluru tumpul dengan kecepatan pada pusat aliran 15% lebih besar daripada kecepatan rata-rata aliran. Tube

BRAWIJAYA

bundle merupakan flow conditioner yang dapat secara efektif menghilang swirl/vortex pada aliran lebih besar daripada flow conditioner jenis lainnya.

Meskipun *tube bundle* baik dalam menghilangkan *swirl* atau *vortex*, hasil penelitian mengatakan terjadi beberapa eror pengukuran pada aliran. Hal ini dikarenakan profil aliran yang dihasilkan *tube bundle* tidak cukup stabil dan dapat menyebabkan gangguan pada profil kecepatan aliran. Kekurangan ini menyebabkan *tube bundle* membutuhkan lebih panjang pipa lurus untuk mencapai aliran *fully developed* dibandingkan dengan *flow conditioner* lain (plat perforasi).

Kelebihan *tube bundle* di samping mampu menghilangkan *swirl* lebih baik dari pada *flow conditioner* lain, *pressure drop* yang dihasilkan alat ini relatif lebih kecil. Dengan *tube bundle* penghalangan aliran lebih kecil terjadi, sehingga kehilangan energi pada aliran lebih kecil. Pembuatan *tube bundle* lebih mudah dan biaya lebih murah.

2.8.2 Orifice

Orifice Plate adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengukur laju aliran volum atau massa fluida di dalam saluran yang tertutup (pipa). Menggunakan prinsip yang sama sebagai Venturi nozzle, berdasarkan prinsip beda tekanan. Alat ini berupa plat tipis dengan gagang yang di apit. Fungsi dari gagang orifice adalah untuk memudahkan dalam proses pemasangan dan penggantian. Orifice termasuk alat ukur laju aliran dengan metode rintangan aliran (Obstruction Device). Karena geometrinya sederhana, biayanya rendah dan mudah dipasang atau diganti.

Kerugian tekan dari *orifice* pada instalasi pemipaan dapat dirumuskan oleh Persamaan 2-13 sebagai berikut:

$$\Delta P = \zeta \frac{v^2 \rho}{2} \qquad \text{(Gudmundsson, 1995: 11)}$$

dan hubungannya dengan kerugian head aliran fluida ditunjukkan oleh Persamaan 2-14:

$$\Delta h = \zeta \frac{V^2}{2g} \qquad (Gudmundsson, 1995: 11) \qquad (2-14)$$

dimana:

g = percepatan gravitasi lokal (m/s²)

 Δh = kerugian *head* dalam aliran fluida (mH₂O)

 ζ = koefisien kerugian tekanan atau kerudian *head* dari *orifice*

 ΔP = kerugian tekan dari *orifice* pada pemipaan (Pa)

= kecepatan aliran berdasarkan ukuran *orifice* (m/s)

= densitas fluida (kg/m³) ρ

Pengukuran minor losses pada orifice biasanya diberikan sebagai rasio dari kerugian head tekanan $h_l = \Delta P/\rho g$ terhadap head kecepatan $v^2/2g$ yang ditunjukkan oleh Persamaan 2-15:

$$\zeta = \frac{h_l}{v^2/(2g)} = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2}\rho v^2}$$
 (White, 1994: 335)

2.9 **Hipotesis**

Semakin pendek jarak peletakan vortab flow conditioner dari sisi keluaran pada orifice akan menyebabkan semakin sedikit terbentuknya vortex dan separasi, sehingga aliran yang dihasilkan lebih stabil dan seragam dan aliran berkembang penuh (fully developed flow) akan cepat terbentuk, sehingga mengakibatkan menurunnya ΔP yang akhirnya menyebabkan koefisien kerugian head aliran fluida akan semakin berkurang.





BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental (experimental research), yaitu melakukan pengamatan untuk mencari data sebab-akibat dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga dapat mengetahui variasi jarak peletakan vortab flow conditioner serta pengaruhnya terhadap koefisien kerugian head aliran fluida.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Variabel bebas yaitu variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel yang lain.
 Variabel bebas dalam penelitian adalah :
 - Jarak peletakan vortab flow conditioner: 2D, 3D, 4D, 5D
- 2. Variabel terikat yaitu variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas yang telah ditentukan. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah : Koefisien kerugian *head* pada *orifice* yang diamati.

3.3 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

3.4 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari hal-hal yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan sehingga dapat menguatkan dalam pengambilan hipotesa serta memperjelas hasil penelitian.

2. Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan untuk studi terhadap peralatan-peralatan yang diperlukan dalam penelitian.

3. Perancangan Instalasi

Perancangan instalasi dimulai dengan merancang instalasi pipa, penempatan vortab flow conditioner pada pipa uji, dan penempatan alat ukur.

4. Pembuatan Alat

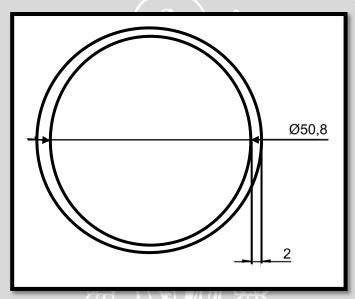
Pembuatan alat dimulai dengan mempersiapkan pipa untuk instalasi termasuk pipa uji dan vortab flow conditioner yang akan diteliti.

3.5 **Peralatan Penelitian**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Pipa PVC

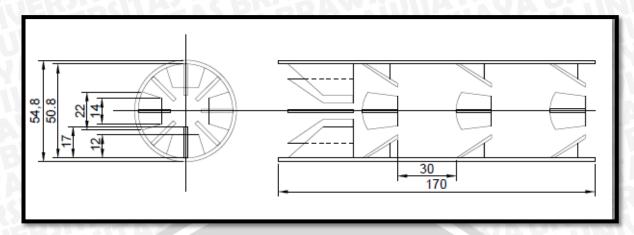
Digunakan sebagai instalasi pipa baik pipa lurus maupun belokan pipa. Pada penelitian ini menggunakan pipa PVC dengan diameter dalam 50,8 mm dan tebal 2 mm. Pipa PVC dengan diameter 50,8 mm dan tebal 2 mm dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Dimensi pipa PVC

2. Vortab flow conditioner

Vortab flow conditioner adalah salah satu jenis alat pengkondisi aliran flow conditioner yang mempunyai desain yang simpel, sehingga mampu menghasilkan aliran yang seragam dengan intensitas aliran turbulen yang rendah. Spesifikasi vortab flow conditioner dapat dilihat pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Spesifikasi Vortab flow conditioner

3. Pompa

Digunakan untuk mengalirkan air yang dialirkan oleh pompa ke seluruh instalasi pipa uji yang dipasangkan *gate valve* dan dikembalikan lagi ke bak penampung.

Spesifikasi dari alat ini adalah sebagai berikut :

- Laju aliran

= 1,35 liter/ detik

- Head pompa

= 15 m

- Putaran

= 5000 rpm

- Keluaran motor penggerak

= 0.35 kW

Pompa yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Pompa

Sumber: Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Universitas Brawijaya

5. Bak Penampung

Digunakan untuk menampung air yang dialirkan oleh pompa dan pembuangan dari instalasi pipa. Bak penampung yang digunakan dalam penelitian berukuran 1130 mm 730 mm x 850 mm. Bak penampung berukuran 1130 mm 730 mm x 850 mm dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Bak penampung

Sumber: Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Universitas Brawijaya

6. Flowmeter

Flowmeter seperti pada Gambar 3.5 berfungsi untuk mengukur debit aliran air yang melalui belokan pipa uji. Kapasitas *Flowmeter* yang digunakan 0 – 2000 liter/jam

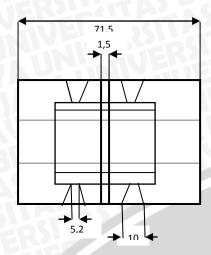


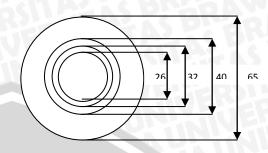
Gambar 3.5 Flowmeter

Sumber: Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Universitas Brawijaya

7. orifice

Digunakan untuk menciptakan beda tekanan. Yang hasilnya untuk mengukur debit. Orifice dapat dilihat pada gambar 3.6





Gambar 3.6 *orifice*

8. Manometer pipa-u fluida air

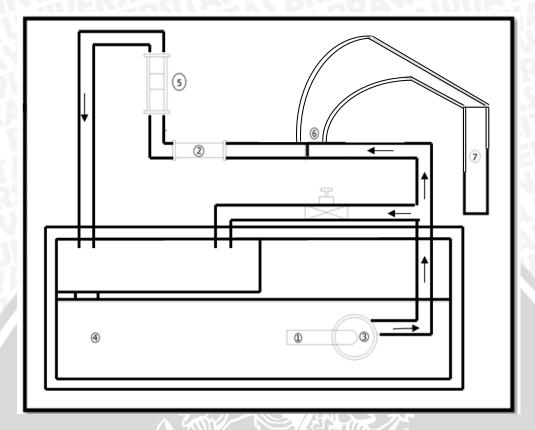
Digunakan untuk mengukur beda tekanan pada aliran fluida sebelum dan setelah melewati orifice. Manometer pipa-u fluida air yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Manometer pipa-u fluida air

Sumber: Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Universitas Brawijaya

Instalasi Penelitian 3.6



Gambar 3.8 Skema Instalasi Penelitian

Keterangan gambar:

- 1. Pipa PVC
- 2. Vortab Flow Conditioner
- 3. Pompa
- 4. Bak Penampung
- 5. Flowmeter
- 6. Orifice
- 7. Manometer pipa-u fluida air

3.7 Metode Pengambilan Data

Adapun urutan proses pengambilan data adalah sebagai berikut :

- Menyiapkan instalasi pipa dengan orifice yang memiliki vortab flow conditioner dengan jarak tertentu yang telah ditentukan.
- 2. Mengalirkan fluida dari bak penampung ke seluruh jaringan pipa dengan menyalakan pompa.
- Pengaturan debit aliran,dan Pengambilan data dilakukan 3 kali tiap waktu pengukuran.

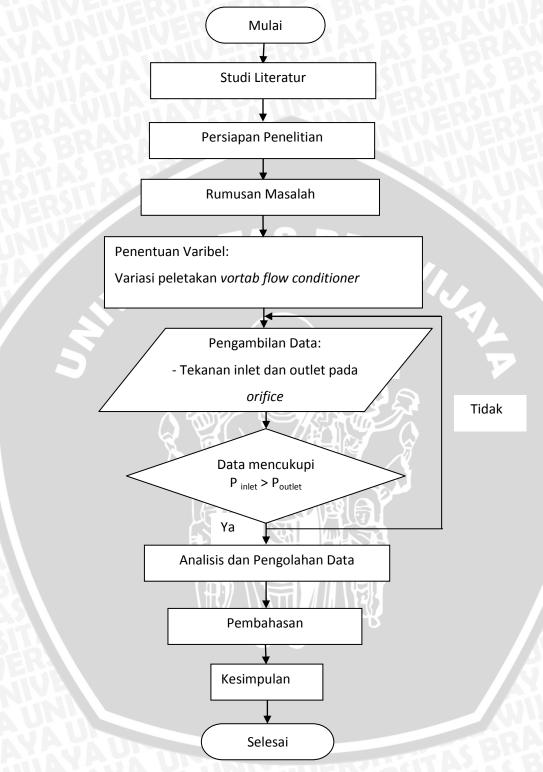
BRAWIJAYA

- 4. Pengambilan data berupa perbedaan tekanan yang terdapat pada manometer air pipa U.
- 5. Mengganti pipa uji dengan pipa uji lain yang diuji selanjutnya dengan jarak peletakan *vortab flow conditioner* yang baru sampai dengan 5D.
- 6. Pengolahan data untuk mendapatkan *head* rata rata aliran fluida.

3.8 Rancangan Tabel Penelitian

Model rancangan penelitian dilakukan terlebih dahulu mengetahui hubungan jarak peletakan *vortab flow conditioner* dan *Orifice* pengaruhnya terhadap koefisien kerugian *head* aliran fluida agar hasil data yang diperoleh dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah yang dihadapi. Dalam penelitian ini diketahui data awal viskositas kinematik dan temperatur suhu air.Data yang diambil adalah perbedaan tekanan yang terdapat pada manometer air pipa – U. Tabel pengambilan data hasil pengujian yang dilakukan yaitu pada pada *Orifice* tanpa *vortab flow conditioner* dan dengan *vortab flow conditioner* dengan jarak 2D, 3D, 4D dan 5D setelah *Orifice*.

2.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.9 Diagram Alir Penelitian