

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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 *gate valve* sebagai pengatur debit aliran pada instalasi pipa.

Pada belokan pipa terjadi penurunan tekanan (*pressure drop*) yang lebih besar daripada pipa lurus untuk panjang yang sama (Potter and Wiggert, 1997). Hal ini disebabkan aliran pada belokan pipa mengalami gaya sentrifugal yang memunculkan aliran sekunder (Hwang, 1996). Aliran sekunder tersebut memicu terbentuknya *vortex*, yang dapat memperbesar penurunan tekanan (Δp) pada belokan (Hanus *etal*, 2002). Semakin besarnya Δp atau meningkatnya penurunan tekanan tersebut dapat menyebabkan energi yang dibutuhkan untuk mengalirkan fluida tersebut meningkat, sehingga daya pemompaan juga meningkat. Selain itu penurunan tekanan yang terlalu besar dapat menyebabkan terjadinya kavitasi dan getaran pada instalasi pipa.

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

Deane (1966) memperlihatkan bahwa *flow conditioner* mempunyai peranan yang sangat penting dalam dunia industri. Karena dalam dunia industri terjadi beragam permasalahan yang terjadi yang berkaitan dengan instalasi perpipaan. *Gate valve* merupakan salah satu jenis *stop valve* yang digunakan untuk membuka dan menutup aliran yang memiliki tekanan tidak terlalu tinggi. Selain itu juga berfungsi untuk mengontrol debit aliran. Namun setelah aliran melewati *gate valve* akan terbentuk turbulensi dan *vortex* yang menyebabkan kerugian berupa penurunan *head* akibat bentuk penampangnya.

Oleh karena itu perlu diadakan penelitian lebih lanjut untuk mengurangi koefisien kerugian *head* akibat terjadinya *vortex* tersebut, yaitu dengan pemasangan suatu alat pengkondisi aliran jenis *vortab flow conditioner (Tab Type)* dengan variasi jarak peletakan pada sisi keluaran *gate valve*.

1.2 Rumusan Masalah

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

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak meluas dan terfokus, maka perlu dilakukan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Fluida kerja yang digunakan adalah air (fluida *incompressible*).
2. Viskositas fluida dianggap konstan.
3. *Gate valve* yang digunakan jenis *circular gate valve*.
4. *Vortab flow conditioner* yang digunakan terbuat dari bahan acrylic dengan sudut 40° dan tebal sirip 2 mm.
5. Temperatur dianggap konstan selama pengujian.
6. Diameter pipa 2 inchi.
7. Dimensi material yang lainnya dianggap konstan.
8. Bukaannya *gate valve* : (30, 40, 50, 60, 70, 80, dan 90)%.

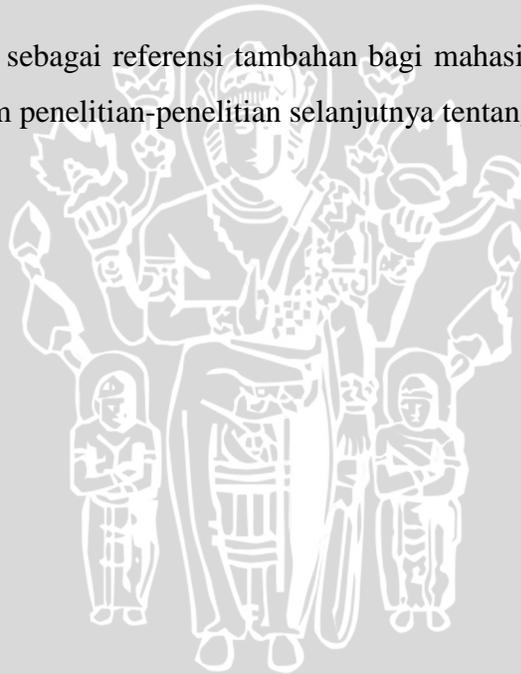
1.4 Tujuan Penelitian

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

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Sebagai dasar untuk menentukan jarak peletakan *vortab flow conditioner* dari sisi keluaran *gate valve* untuk memperkecil kerugian energi pada instalasi pipa.
2. Memberikan masukan bagi dunia industri yang mempergunakan instalasi perpipaan dalam usaha mengurangi kerugian energi berupa penurunan tekanan pada *gate valve*.
3. Dapat dijadikan sebagai referensi tambahan bagi mahasiswa teknik mesin pada khususnya dalam penelitian-penelitian selanjutnya tentang *flow conditioner*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

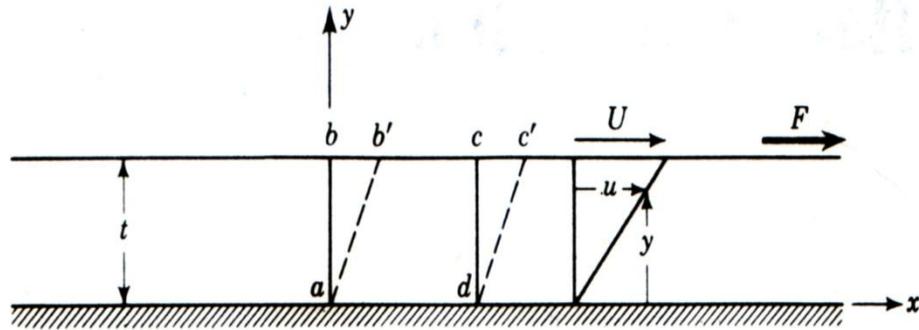
Pada saat ini *flow conditioner* telah banyak dikembangkan. Salah satu penelitian tentang *flow conditioner* telah dilakukan oleh Syamsuddin (2008) dan Sase (2011). Penelitian yang dilakukan oleh Syamsudin (2008) dilakukan pada belokan pipa dengan diletakkan plat perforasi (plat berlubang) sebagai *flow 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.

Dalam penelitian yang dilakukan Sase (2011), 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 yang berubah bentuk secara terus-menerus (kontinyu) bila terkena tegangan geser, berapapun kecilnya tegangan geser tersebut. Tegangan geser ini timbul akibat adanya gaya geser. Gaya geser yang terjadi adalah komponen gaya yang menyinggung permukaan, kemudian gaya geser ini yang dibagi dengan luas permukaan tersebut adalah tegangan geser rata-rata pada permukaan itu. (Streeter, 1996: 3).



Gambar 2.1: Perubahan bentuk yang diakibatkan oleh penerapan gaya geser yang konstan.
Sumber : Streeter, L. V, and Wylie.1996: 4

Pada gambar 2.1 dapat dilihat bahwa suatu zat yang ditempatkan di antara 2 plat yang sejajar dengan jarak yang kecil (t) 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, berapapun sangat kecilnya gaya F , maka dapat disimpulkan bahwa zat di antara pelat tersebut adalah suatu fluida yang sedang mengalami pergerakan dengan kecepatan tertentu dan ditandai perubahan bentuk dari fluida tersebut di sepanjang saluran.

Dari percobaan-percobaan menunjukkan 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.

$$F = \mu \cdot \frac{A \cdot U}{t} \quad (\text{Streeter, 1996: 4}) \quad (2-1)$$

Dimana :

F = gaya yang menyebabkan plat bergerak (N)

μ = faktor kesebandingan dan pengaruh fluida yang bersangkutan tercakup didalamnya (N.s/ m^2)

U = kecepatan plat (m/s)

A = luas plat (m^2)

t = tebal lapisan fluida (m)

Jika tegangan geser $\tau = F/A$, maka diperoleh persamaan 2-2.

$$\tau = \mu \frac{U}{t} \quad (\text{Streeter, 1996: 4}) \quad (2-2)$$

Karena U/t merupakan perbandingan antara kecepatan dibagi dengan tebal lapisan fluida, maka U/t dapat diganti dengan du/dy yang merupakan gradien kecepatan, dimana terjadi perubahan kecepatan terhadap jarak sepanjang mana perubahan terjadi.

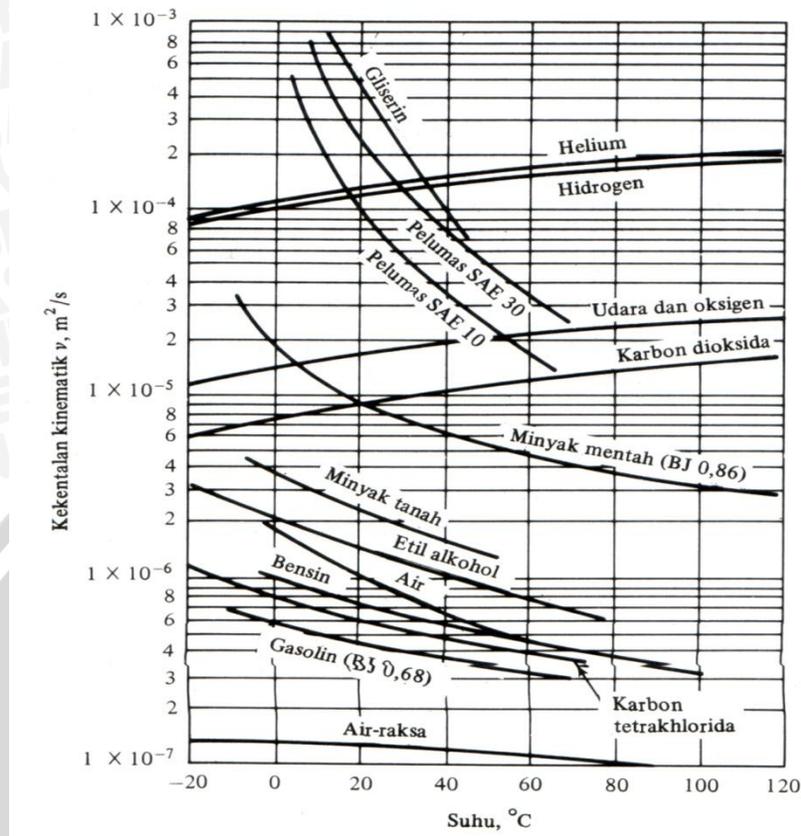
Sehingga didapat persamaan 2-3.

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (\text{Streeter, 1996: 4}) \quad (2-3)$$

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 (ν), dimana viskositas kinematik adalah rasio perbandingan antara viskositas dinamik dengan densitas suatu fluida. Secara matematis dinyatakan sebagaimana rumus 2-4.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{Streeter, 1984: 347}) \quad (2-4)$$

Dimana :

ν = viskositas kinematik (m^2/s)

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

ρ = 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 *Reynold* 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 2-5.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{Potter, 1927: 12}) \quad (2-5)$$

2.2.4 Berat Jenis (γ)

Berat jenis (*specific weight*) γ 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 2-6.

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{m \cdot g}{V} = \frac{\rho \cdot V \cdot g}{V} = \rho \cdot g \quad (\text{Potter, 1997: 12}) \quad (2-6)$$

Dimana :

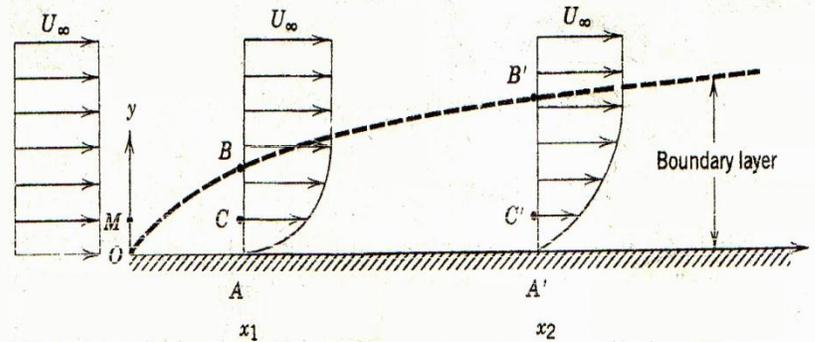
γ = berat jenis (N/m³)

ρ = kerapatan zat (kg/m³)

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*

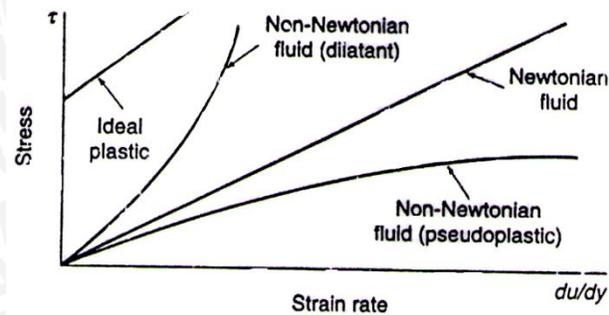
Sumber : White, 1994 : 142

Pada gambar 2.3 terlihat ketika berada pada O fluida memiliki kecepatan yang seragam, karena aliran fluida masih belum terpengaruh oleh gaya pada permukaan dinding. Saat fluida melewati A, fluida terpengaruh oleh gaya dinding, sehingga terjadi gradien kecepatan. Sedangkan ketika fluida pada A' 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 ($dp/dp = 0$). Sedangkan untuk fluida mampu mampat (*compressible*) massa jenisnya (ρ) berubah-ubah terhadap tekanan ($dp/dp > 0$). 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

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 laminar, transisi atau turbulen pada lapisan batas, di dalam pipa atau di sekitar benda yang terendam.

Pada *incompressible flow* di dalam pipa kondisi aliran laminar atau turbulen ditentukan oleh besarnya bilangan *Reynolds* yang dapat dituliskan dalam Persamaan 2-7:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (\text{Potter, 1997: 260}) \quad (2-7)$$

Dimana :

v = kecepatan rata-rata aliran dalam pipa (m/s)

D = diameter pipa (m)

ν = viskositas kinematik (m^2/s)

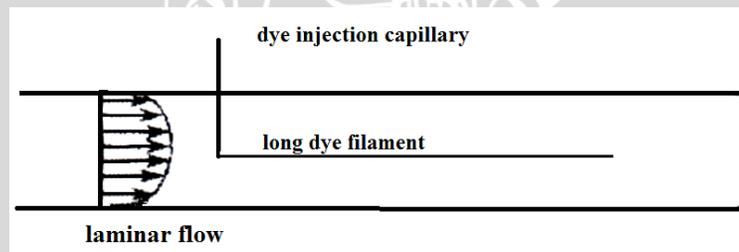
μ = viskositas absolut/dinamik ($\text{N.s}/\text{m}^2$)

ρ = 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.

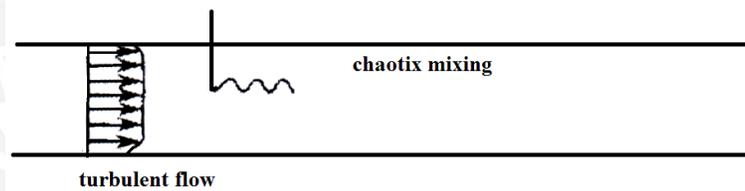
Fluida memiliki aliran laminer ketika fluida bergerak dengan kecepatan rendah dan memiliki viskositas yang tinggi. Aliran laminer memiliki angka *Reynolds* lebih kecil dari 2300. Pada aliran laminer kecenderungan untuk turbulensi diredam oleh gaya viskos yang memberikan tahanan terhadap gerakan relatif 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 memiliki 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.



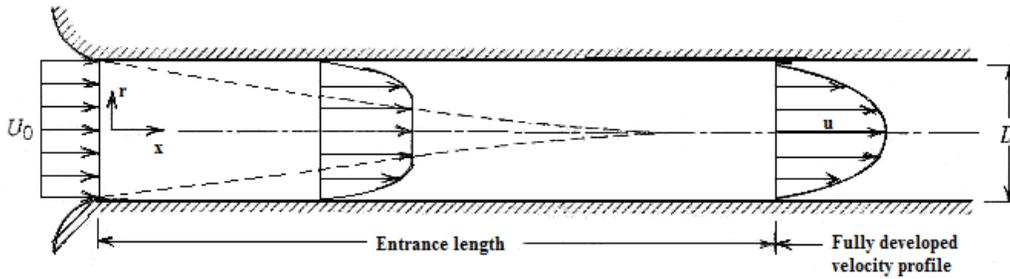
Gambar 2.6 Aliran Turbulen
Sumber: Papanastasiou (1993: 26)

Dalam aliran laminar *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 laminar 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 ditunjukkan 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 laminar 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:

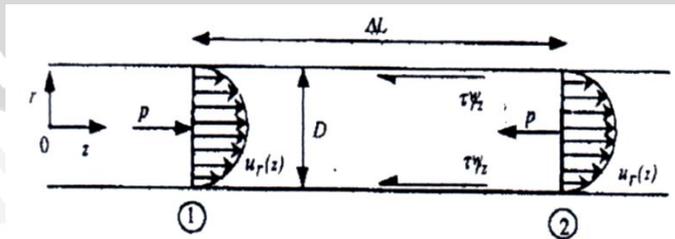
$$\frac{L}{D} = 0,06 \frac{\rho v D}{\mu} \quad (\text{Fox, 1994: 305}) \quad (2-8)$$

Dimana :

- L = *entrance length* (m)
- D = diameter pipa (m)
- ρ = densitas (kg/m^3)
- v = kecepatan rata-rata (m/s)
- μ = viskositas absolut (N.s/m^2)

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 2-9:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \text{konstan} \quad (\text{White, 1994: 350}) \quad (2-9)$$

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot v_2$$

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 2-10:

$$Q_1 = A_1 \cdot v_1 = Q_2 = A_2 \cdot v_2 \quad (\text{White, 1994: 305}) \quad (2-10)$$

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

Dalam mendapatkan persamaan *Bernoulli* terdapat asumsi-asumsi yang harus diperhatikan yaitu alirannya tidak mengalami perubahan kecepatan *steady*, tanpa gesekan antara fluida dengan permukaan saluran atau pipa, tak mampu mampat (*incompressible*), dan massa jenis fluida (ρ) konstan.

Persamaan *Bernoulli* untuk fluida real menggambarkan kesetimbangan energi seperti halnya hukum energi mekanik, tetapi mengikutsertakan kerugian energi yang terjadi di dalam persamaan tersebut.

Pada fluida real total energi yang dimiliki 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 partikel-partikel 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 2-11:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \text{kerugian}_{1-2} \quad (\text{Streeter, 1985: 110}) \quad (2-11)$$

α adalah faktor koreksi energi kinetik yaitu untuk aliran laminar di dalam pipa, $\alpha = 2$, dan untuk aliran turbulen di dalam pipa $1,01 \leq \alpha \leq 1,10$ dan biasanya dibiarkan kecuali untuk pekerjaan yang memerlukan ketelitian dan kerugian₁₋₂ disimbolkan Σh (*head loss*). Persamaan di atas adalah persamaan *Bernoulli* untuk fluida real. Persamaan ini berbeda dengan persamaan *Bernoulli* untuk fluida ideal. Pada persamaan ini di tampilkan *head loss* (Σh) karena pada fluida real terjadi kerugian energi dan juga α yang menyatakan koefisien distribusi kecepatan, karena distribusi kecepatan pada fluida real tidak seragam. Dari persamaan diatas dapat disimpulkan bahwa persamaan *Bernoulli* untuk fluida real menggambarkan kesetimbangan energi seperti halnya hukum energi mekanik, tetapi mengikutsertakan kerugian-kerugian energi yang terjadi di dalam persamaan tersebut.

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 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.

$$h_f = \lambda \frac{l v^2}{D 2g} \quad (\text{Nekrasov, 1990: 60}) \quad (2-12)$$

Dimana :

h_f = *major losses* (m)

λ = faktor gesek

l = panjang pipa (m)

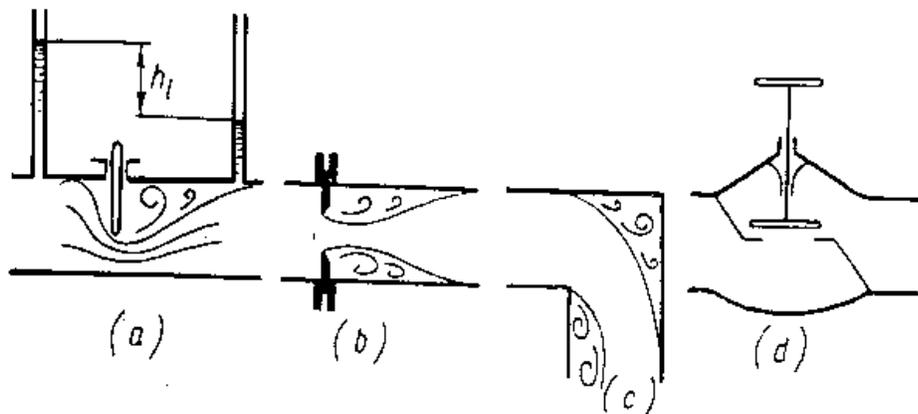
D = diameter pipa (m)

v = kecepatan fluida (m/s)

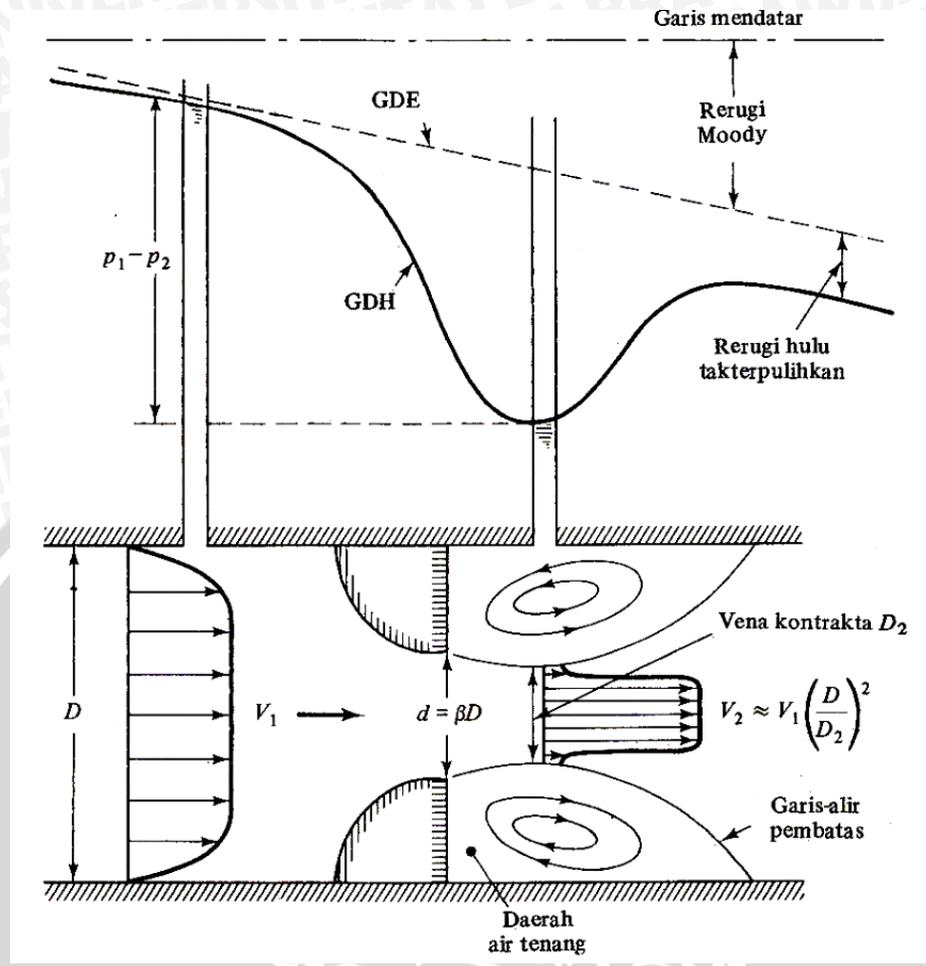
g = percepatan gravitasi (m/s²)

2.6.2 *Minor Losses*

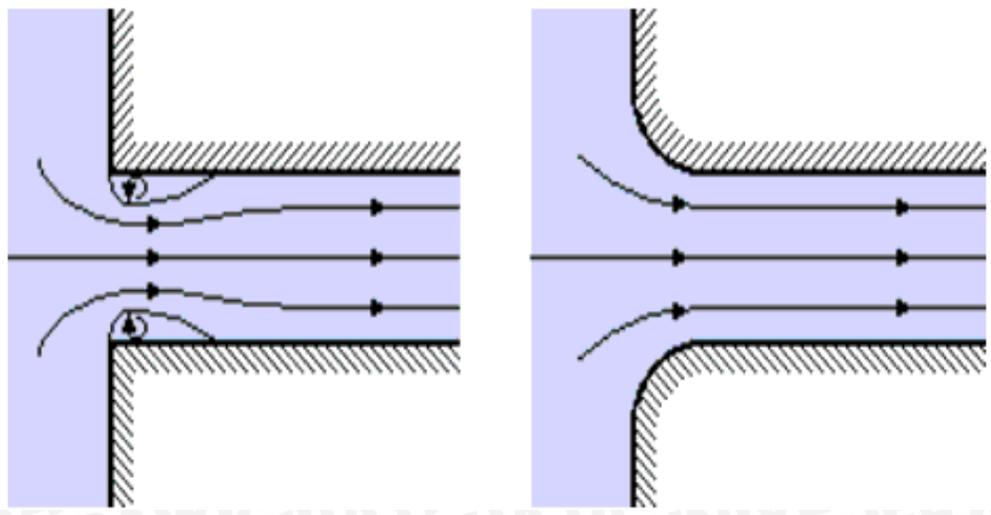
Minor losses adalah energi yang hilang dari fluida disebabkan oleh perubahan bentuk lokal dari saluran, seperti; perubahan luas panampang, katup, belokan dan *orifice*. *Minor losses* terjadi karena aliran yang mengalir melewati bentuk lokal dari saluran mengalami perubahan kecepatan, arah atau besarnya, maupun keduanya. Hal tersebut terlihat pada Gambar 2.9; 2.10 dan 2.11.



Gambar 2.9 Bentuk-bentuk lokal saluran
Sumber: Nekrasov (1960: 61)



Gambar 2.10 Penurunan tekanan akibat *minor losses* (orifice)
 Sumber: White (1988: 361)



Gambar 2.11 *Minor losses* dalam saluran masuk
 Sumber: Anonymous 1 : 2012

Minor losses dapat dirumuskan pada Persamaan 2-13:

$$h_l = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Nekrasov, 1990: 61}) \quad (2-13)$$

Dimana :

h_l = *minor losses* (m)

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

v = kecepatan fluida (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

2.6.3 *Minor Losses Pada Gate Valve*

Kerugian tekan dari katup pada instalasi pemipaan dapat dirumuskan oleh Persamaan 2-14 sebagai berikut:

$$\Delta P = \zeta \frac{v^2 \rho}{2} \quad (\text{Gudmundsson, 1995: 11}) \quad (2-14)$$

dan hubungannya dengan kerugian *head* aliran fluida ditunjukkan oleh Persamaan 2-15:

$$\Delta h = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Gudmundsson, 1995: 11}) \quad (2-15)$$

Dimana :

g = percepatan gravitasi lokal (m/s²)

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

ζ = koefisien kerugian tekanan atau kerugian *head* dari katup

ΔP = kerugian tekan dari katup pada pemipaan (Pa)

v = kecepatan aliran berdasarkan ukuran katup (m/s)

ρ = densitas fluida (kg/m³)

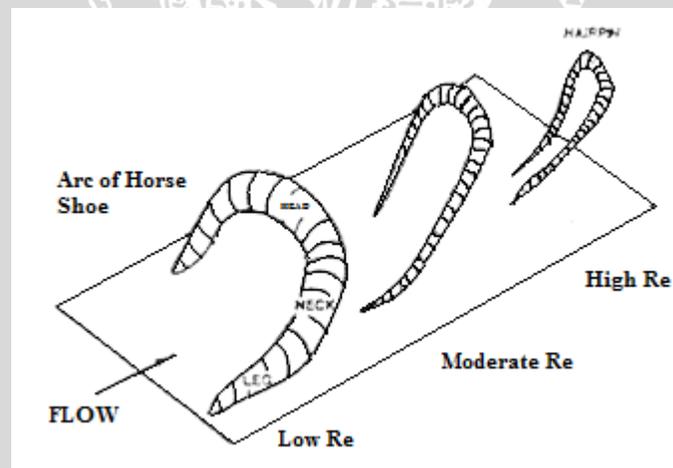
Pengukuran *minor losses* pada *gate valve* biasanya diberikan sebagai rasio dari kerugian *head* tekanan $h_l = \Delta P / \rho g$ terhadap *head* kecepatan $v^2 / 2g$ yang ditunjukkan oleh Persamaan 2-16:

$$\zeta = \frac{h_l}{v^2 / (2g)} = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2} \rho v^2} \quad (\text{White, 1994: 335}) \quad (2-16)$$

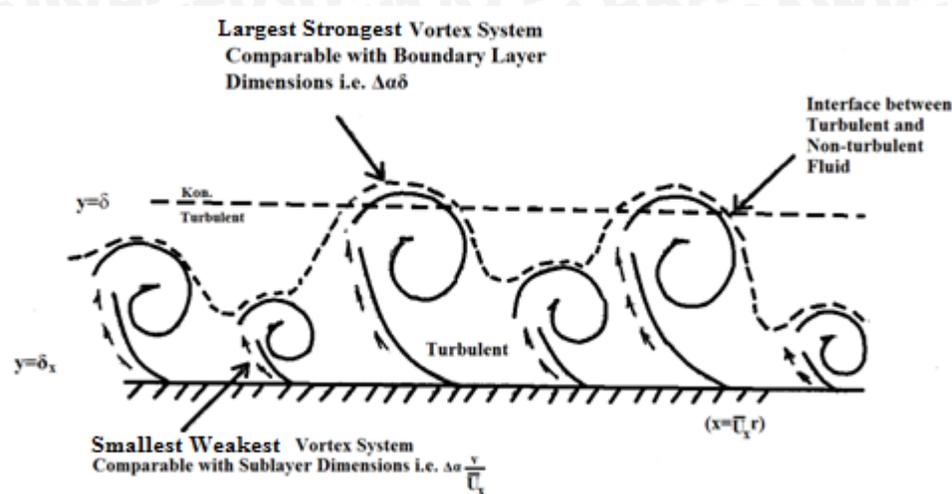
Head loss coefficient pada *gate valve*, *head loss coefficient* pada setiap tipe *gate valve*, dan *Head Loss Coefficient of Circular Gate Valve* dapat dilihat pada gambar 2.13, tabel 2.1, dan gambar 2.14.

2.7 Vortex

Vortex didefinisikan sebagai massa fluida cairan atau gas yang partikel-partikelnya 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 *vortex* 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 2.12 dan 2.13.



Gambar 2.12 Geometri *Vortex* menurut besar bilangan *Reynolds*
Sumber: Gerhart (1985: 607)



Gambar 2.13 Vortex 2 dimensi
Sumber: Gerhart (1985: 619)

2.8 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).

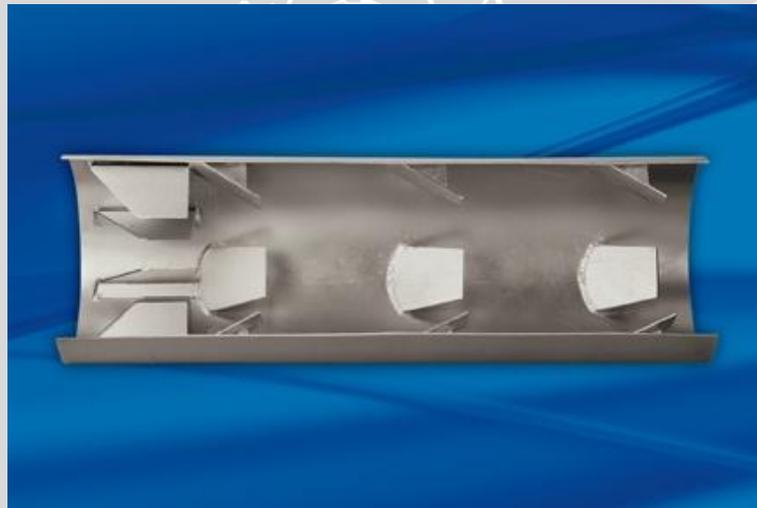
Karena *flow conditioner* bisa menghilangkan separasi dan *vortex*, yang merupakan penyebab hilangnya energi pada aliran, yang menghasilkan *pressure drop* pada *gate valve*, terjadinya getaran pada pipa, dan kavitasi, maka pemasangan *flow conditioner* dapat meminimalisasi kerugian tersebut ketika aliran 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 diminimalisasikan oleh *flow conditioner* lebih besar daripada *pressure drop* yang dihasilkan oleh *flow conditioner* itu sendiri. Ada beberapa *flow conditioner* yang sering digunakan yaitu, *vortab flow conditioner*, *honey comb*, *vane*, *tube bundle* dan sebagainya.

2.8.1 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 2.14.



Gambar 2.14 Penampang *Vortab flow conditioner*
Sumber: *Anonymous 2 : 2012*

2.9 Hipotesis

Semakin pendek jarak peletakan *vortab flow conditioner* dari sisi keluaran pada *gate valve* 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* dan bukaan *gate valve* serta pengaruhnya terhadap koefisien kerugian *head* aliran fluida.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. 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 *gate valve* yang diamati.

3.3 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada tanggal 17-30 April 2012.

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

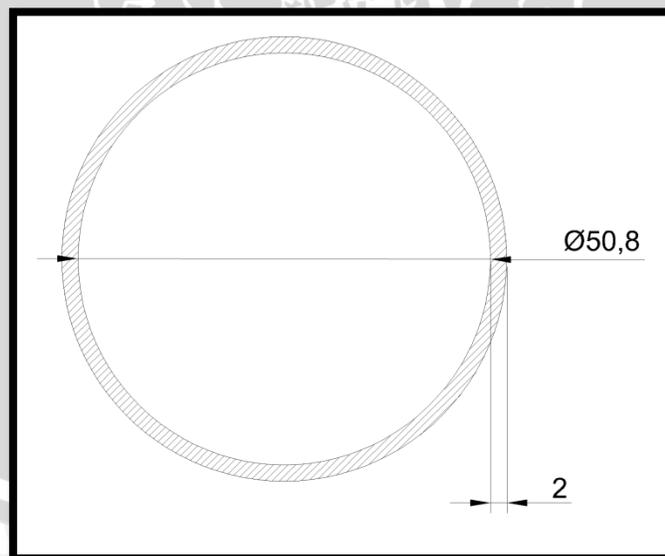
Pembuatan alat dimulai dengan mempersiapkan pipa untuk instalasi termasuk pipa uji dan *vortab flow conditioner* yang akan diteliti.

3.5 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Pipa PVC

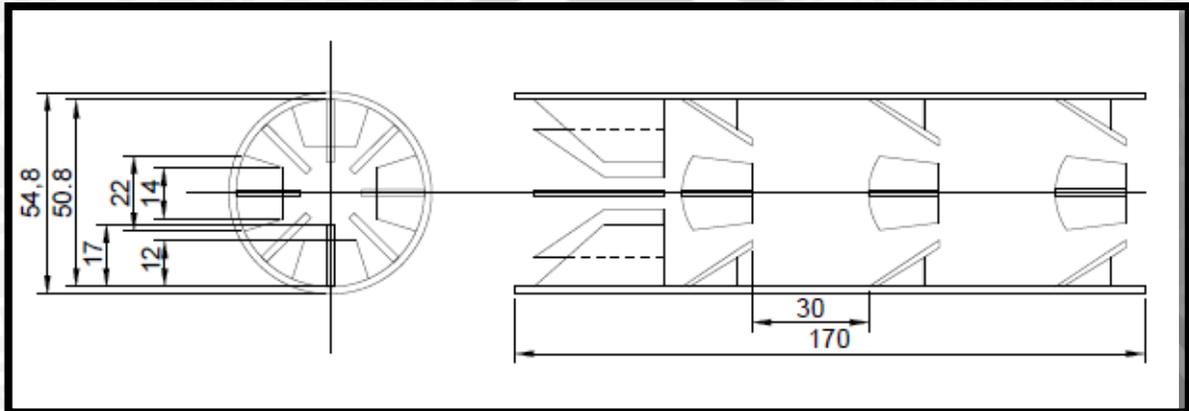
Digunakan sebagai instalasi pipa baik pipa lurus maupun belokan pipa. Pada penelitian ini menggunakan pipa PVC dengan diameter dalam 50,8 mm dan tebal 2 mm. Pipa PVC dengan diameter 50,8 mm dan tebal 2 mm dapat dilihat pada gambar 3.1.



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

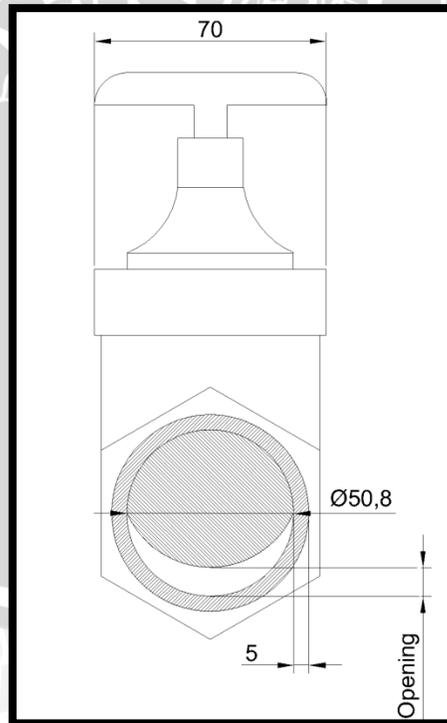


Gambar 3.5 *Flowmeter*

Sumber: Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Universitas Brawijaya

7. Gate Valve

Digunakan untuk mengontrol aliran air yang melalui instalasi pipa. *Gate valve* yang digunakan dalam penelitian adalah jenis *Circular Gate Valve* merk ONDA dengan diameter dalam 50.8 mm. Gate valve jenis *Circular Gate Valve* merk ONDA dengan diameter dalam 50.8 mm dapat dilihat pada gambar 3.6.

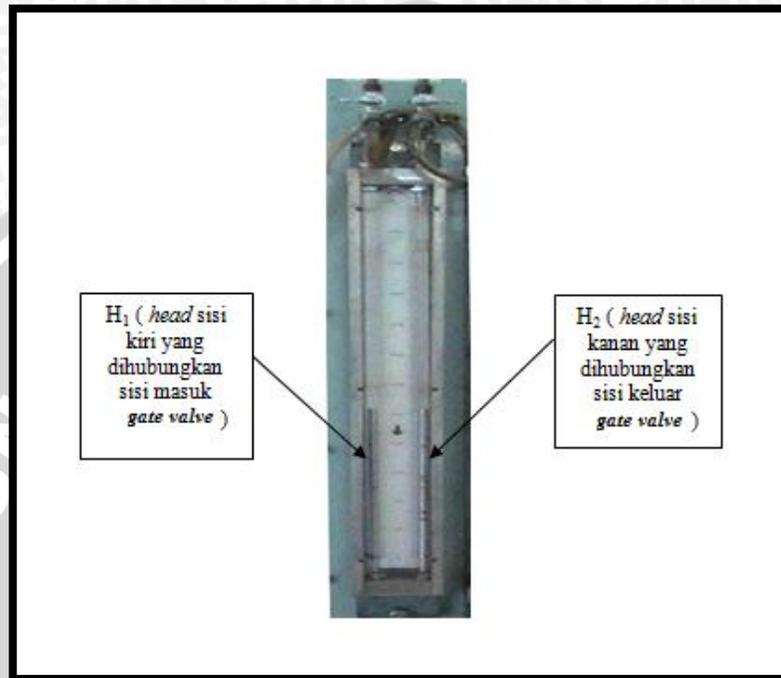


Gambar 3.6 *Gate Valve*

Sumber: Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Universitas Brawijaya

8. Manometer pipa-u fluida raksa

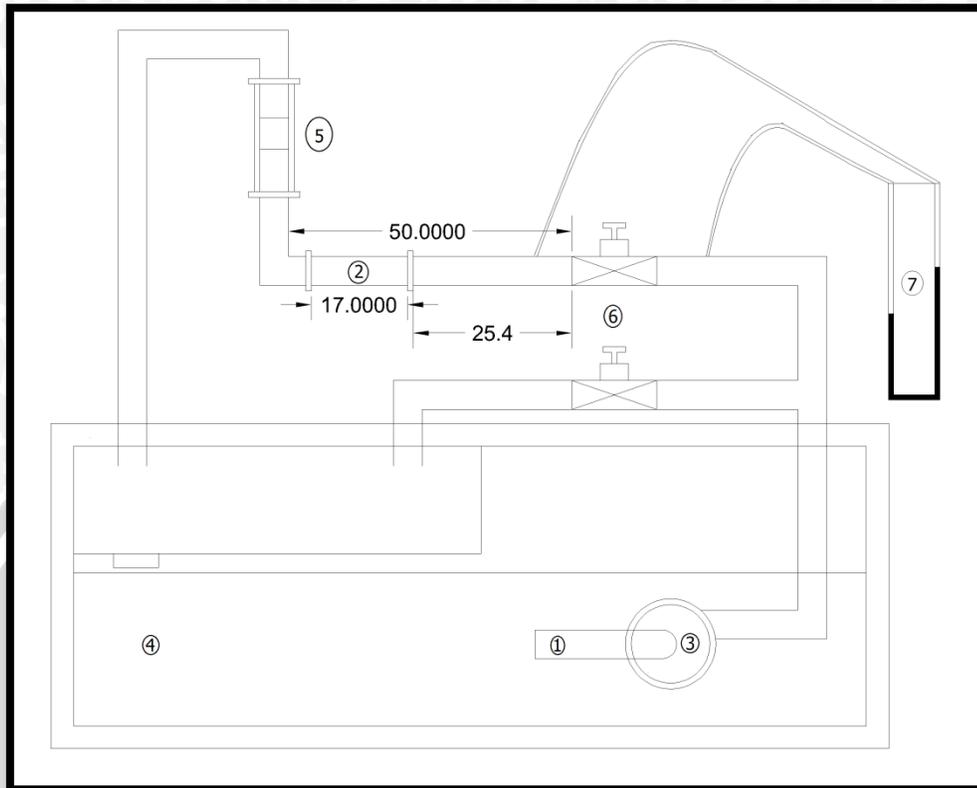
Digunakan untuk mengukur beda tekanan pada aliran fluida sebelum dan setelah melewati *gate valve*. Manometer pipa-u fluida raksa yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Manometer pipa-u fluida raksa

Sumber: Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Universitas Brawijaya

3.6 Instalasi Penelitian



Gambar 3.8 Skema Instalasi Penelitian

Keterangan gambar :

1. Pipa PVC
2. *Vortab Flow Conditioner*
3. Pompa
4. Bak Penampung
5. *Flowmeter*
6. *Gate Valve*
7. Manometer pipa-u fluida raksa

3.7 Metode Pengambilan Data

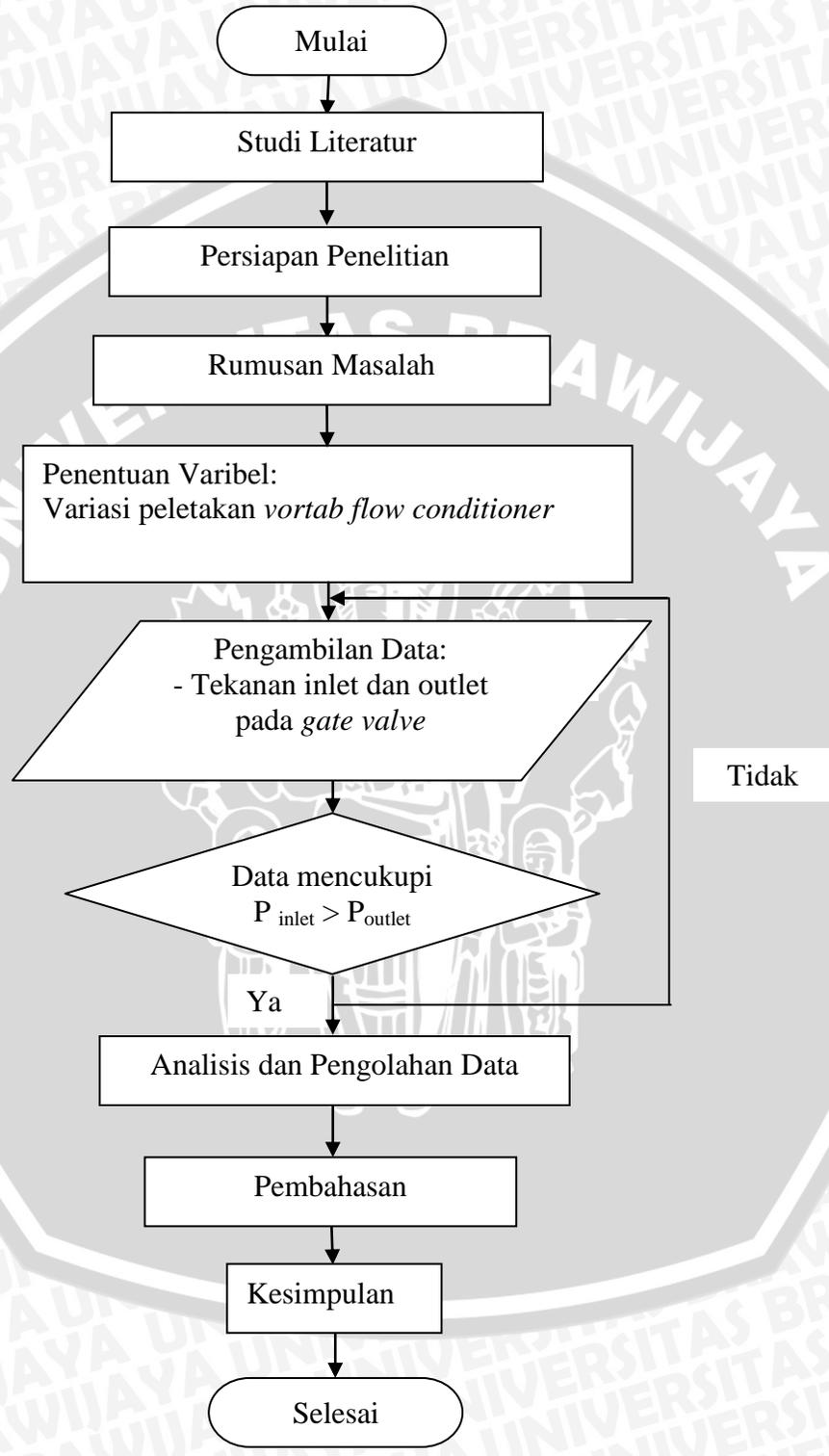
Adapun urutan proses pengambilan data adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan instalasi pipa dengan *gate valve* yang memiliki *vortab flow conditioner* dengan jarak tertentu yang telah ditentukan.
2. Menutup katup keran pengatur debit kemudian mengalirkan fluida dari bak penampung ke seluruh jaringan pipa dengan menyalakan pompa.

3. Mengatur bukaan *gate valve* mulai bukaan 30 % sampai bukaan 90 %. Diamkan instalasi berjalan sekitar 10 menit sehingga fluida telah mengisi instalasi pipa seluruhnya untuk memperoleh data yang akurat, pengambilan data dilakukan 3 kali tiap waktu pengukuran.
4. Pengambilan data berupa perbedaan tekanan yang terdapat pada manometer raksa 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. Mengulangi langkah 1 sampai dengan 5 dengan variasi bukaan *gate valve* yang tetap.
7. Pengolahan data untuk mendapatkan *head* rata – rata aliran fluida pada tiap bukaan *gate valve* untuk masing – masing pipa uji.



2.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.9 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data dan Perhitungan Koefisien Kerugian *Head* (ζ) Hasil Pengujian

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *manometer* dengan fluida air pada titik sebelum *gate valve* (H_1) dan titik setelah *gate valve* tanpa *vortab flow conditioner* (H_2).

Perhitungan data dilakukan untuk mencari kecepatan (v), beda tekanan (ΔP) dan koefisien kerugian *head* (ζ), dimana data yang diperoleh pada waktu penelitian adalah sebagai berikut:

- Diameter dalam pipa (D) = 50,8 mm
- Suhu air (T) = 23⁰C
- Percepatan gravitasi (g) = 9,81 m/s²

Dari temperatur air pada 23⁰C tersebut didapatkan nilai dari densitas dan viskositas kinematiknya sebagai berikut (berdasarkan tabel *properties* air dari White, 1994: lampiran):

- Densitas (ρ) = 997,4 kg/m³
- Viskositas kinematik (ν) = 0,941.10⁻⁶ m²/s

Contoh perhitungan data :

Pada bukaan *gate valve* 30% dengan pemasangan *vortab flow conditioner* pada jarak 3D

- Luas penampang pipa (A)

$$\begin{aligned} A &= \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \\ &= \frac{\pi}{4} \cdot (50,8)^2 \\ &= 2027,646 \text{ mm}^2 = 20,27646 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Kecepatan Aliran Fluida (v)

Contoh pada $Q = 1023,251 \text{ liter/jam} = 0,000284236 \text{ m}^3/\text{s}$

$$\begin{aligned} v &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{0,000284236 \text{ m}^3/\text{s}}{20,27646 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 0,140180203 \text{ m/s} \end{aligned}$$

- Bilangan *Reynolds* (Re)

Contoh pada $Q = 1023,251 \text{ liter/jam} = 0,000284236 \text{ m}^3/\text{s}$

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

$$Re = \frac{0,1401 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,0508 \text{m}}{0,941 \cdot 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}} = 7567,645$$

Angka ini menunjukkan bahwa aliran fluida pada pipa adalah turbulen.

- Data *static head* yang terlihat pada manometer dicatat pada tiap titiknya dan dihitung ΔH dengan ketentuan sebagai berikut:

ΔH = beda tekanan pada sistem tanpa *vortab flow conditioner* = $H_1 - H_2$

ΔH yang terjadi pada *gate valve* tanpa *vortab flow conditioner* dengan debit 1023,251 liter/jam:

$$H_1 = 267,3575 \text{ mmHg} = 3636,0621 \text{ mmH}_2\text{O} = 3,6360621 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$H_2 = 262,8153 \text{ mmHg} = 3574,2889 \text{ mmH}_2\text{O} = 3,5742889 \text{ mH}_2\text{O}$$

Sehingga nilai ΔH_1 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Delta H_1 &= 3,6360621 \text{ mH}_2\text{O} - 3,5742889 \text{ mH}_2\text{O} \\ &= 0,0617732 \text{ mH}_2\text{O} \end{aligned}$$

- Kerugian tekanan (ΔP)

$$\begin{aligned} \Delta H &= \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} \quad \rightarrow \quad \Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta H \\ &= 997,4 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,0617732 \text{ mH}_2\text{O} \\ &= 604,419 \text{ Pa} \end{aligned}$$

- Koefisien Kerugian *Head* (ζ)

$$\begin{aligned} \zeta &= \frac{h_l}{v^2/(2g)} = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2} \rho v^2} \\ &= \frac{604,419 \text{ Pa}}{\frac{1}{2} 997,4 \text{ kg/m}^3 \cdot (0,1401 \text{ m/s})^2} \\ &= 0,00637 \end{aligned}$$

4.2 Data Hasil Penelitian

Dari pengolahan data pada subbab 4.1 di atas dapat ditabelkan sebagai berikut:

1. Kecepatan (v)

Tabel 4.1 Besar Kecepatan Aliran Fluida (v) pada Instalasi Pipa

No.	Bukaan Gate valve (%)	Debit (m ³ /s)	v (m/s)	Bil. Reynolds (Re)
1	30	2,842E-4	0,140	7567,645
2	40	3,160E-4	0,155	8415,480
3	50	3,545E-4	0,174	9439,021
4	60	3,584E-4	0,176	9544,454
5	70	3,899E-4	0,192	10381,268
6	80	4,733E-4	0,233	12601,669
7	90	5,496E-4	0,271	14635,305



2. Penurunan Tekanan (ΔP)

Tabel 4.2 Penurunan Tekanan Pada *Gate valve* (ΔP)

No	Bukaan Gate Valve (%)	Penurunan Tekanan (Pa)				
		Jarak Peletakan <i>Vortab Flow Conditioner</i>				Tanpa <i>Vortab Flow Conditioner</i>
		2D	3D	4D	5D	
1	30%	544,505	604,420	797,480	588,789	712,985
		381,428	663,188	682,487	868,664	1043,357
		397,588	691,405	817,905	975,612	813,231
2	40%	580,595	843,027	989,666	806,416	934,946
		496,301	882,071	893,989	1070,546	1290,287
		443,514	935,774	1039,560	1202,152	1082,189
3	50%	800,242	1022,928	1123,145	1024,043	1274,321
		692,179	1081,385	1105,490	1301,781	1547,001
		752,341	1092,084	1261,220	1467,831	1351,146
4	60%	917,439	1202,828	1285,978	1241,670	1613,696
		876,075	1280,699	1307,210	1533,016	1852,637
		940,074	1297,315	1394,810	1762,862	1796,224
5	70%	1080,023	1343,591	1458,595	1586,495	2060,701
		984,713	1480,013	1430,650	1764,251	2207,196
		1031,283	1541,685	1567,550	2204,662	2143,457
6	80%	1263,696	1484,354	1631,212	1892,182	2507,706
		1190,307	1620,620	1554,090	2024,839	2561,754
		1223,251	1786,055	1804,370	2431,202	2490,690
7	90%	1367,274	1664,254	1838,753	2246,792	2846,042
		1332,949	1746,846	1688,080	2312,077	2742,524
		1298,193	1845,171	1866,240	2524,046	2816,847

3. Koefisien Kerugian *Head* (ζ)

Tabel 4.3 Koefisien Kerugian *Head* pada *Gate valve* (ζ)

No	Bukaan <i>Gate Valve</i> (%)	Debit (m ³ /s)	Bilangan <i>Reynolds</i>	Koefisien Kerugian <i>Head</i> (ζ)				
				Jarak Peletakan <i>Vortab Flow Conditioner</i>				Tanpa <i>Vortab Flow Conditioner</i>
				2D	3D	4D	5D	
1	30	2,842E-4	7567,645	0,021	0,023	0,031	0,023	0,028
				0,015	0,026	0,026	0,034	0,041
				0,016	0,027	0,032	0,038	0,032
2	40	3,160E-4	8415,480	0,028	0,041	0,048	0,039	0,045
				0,024	0,043	0,043	0,052	0,062
				0,021	0,045	0,051	0,058	0,052
3	50	3,545E-4	9439,021	0,049	0,063	0,068	0,062	0,078
				0,042	0,066	0,067	0,079	0,094
				0,046	0,067	0,077	0,089	0,082
4	60	3,584E-4	9544,454	0,057	0,075	0,081	0,077	0,101
				0,055	0,080	0,082	0,096	0,116
				0,059	0,081	0,087	0,110	0,112
5	70	3,899E-4	10381,268	0,080	0,099	0,108	0,117	0,152
				0,073	0,109	0,106	0,130	0,163
				0,076	0,114	0,116	0,163	0,158
6	80	4,733E-4	12601,669	0,138	0,162	0,178	0,206	0,274
				0,130	0,177	0,169	0,221	0,279
				0,133	0,195	0,197	0,265	0,272
7	90	5,496E-4	14635,305	0,201	0,245	0,270	0,331	0,419
				0,196	0,257	0,248	0,340	0,404
				0,191	0,271	0,275	0,372	0,415

4.3 Analisa Statistik

Dari data pengujian dapat dianalisa apakah faktor-faktor dalam pengujian ini seperti variasi jarak peletakan *vortab flow conditioner* dan bukaan *gate valve* memiliki pengaruh terhadap koefisien kerugian *head* atau tidak. Pada setiap pengambilan data koefisien kerugian *head*, kedua faktor di atas tercakup di dalamnya. Oleh karena itu, analisa statistik yang dilakukan adalah analisis varian dua arah (*two way ANOVA*).

4.3.1 Analisis Varian Dua Arah (*Two Way ANOVA*)

Untuk mengetahui berpengaruh atau tidaknya variasi jarak peletakan *vortab flow conditioner* dan bukaan *gate valve* memiliki pengaruh terhadap koefisien kerugian *head* perlu dilakukan analisis varian dua arah. Apabila nilai F_{hitung} lebih besar daripada F_{tabel} maka faktor yang diuji berpengaruh secara nyata. Namun, bila nilai F_{hitung} lebih kecil atau sama dengan F_{tabel} maka faktor yang diuji tidak berpengaruh secara nyata.

1. Formulasi Hipotesis :

$$1) H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_b = 0$$

(Tidak ada pengaruh jarak peletakan *vortab flow conditioner* terhadap koefisien kerugian *head*)

H_1 : sekurang-kurangnya satu ukuran jarak peletakan *vortab flow conditioner* berpengaruh terhadap koefisien kerugian *head*.

$$2) H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

(Tidak ada pengaruh bukaan *gate valve* terhadap koefisien kerugian *head*)

H_1 : sekurang-kurangnya satu ukuran bukaan *gate valve* berpengaruh terhadap koefisien kerugian *head*.

$$3) H_0 : (\alpha.\beta)_1 = (\alpha.\beta)_2 = \dots = (\alpha.\beta)_{ij} = 0$$

(Tidak ada pengaruh jarak peletakan *vortab flow conditioner* dan bukaan *gate valve* terhadap koefisien kerugian *head*)

H_1 : sekurang-kurangnya satu ukuran jarak peletakan *vortab flow conditioner* dan bukaan *gate valve* berpengaruh terhadap koefisien kerugian *head*.

2. Taraf Nyata dan Nilai F_{tabel}

$$\alpha = 0,05$$

$$\text{Untuk baris } F_{\text{tabel}} = 2,265$$

$$\text{Untuk kolom } F_{\text{tabel}} = 2,769$$

$$\text{Untuk interaksi } F_{\text{tabel}} = 1,791$$

3. Menentukan Kriteria Pengujian

a. Untuk Baris :

$$H_0 \text{ diterima jika } F_{\text{hitung}} \leq 2,265$$

$$H_0 \text{ ditolak jika } F_{\text{hitung}} > 2,265$$

b. Untuk Kolom :

$$H_0 \text{ diterima jika } F_{\text{hitung}} \leq 2,769$$

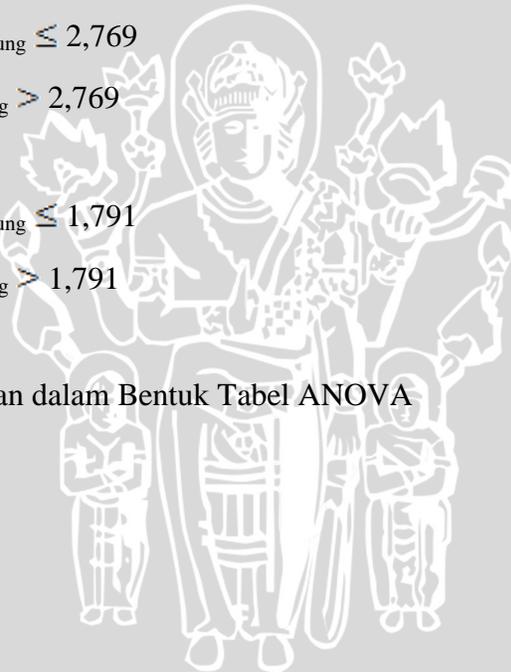
$$H_0 \text{ ditolak jika } F_{\text{hitung}} > 2,769$$

c. Untuk Interaksi :

$$H_0 \text{ diterima jika } F_{\text{hitung}} \leq 1,791$$

$$H_0 \text{ ditolak jika } F_{\text{hitung}} > 1,791$$

4. Membuat Analisis Varian dalam Bentuk Tabel ANOVA



Contoh Perhitungan Analisis Varian Dua Arah (*Two Way ANOVA*) Pada Jarak Peletakan *Vortab Flow Conditioner* 2D

Tabel 4.4 Perhitungan *Two Way ANOVA*

Bukaan Gate Valve (%)	Koefisien Kerugian Head				Total
	2D	3D	4D	5D	
30	0,021	0,023	0,031	0,023	
30	0,015	0,026	0,026	0,034	
30	0,016	0,027	0,032	0,038	
Jumlah	0,052	0,077	0,090	0,095	0,315
40	0,028	0,041	0,048	0,039	
40	0,024	0,043	0,043	0,052	
40	0,021	0,045	0,051	0,058	
Jumlah	0,074	0,129	0,142	0,150	0,496
50	0,049	0,063	0,068	0,062	
50	0,042	0,066	0,067	0,079	
50	0,046	0,067	0,077	0,089	
Jumlah	0,137	0,195	0,213	0,232	0,780
60	0,057	0,075	0,081	0,077	
60	0,055	0,080	0,082	0,096	
60	0,059	0,081	0,087	0,110	
Jumlah	0,171	0,236	0,249	0,284	0,942
70	0,080	0,099	0,108	0,117	
70	0,073	0,109	0,106	0,130	
70	0,076	0,114	0,116	0,163	
Jumlah	0,229	0,323	0,330	0,411	1,295
80	0,138	0,162	0,178	0,206	
80	0,130	0,177	0,169	0,221	
80	0,133	0,195	0,197	0,265	
Jumlah	0,401	0,534	0,545	0,693	2,174
90	0,201	0,245	0,270	0,331	
90	0,196	0,257	0,248	0,340	
90	0,191	0,271	0,275	0,372	
Jumlah	0,589	0,774	0,794	1,043	3,202
Jumlah Total	1,655	2,272	2,367	2,912	9,207

$$FK = \frac{9,207^2}{7 \cdot 4 \cdot 3} = 1,009$$

$$\begin{aligned} JKT &= (0,021^2 + 0,015^2 + \dots + 0,372^2) - FK \\ &= 1,602 - 1,009 \\ &= 0,593 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} JKA &= \frac{(0,315^2 + 0,496^2 + \dots + 3,202^2)}{4 \cdot 3} - FK \\ &= 1,541 - 1,009 = 0,532 \end{aligned}$$

Dimana A = Baris, yaitu faktor bukaan *Gate Valve*.

$$\begin{aligned} JKB &= \frac{(1,655^2 + \dots + 2,912^2)}{7 \cdot 3} - FK \\ &= 1,046 - 1,009 = 0,037 \end{aligned}$$

Dimana B = Kolom, yaitu faktor Koefisien Kerugian *Head*

$$\begin{aligned} JK_{\text{Perlakuan}} &= \frac{(0,052^2 + 0,074^2 + \dots + 1,043^2)}{3} - \frac{(0,315^2 + 0,496^2 + \dots + 3,202^2)}{4 \cdot 3} \\ &- \frac{(1,655^2 + \dots + 2,912^2)}{7 \cdot 3} + FK \\ &= 1,601 - 1,541 - 1,046 + 1,009 \\ &= 0,023 \end{aligned}$$

Dimana perlakuan = kombinasi antara kondisi ke-I faktor bukaan *gate valve* dan kondisi ke-j faktor koefisien kerugian *head*

$$JKI = JK_{\text{perlakuan}} = 0,023$$

Dimana I = interaksi antara faktor bukaan *gate valve* dan faktor koefisien kerugian *head*

$$\begin{aligned} JKG &= 0,593 - 0,532 - 0,037 - 0,023 \\ &= 0,001 \end{aligned}$$

Dimana G = galat

Kemudian, masing-masing suku dibagi dengan derajat bebasnya sehingga diperoleh nilai varian dari masing-masing suku tersebut. Nilai ini sering disebut dengan kuadrat tengah yang disingkat KT. Nilai varian tersebut yaitu :

$$KTA = \frac{JKA}{(r-1)} = \frac{0,532}{7-1} = 0,088$$

$$KTB = \frac{JKB}{(C-1)} = \frac{0,037}{(4-1)} = 0,012$$

$$KTI = \frac{JKI}{(r-1)(c-1)} = \frac{0,023}{(7-1)(4-1)} = 0,0012$$

$$KTG = \frac{JKG}{r \cdot c(t-1)} = \frac{0,001}{7 \cdot 4(3-1)} = 1,7857E-5$$

Untuk menguji ketiga hipotesis di atas kita mencari harga Fhitung masing-masing sumber keragaman, kemudian hasilnya dibandingkan dengan Ftabel pada derajat bebas sesuai dengan nilai α sebesar 5 %. Nilai Fhitung dari masing-masing sumber keragaman adalah sebagai berikut :

$$F_1 = \frac{KTA}{KTG} = \frac{0,088}{1,7857E-5} = 4,928E+7$$

Dimana F_1 = Fhitung dari bukaan *gate valve*

$$F_2 = \frac{KTB}{KTG} = \frac{0,012}{1,7857E-5} = 6,72E+8$$

Dimana F_2 = Fhitung dari koefisien kerugian *head*

$$F_3 = \frac{KTI}{KTG} = \frac{0,0012}{1,7857E-5} = 6,72E+9$$

Dimana F_3 = Fhitung dari interaksi bukaan *gate valve* dengan koefisien kerugian *head*.

Tabel 4.5 ANOVA

Sumber Varian	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	F Hitung	F Tabel
Bukaan Gate Valve	0,533026271	6	0,088837712	4,928E+7	2,265567
Jarak Peletakan Vortab Flow Conditioner	0,037863173	3	0,012621058	6,72E+8	2,769431
Interaksi	0,022268879	18	0,00123716	6,72E+9	1,791158
Galat	0,001	56	1,7857E-5		
Total	0,593158323	83			

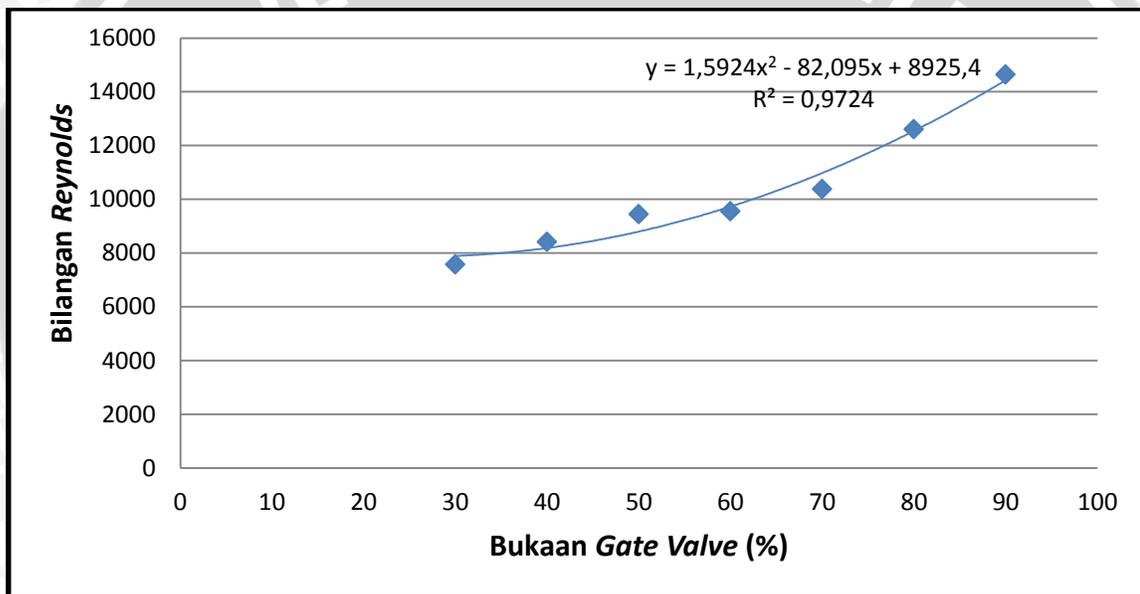
5. Kesimpulan

- 1) Untuk baris : karena $F_{hitung} > F$ yaitu $4,928E+7 > 2,265$, maka H_0 ditolak jadi sekurang-kurangnya satu ukuran bukaan *gate valve* berpengaruh terhadap koefisien kerugian *head*.

- 2) Untuk kolom : karena $F_{hitung} > F$ yaitu $6,72E+8 > 2,769$, maka H_0 ditolak jadi sekurang-kurangnya satu ukuran jarak peletakan *vortab flow conditioner* berpengaruh terhadap koefisien kerugian *head*.
- 3) Untuk interaksi : karena $F_{hitung} > F$ yaitu $6,72E+9 > 1,791$, maka H_0 ditolak jadi ada interaksi antara bukaan *gate valve* dan jarak peletakan *vortab flow conditioner*.

4.4 Pembahasan

4.4.1 Analisa Grafik Hubungan Antara Bukaan *Gate Valve* Terhadap Bilangan *Reynolds*

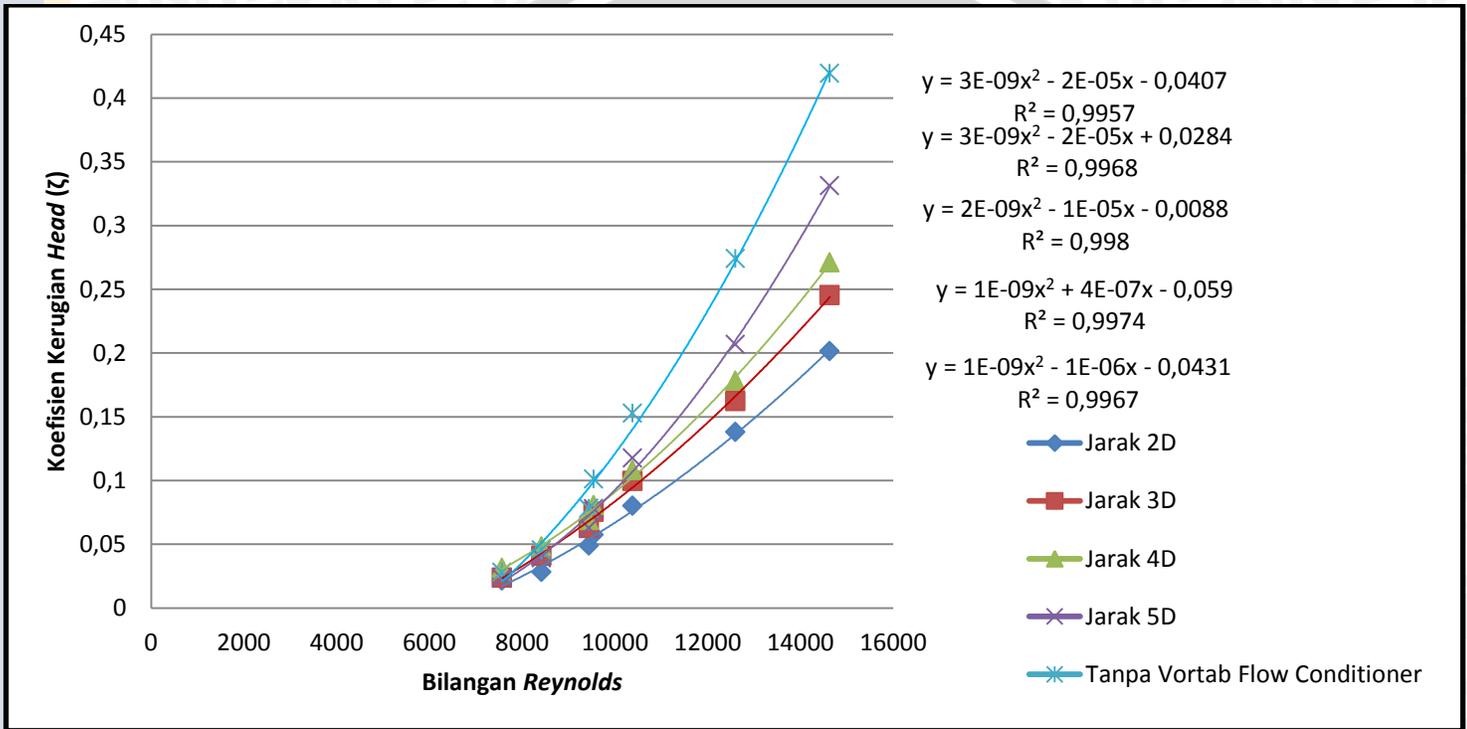


Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara Bukaan *Gate Valve* Terhadap Bilangan *Reynolds*

Hubungan antara bukaan *gate valve* terhadap bilangan *reynolds* tersaji pada gambar 4.1. Pada Gambar 4.1 terlihat bahwa semakin besar bukaan *gate valve*, maka semakin besar pula bilangan *reynolds*. Hal ini dikarenakan semakin besar bukaan *gate valve*, debit aliran yang terjadi akan semakin besar. Meningkatnya debit aliran yang terjadi berbanding lurus dengan kecepatan aliran. Semakin besar kecepatan aliran, maka bilangan *reynolds* yang terjadi juga semakin besar. Semakin meningkat bilangan *reynolds* maka turbulensi yang terjadi juga semakin besar. Turbulensi tersebut mempunyai partikel-partikel yang bergerak acak dan tidak stabil sehingga sangat potensial untuk membentuk *swirl* atau *vortex*.

Semakin besar kecepatan aliran fluida maka *swirl* atau *vortex* yang terjadi menyebabkan aliran fluida kehilangan energi lebih banyak sehingga *pressure drop* yang terjadi semakin besar.

4.4.2 Analisa Grafik Hubungan Antara Bilangan *Reynolds* dan Jarak Peletakan *Vortab Flow Conditioner* Terhadap Koefisien Kerugian *Head* (ζ) Aliran Fluida

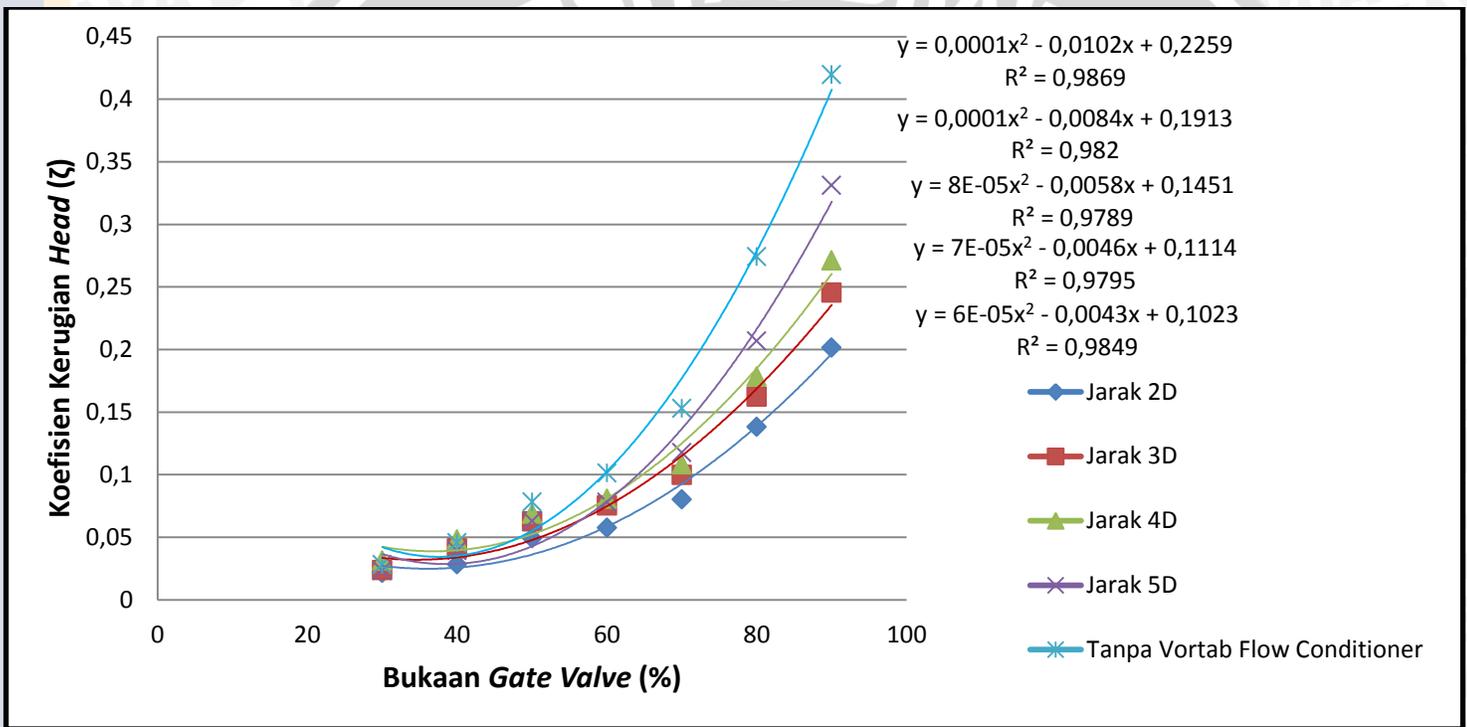


Gambar 4.2 Grafik Hubungan Antara Bilangan *Reynolds* dan Jarak Peletakan *Vortab Flow Conditioner* Terhadap Koefisien Kerugian *Head* (ζ) Aliran Fluida

Hubungan Antara Bilangan *Reynolds* dan Jarak Peletakan *Vortab Flow Conditioner* Terhadap Koefisien Kerugian *Head* (ζ) Aliran Fluida tersaji pada gambar 4.2. Pada gambar 4.2 menunjukkan semakin besar bilangan *reynolds*, maka semakin besar pula koefisien kerugian *head* (ζ) yang terjadi pada semua variasi, baik tanpa penggunaan *vortab flow conditioner* maupun dengan penggunaan *vortab flow conditioner*. Hal ini disebabkan oleh penambahan debit yang terukur pada *flowmeter* atau debit aktual dalam penelitian, sehingga semakin bertambahnya debit yang terukur pada *flowmeter* maka kecepatan aliran fluida semakin bertambah. Semakin besar kecepatan aliran, fluida menjadi semakin

turbulen yang dapat ditunjukkan dengan meningkatnya bilangan *reynolds*. Turbulensi tersebut mempunyai partikel-partikel yang bergerak acak dan tidak stabil sehingga sangat potensial untuk membentuk *swirl* atau *vortex*. Semakin besar kecepatan aliran fluida maka *swirl* atau *vortex* yang terjadi menyebabkan aliran fluida kehilangan energi lebih banyak sehingga *pressure drop* yang terjadi semakin besar. Semakin besar *pressure drop* yang terjadi, maka koefisien kerugian *head* (ζ) yang terjadi juga semakin besar.

4.4.3 Analisa Grafik Hubungan Antara Bukaannya *Gate Valve* dan Jarak Peletakan *Vortab Flow Conditioner* Terhadap Koefisien Kerugian *Head* (ζ) Aliran Fluida



Gambar 4.3 Grafik Hubungan antara Bukaannya *Gate Valve* dan Jarak Peletakan *Vortab flow conditioner* Terhadap Koefisien Kerugian *Head* (ζ) Aliran Fluida

Hubungan antara bukaan *gate valve* dan jarak peletakan *vortab flow conditioner* terhadap koefisien kerugian *head* (ζ) aliran fluida yang mengalir melewati *gate valve* tanpa pemasangan *vortab flow conditioner*, serta *gate valve* dengan pemasangan *vortab flow conditioner* dengan jarak 2D; 3D; 4D; dan 5D tersaji pada gambar 4.3. Pada gambar 4.3 menunjukkan adanya kecenderungan bahwa semakin besar bukaan *gate valve*, maka semakin besar pula koefisien kerugian *head* yang terjadi pada fluida yang mengalir untuk

semua variasi, baik tanpa penambahan *vortab flow conditioner* maupun dengan penambahan *vortab flow conditioner*. Hal ini dikarenakan ketika bukaan *gate valve* sempit, debit yang dihasilkan juga sedikit sehingga kecepatan alir fluida semakin rendah sedangkan penurunan tekanan yang terjadi kecil sehingga koefisien kerugian *head* pada sistem kecil. Sebaliknya ketika bukaan *gate valve* semakin lebar maka debit yang dialirkan melewati *gate valve* semakin besar sehingga kecepatan alir fluida semakin tinggi dan penurunan tekanan yang terjadi juga besar yang menyebabkan nilai koefisien kerugian *head* yang dihasilkan semakin besar.

Untuk *gate valve* dengan pemasangan *vortab flow conditioner*, ΔH minimum diperoleh dengan pemasangan *vortab flow conditioner* dengan jarak 2D dengan nilai koefisien kerugian *head* mulai bukaan 30-90% sebesar 0,01738; 0,02470; 0,04587; 0,05711; 0,07652; 0,13393; dan 0,19642 yang menunjukkan bahwa *vortab flow conditioner* dengan jarak 2D memiliki kemampuan lebih dalam mengurangi daerah separasi dan *vortex* dibandingkan pemasangan *vortab flow conditioner* dengan variasi yang lain. Hal ini dikarenakan semakin dekat pemasangan *vortab flow conditioner* terhadap sisi keluaran *gate valve*, aliran fluida akan dikondisikan lebih seragam.

Pada bukaan *gate valve* 30%, nilai bilangan *Reynolds* aliran fluida sebesar 7567,645398 yang mempunyai jenis aliran turbulen. Hal ini menunjukkan bahwa potensi untuk membentuk *swirl* atau *vortex* sangat besar. Fenomena pembentukan *swirl* atau *vortex* oleh jenis aliran turbulen disebabkan karena penurunan tekanan (*pressure drop*) terjadi ketika selisih antara tekanan di sisi masuk (H_1) dengan tekanan di sisi keluar (H_2) semakin besar seiring dengan penambahan kecepatan. Hal ini bisa terjadi akibat penurunan nilai *static head* fluida setelah melewati *gate valve* yang disebabkan oleh penurunan *head* total yang terjadi akibat *vortex* yang terbentuk pada saat fluida mengalir melewati *gate valve*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Pada jarak peletakan *vortab flow conditioner* yang tetap, semakin besar debit aliran fluida, maka semakin besar koefisien kerugian *head* yang terjadi (ζ), hal tersebut dikarenakan 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 kerugian *head* yang terjadi semakin besar akibatnya akan menyebabkan debit yang terukur pada *flowmeter* semakin kecil.
2. Pada bukaan *gate valve* yang sama, semakin dekat jarak peletakan *vortab flow conditioner* terhadap sisi keluaran *gate valve* menyebabkan nilai koefisien kerugian *head* (ζ) semakin kecil. Koefisien kerugian *head* rata – rata yang paling kecil yaitu pada jarak *vortab flow conditioner* terhadap *gate valve* sejauh 2D mulai bukaan 30-90% sebesar 0,02470; 0,04587; 0,05711; 0,07652; 0,13393; dan 0,19642. 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* semakin berkurang.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti menyarankan untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan:

1. Fluida yang digunakan adalah fluida *incompressible* dan perlu adanya pengamatan tentang *vortex*.
2. Perlu adanya pengamatan tentang turbulensi aliran fluida sebelum dan setelah melewati *vortab flow conditioner*.