

## 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 merupakan salah satu dari ilmu pengetahuan yang sangat penting untuk dikaji karena penerapannya yang sangat luas dan bermanfaat bagi kehidupan manusia. Setiap hari di kehidupan kita selalu berhubungan dengan fluida. Fenomena alam yang ada di bumi ini sebagian besar berkaitan dengan fluida dan semua fluida mempunyai karakteristiknya masing – masing dalam kegunaannya dalam dunia rekayasa.

Penerapan ilmu mekanika fluida banyak ditemukan di berbagai bidang kehidupan misalnya saja di bidang transportasi, industri dan bidang keteknikan rekayasa lainnya. Tetapi dalam penggunaannya selalu terjadi kerugian energi. Salah satu contoh kerugian yang dialami fluida terutama pada saat fluida itu mengalir adalah pada suatu sistem perpipaan atau instalasi perpipaan yang digunakan sebagai wadah untuk mengalirkan fluida dari tempat satu ke tempat yang lainnya. Dengan mengetahui kerugian energi pada suatu sistem yang memanfaatkan fluida mengalir sebagai media, akan menentukan tingkat efisiensi penggunaan energi.

Banyak sekali bentuk kerugian energi yang dapat kita jumpai pada aliran di dalam pipa. Kerugian-kerugian tersebut diakibatkan oleh adanya gesekan dengan dinding, perubahan luas penampang, sambungan, katup-katup, belokan pipa dan kerugian-kerugian khusus lainnya. Pada belokan pipa kerugian energi aliran yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan pipa lurus. Dengan mengetahui kerugian energi dalam suatu sistem atau instalasi perpipaan yang memanfaatkan fluida mengalir sebagai media, efisiensi penggunaan energi dapat ditingkatkan sehingga diperoleh keuntungan yang maksimal. Salah satu bagian dari instalasi perpipaan yang dapat menyebabkan kerugian - kerugian adalah belokan pipa dengan sudut-sudut dan panjang radius tertentu.

Pada belokan pipa kerugian *head* yang ditandai dengan terjadinya penurunan tekanan (*pressure drop*) lebih besar daripada pipa lurus untuk panjang yang sama (Wiggert dan Potter, 1997). Hal ini disebabkan aliran fluida pada belokan pipa mengalami gaya sentrifugal yang menyebabkannya timbulnya *vortex* yang dapat memperbesar penurunan tekanan. Maka makin besar atau banyak *vortex* yang ditimbulkan, semakin besar penurunan tekanan yang terjadi pada belokan sehingga semakin besar pula kerugian *head* aliran fluida pada belokan pipa.

Sehingga semakin besar atau meningkatnya *pressure drop* yang diakibatkan oleh *vortex* tersebut dapat menyebabkan energi yang hilang pada fluida saat melewati belokan semakin meningkat.

Salah satu cara untuk mengurangi *vortex* akibat adanya katup, belokan atau akibat sambungan pipa, khususnya dalam penelitian ini pada belokan pipa adalah dengan pemasangan suatu *flow conditioner* (alat pengkondisi aliran), banyak sekali jenis *flow conditioner* yang digunakan untuk mengurangi kerugian *head* aliran fluida pada berbagai macam jenis bentuk sambungan pipa, katup, dan belokan pipa, disini peneliti menggunakan jenis *flow conditioner* berupa *tab type flow conditioner*, dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar *tab type flow conditioner* bisa menurunkan kerugian *head* aliran fluida dibandingkan *flow conditioner* yang lainnya. Oleh karena itu perlu diadakan sebuah penelitian lebih lanjut untuk mengurangi kerugian *head* akibat terjadinya *vortex* tersebut, yaitu dengan pemasangan suatu alat pengkondisi aliran jenis *Tab type flow conditioner*.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dirumuskan sebuah permasalahan, yaitu bagaimana pengaruh variasi debit aliran dan jarak peletakan *tab type flow conditioner* terhadap kerugian *head* aliran fluida *incompressible* pada  $90^\circ$  long radius elbow (Belokan pipa  $90^\circ$ ).

### 1.3 Batasan Masalah

Karena banyaknya kemungkinan variabel yang dapat mempengaruhi dalam analisa ini, maka penelitian ini dibatasi agar dapat memperoleh hasil penelitian yang lebih terarah dan terfokus pada suatu keadaan tertentu. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini meliputi:

1. Fluida *incompressible* yang digunakan adalah air.
2. Viskositas fluida dianggap konstan.
3. Kerugian *head* yang diteliti hanya pada  $90^\circ$  long radius elbow (belokan pipa  $90^\circ$ ) dengan menggunakan PVC berdiameter 2 inci.
4. *Tab type flow conditioner* yang digunakan adalah terbuat dari pipa PVC dan pelat akrilik dan tebal 2 mm.
5. Temperatur konstan selama pengujian.
6. Dimensi material yang lainnya dianggap konstan.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi debit aliran dan jarak peletakan *tab type flow conditioner* terhadap kerugian *head* aliran fluida *incompressible* pada  $90^\circ$  long radius elbow (Belokan pipa  $90^\circ$ ).

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

##### 1. Bagi penulis

Sebagai syarat untuk menyelesaikan studi dan mendapat gelar ST. (Sarjana Teknik) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

##### 2. Bagi akademik

Dapat dijadikan bahan referensi bagi generasi-generasi teknik mesin yang akan datang dalam pembuatan dan penyusunan tugas akhir pada khususnya dalam penelitian-penelitian selanjutnya tentang *flow conditioner*.

##### 3. Bagi Industri

- Sebagai dasar dalam mendesain dan pemilihan alat pengkondisian aliran jenis *tab type flow conditioner* untuk mengurangi kerugian *head* pada instalasi pipa.
- Sebagai bahan pertimbangan bagi industri untuk mengurangi kerugian *head* (berupa *pressure drop*) pada instalasi perpipaan.
- Memberikan masukan bagi dunia industri yang mempergunakan instalasi perpipaan dalam usaha mengurangi kerugian energi berupa penurunan tekanan pada belokan pipa.

##### 4. Bagi masyarakat

Penelitian ini selanjutnya juga akan memberikan manfaat bagi kami ketika sudah terjun kedalam masyarakat untuk bisa mengaplikasikan apa yang selama ini telah kami pelajari dan dapatkan.

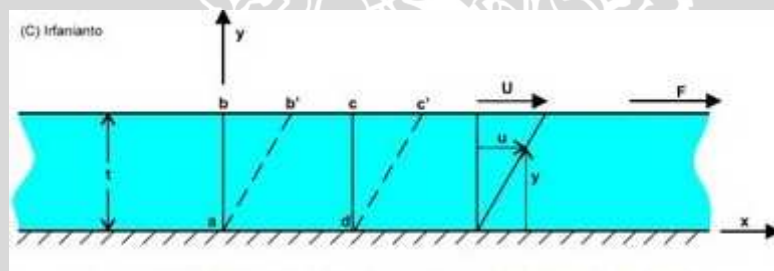
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Fluida

##### 2.1.1 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:

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

Keterangan:

$\mu$  = 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  $du/dy$  menyatakan perubahan dibagi dengan jarak sepanjang perubahan yang terjadi. Jika tegangan geser  $\tau = F/A$ , maka diperoleh Persamaan 2-2 sebagai berikut:

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

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

### 2.1.2 Viskositas

Viskositas merupakan sifat fluida yang mendasari diberikannya tahanan terhadap tegangan geser oleh fluida tersebut (Streeter, 1986: 8). Hukum viskositas newton menyatakan bahwa untuk laju perubahan bentuk sudut fluida yang tertentu maka tegangan geser berbanding lurus dengan viskositas. Contoh cairan yang sangat kental adalah larutan gula sedangkan air dan udara mempunyai viskositas yang sangat kecil/tidak kental. Viskositas gas meningkat dengan suhu, tetapi viskositas cairan berkurang dengan naiknya suhu. Tahanan suatu fluida terhadap tegangan geser tergantung pada kohesinya dan pada laju perpindahan momentum molekularnya. Cairan, dengan molekul-molekul yang jauh lebih rapat daripada gas, mempunyai gaya-gaya kohesi yang jauh lebih besar daripada gas. Kohesi, merupakan

penyebab utama viskositas dalam cairan dan karena kohesi berkurang dengan naiknya suhu maka demikian juga dengan viskositas. Viskositas dibedakan menjadi 2 macam yaitu:

#### a. Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik adalah perbandingan antara viskositas dinamik dengan densitas suatu fluida dan banyak dipengaruhi oleh temperatur tanpa memperhitungkan tekanan yang bekerja serta biasanya digunakan dalam beberapa penerapan seperti untuk menentukan bilangan Reynolds pada aliran fluida dalam pipa.

Secara matematis dapat dinyatakan sebagai Persamaan 2-3 sebagai berikut:

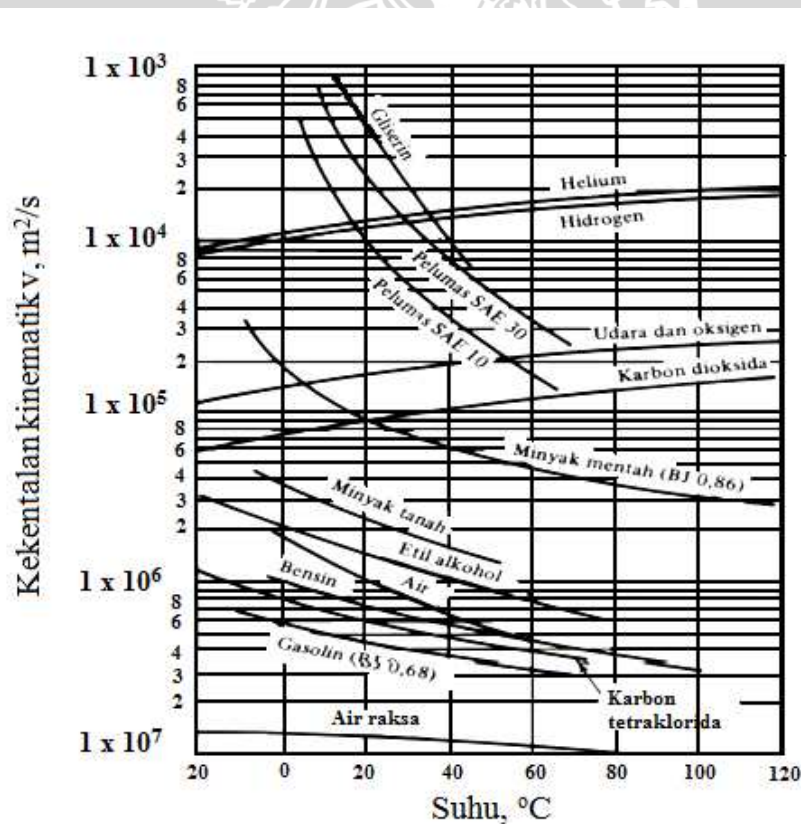
$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{White, 1994: 23}) \quad (2-3)$$

Keterangan:

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

$\mu$  = viskositas dinamik [ $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ ]

$\rho$  = densitas / massa jenis [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]



Gambar 2.2 Viskositas kinematik berbagai fluida pada 1 atm.  
Sumber: White (1994: 388).

Pada Gambar 2.2 terlihat viskositas kinematik dari berbagai fluida pada 1 atm. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa untuk fluida cair viskositas kinematik ( $\nu$ ) akan menurun seiring meningkatnya temperatur sedangkan untuk fluida gas sebaliknya, yaitu dengan meningkatnya temperatur maka viskositasnya juga meningkat. Menurut (Streeter, 1996: 8) perbedaan dalam kecenderungan terhadap temperatur 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. Kohesi merupakan salah satu penyebab utama viskositas cairan 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. Viskositas akan bertambah jika pertukaran kalor yang acak antar molekul-molekulnya, sehingga meningkatnya temperatur mengakibatkan viskositasnya juga akan meningkat (Nekrasov, 1960).

### b. Viskositas Dinamik

Viskositas dinamik adalah viskositas yang menunjukkan ketahanan suatu fluida terhadap tegangan geser/gaya yang bekerja padanya. Secara matematis dapat dituliskan Persamaan 2-4 sebagai berikut :

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

Keterangan:

F = gaya geser pada fluida [N]

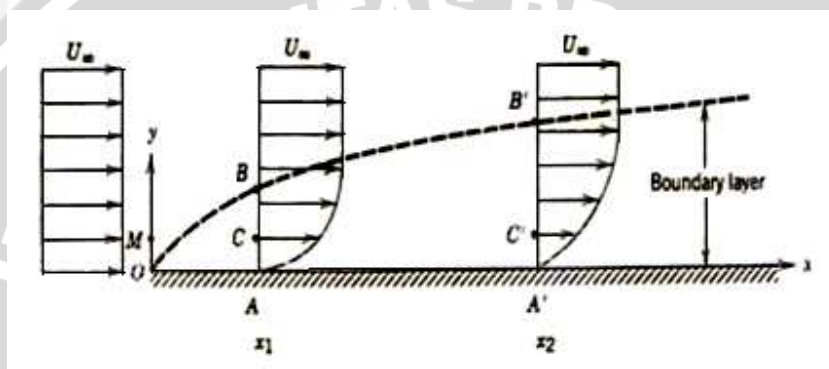
$\mu$  = viskositas Absolut [N.s/ m<sup>2</sup>]

U/t = kecepatan sudut garis *ab* atau laju perubahan bentuk sudut fluida dan dapat ditulis  $du/dy$  [m<sup>2</sup>/s]

### 2.1.3 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 struktur *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.

## 2.1 Klasifikasi Fluida

### 2.2.1 Fluida Mampu Mampat dan Fluida Tak Mampu Mampat

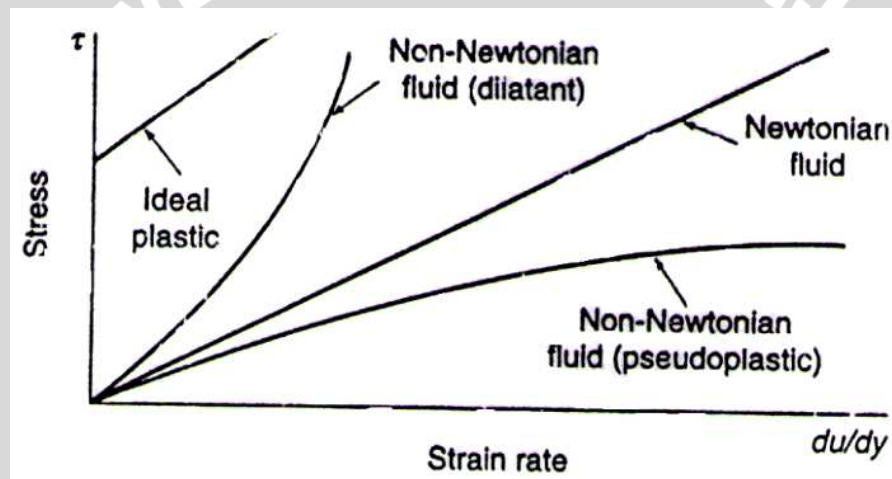
Menurut Daugherty, (1986: 4) fluida dibagi menjadi dua yaitu fluida mampu mampat (*compressible*) dan fluida tak mampu mampat (*incompressible*). Fluida tak mampu mampat (*incompressible*) adalah fluida yang mempunyai massa jenis ( $\rho$ ) konstan, tidak terpengaruh oleh perubahan tekanan ( $dp/dp = 0$ ). Sedangkan untuk fluida mampu mampat (*compressible*) massa jenisnya ( $\rho$ ) berubah-ubah terhadap tekanan ( $dp/dp > 0$ ). Contoh fluida tak mampu mampat adalah fluida cair dan fluida gas yang memiliki Bilangan *Mach* ( $M$ ) ( $M < 0,3$



sedangkan untuk fluida gas yang memiliki Bilangan *Mach* ( $M$ )  $> 0,3$  dianggap fluida mampu mampat dan sifat-sifat kompresibelitasnya harus diperhitungkan.

### 2.2.2 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*.

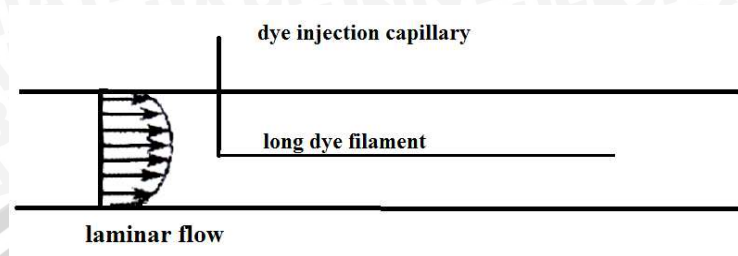
Sumber: Potter (1997: 15).

### 2.3 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.

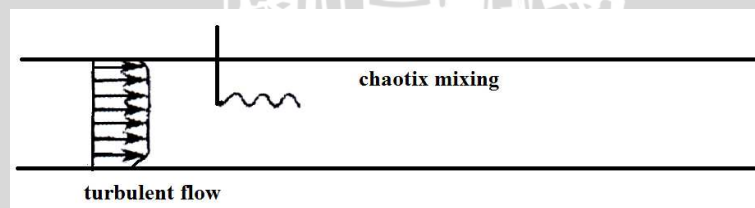
Fluida memiliki aliran laminer ketika fluida bergerak dengan kecepatan rendah dan memiliki viskositas yang tinggi. Aliran laminer memiliki angka *Reynolds* lebih kecil dari 10000. Pada aliran laminer kecenderungan untuk turbulensi diredam oleh gaya viskos yang

memberikan tahanan terhadap gerakan relatif lapisan fluida yang berdekatan. Hal tersebut ditunjukkan oleh percobaan Osborne Reynold (1884). Pada laju aliran rendah, aliran laminar tergambar sebagai filamen panjang yang mengalir sepanjang aliran sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Aliran Laminar.  
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 Reynold 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

## 2.4 Bilangan Reynolds

Tahun 1884 Osborne Reynolds melakukan percobaan untuk menunjukkan sifat aliran laminar 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 laminar, 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 laminar 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 laminar 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 laminar atau turbulen ditentukan oleh besarnya bilangan *reynolds* yang dapat dituliskan dalam Persamaan 2-5:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (\text{Potter, 1997: 260}) \quad (2-5)$$

Keterangan:

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

$D$  = diameter pipa [m]

$\nu$  = viskositas kinematik [m<sup>2</sup>/s]

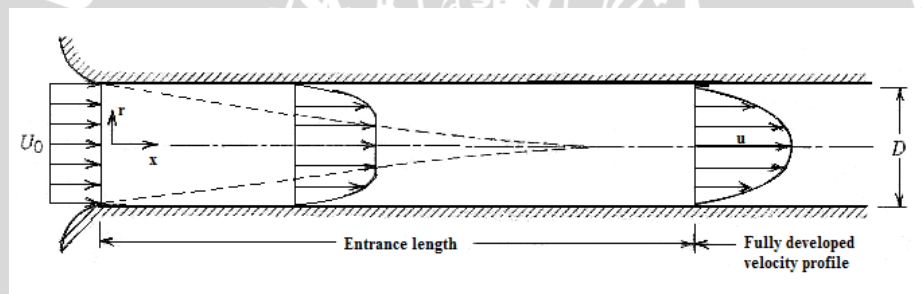
$\mu$  = viskositas absolut/dinamik [N.s/ m<sup>2</sup>]

$\rho$  = densitas [kg/m<sup>3</sup>]

### 2.5 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*. Bentuk aktual dari profil kecepatan aliran yang telah berlangsung mantap (*fully developed*) tergantung dari apakah aliran tersebut laminar atau turbulen. Proses terbentuknya aliran berkembang penuh dapat dilihat pada Gambar 2.7 di bawah ini.



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

Jarak dari awal masuk pipa sampai aliran berkembang penuh (*fully developed*) terjadi disebut *entrance length*. *Entrance length* merupakan suatu fungsi dari bilangan Reynolds. Rumus *Entrance length* ditulis dalam persamaan 2-6:

$$\frac{L}{D} = 0,06 \frac{\rho v D}{\mu} \quad (\text{Fox, 1994: 305}) \quad (2-6)$$

Keterangan:

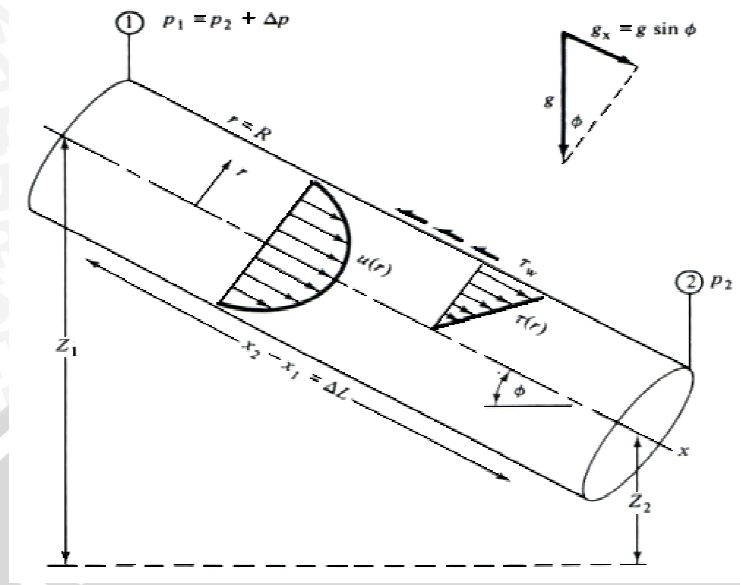
$L$  = *entrance length* [m]

$D$  = diameter pipa [m]

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

$v$  = kecepatan rata-rata [m/s]

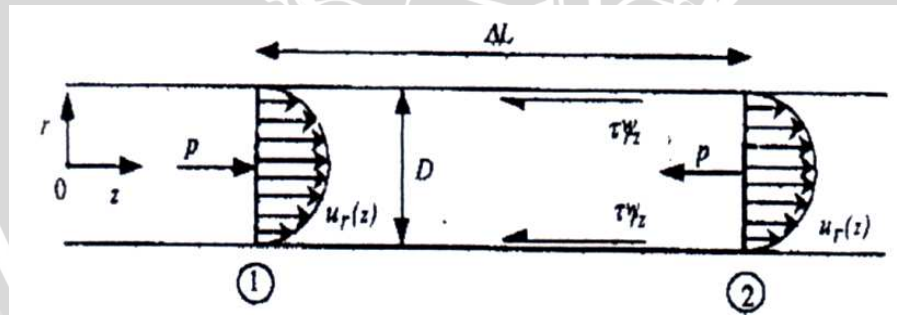
$\mu$  = viskositas absolut [ $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ ]



Gambar 2.8 Aliran yang telah berkembang penuh antara 2 penampang dalam pipa miring.  
 Sumber: White (1994: 305).

## 2.6 Aliran Fluida Dalam Pipa

### 2.6.1 Analisis aliran dalam pipa dengan penampang bundar (Hukum Kontinuitas)



Gambar 2.9 Aliran *steady* dalam pipa.  
 Sumber: Papanastasiou (1993: 140).

Gambar 2.8 di atas 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 2-7:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \text{konstan} \quad (\text{White, 1994: 350}) \quad (2-7)$$

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

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 2-8:

$$Q_1 = A_1 \cdot v_1 = Q_2 = A_2 \cdot v_2 \quad (\text{White, 1994: 305}) \quad (2-8)$$

Keterangan:

Q = debit aliran fluida [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

A = luas penampang pipa [ $\text{m}^2$ ]

v = kecepatan aliran fluida dalam pipa [ $\text{m/s}$ ]

### 2.6.2 Persamaan Bernoulli

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.

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \text{kerugian}_{1-2} \quad (\text{Streeter, 1985: 110}) \quad (2-9)$$

$\alpha$  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 kerugian<sub>1-2</sub> disimbolkan  $\Sigma h$  (*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* ( $\Sigma h$ ) karena pada fluida real terjadi kerugian energi dan juga  $\alpha$  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.

Akibat dari gerakan fluida maka dapat menimbulkan atau menghasilkan energi, terutama energi mekanik yaitu sebagai akibat dari kecepatan fluida (energi kinetis) dan dari tekanannya (energi potensial) serta elevasi (energi potensial dari elevasi). Dalam mekanika fluida terutama bila memperhatikan sifat-sifat fluida dengan mengabaikan compressibility, maka akan didapatkan energi spesifik atau energi per satuan berat fluida.

Dalam mendapatkan persamaan Bernoulli terdapat asumsi-asumsi yang harus diperhatikan yaitu aliran fluida *steady*, tanpa gesekan antara fluida dengan permukaan saluran atau pipa, tak mampu mampat (*incompressible*), dan massa jenis fluida ( $\rho$ ) konstan.

## 2.7 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*.

### 2.7.1 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 2-10:

$$h_f = \lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Nekrasov, 1990: 60}) \quad (2-10)$$

Keterangan:

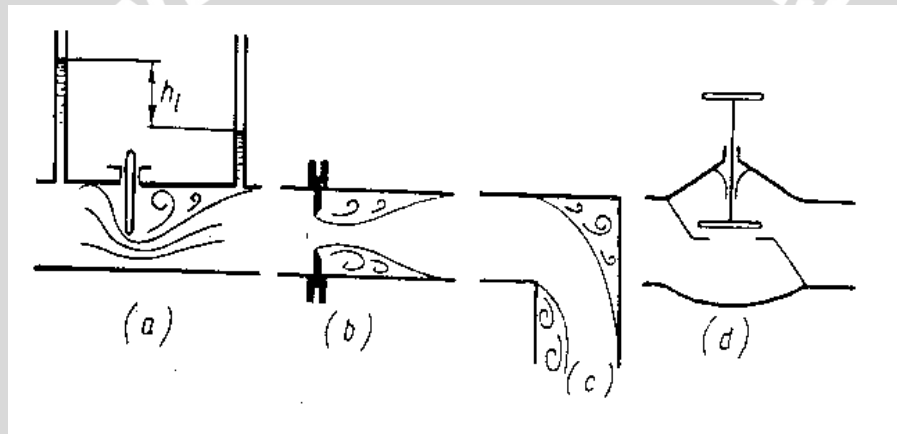
$h_f$  = *major losses* [m]

$\lambda$  = faktor gesek

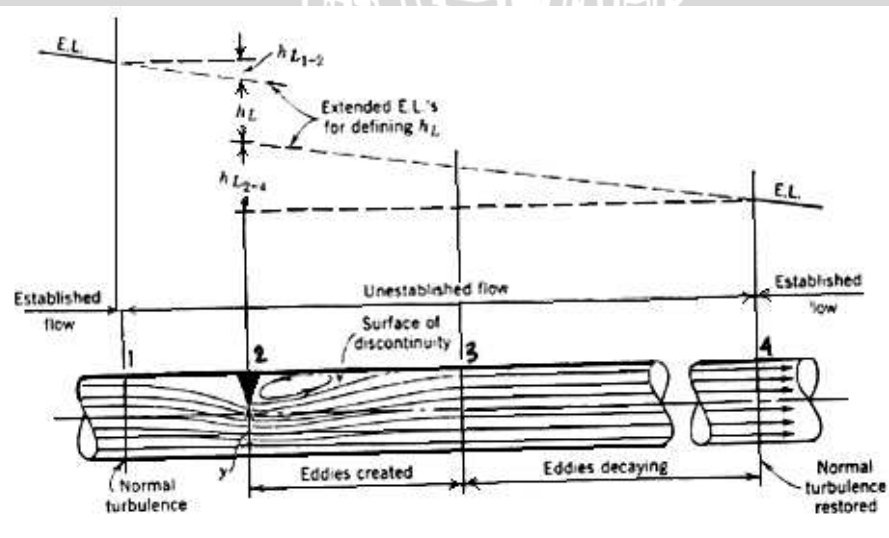
- $l$  = panjang pipa [m]
- $D$  = diameter pipa [m]
- $v$  = kecepatan fluida [m/s]
- $g$  = percepatan gravitasi [ $m/s^2$ ]

### 2.7.2 Minor Losses

*Minor losses* adalah energi yang hilang dari fluida disebabkan oleh perubahan bentuk lokal dari saluran, seperti: perubahan luas penampang, 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 dan 2.11.



Gambar 2.10 Bentuk-bentuk lokal saluran.  
Sumber: Nekrasov (1990: 61).



Gambar 2.11 *Mayor losses* dalam saluran pipa.  
Sumber: Vennard (1991: 309).



*Minor losses* dapat dirumuskan pada Persamaan 2-11:

$$h_l = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Nekrasov, 1990: 61}) \quad (2-11)$$

Keterangan:

$h_l$  = *minor losses* [m]

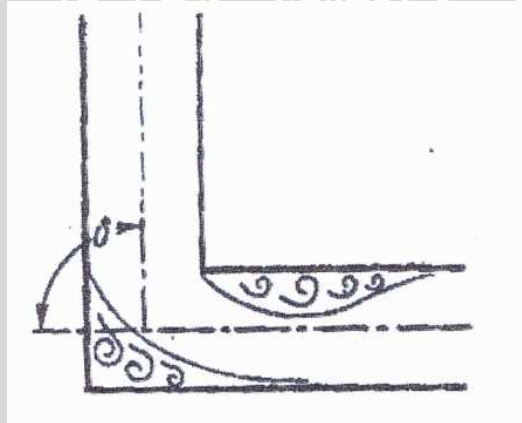
$\zeta$  = koefisien kerugian *head* untuk *minor losses*

$v$  = kecepatan fluida [m/s]

$g$  = percepatan gravitasi [m/s<sup>2</sup>]

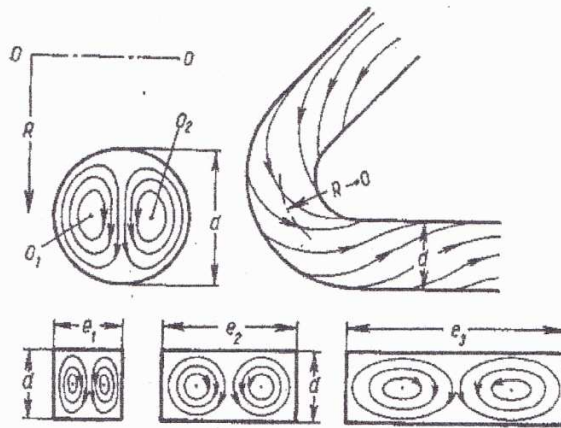
### 2.7.3 *Minor Losses* pada belokan pipa

Belokan menyebabkan hilangnya energi pada aliran yang cukup besar, hal ini dikarenakan pada belokan terjadi pemisahan aliran dan turbulensi. Kerugian pada belokan semakin meningkat dengan bertambah besarnya sudut belokan ( $\delta$ ). Sudut belokan adalah sudut antara saluran arah masuk aliran terhadap negatif saluran arah keluar aliran. Belokan halus atau *circular* cenderung mengurangi turbulensi yang menghambat aliran bila dibandingkan dengan belokan yang kasar dan siku.



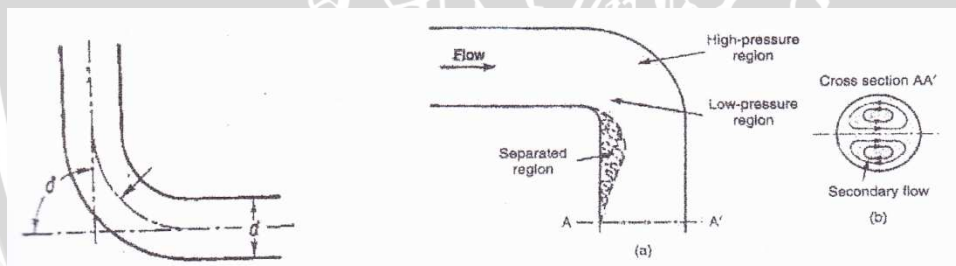
Gambar 2.12 Belokan siku.  
Sumber: Nekrasov (1990: 118).

*Losses* yang terjadi pada belokan disebabkan oleh adanya aliran sekunder (*twin eddy*/pusaran ganda). Ketika fluida bergerak pada belokan saluran, muncul gaya sentrifugal yang bekerja pada partikel – partikel fluida.



Gambar 2.13 Profil aliran melewati belokan.  
 Sumber: Nekrasov (1990: 1).

Gaya sentrifugal yang terjadi sebanding dengan kuadrat kecepatan fluida. Karena kecepatan fluida yang tidak seragam, semakin besar mendekati pusat dan semakin mengecil mendekati dinding, maka gaya sentrifugal yang bekerja pada tengah arus jauh lebih besar daripada gaya sentrifugal pada lapisan batas. Akibatnya muncul *vortex* atau *swirl* yang menyebabkan rotasi fluida dan menghasilkan aliran sekunder.

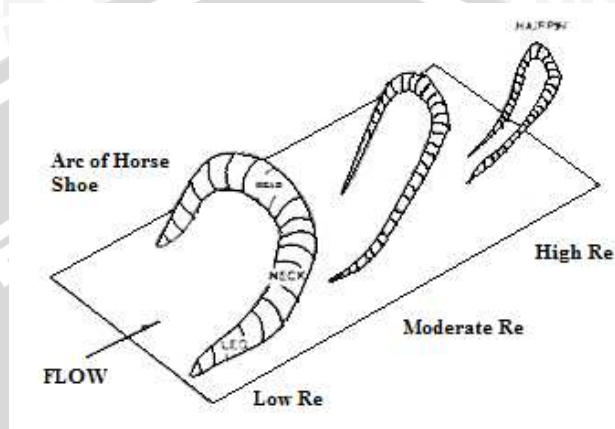


Gambar 2.14 Belokan *circular* 90°.  
 Sumber: Nekrasov (1990: 114).

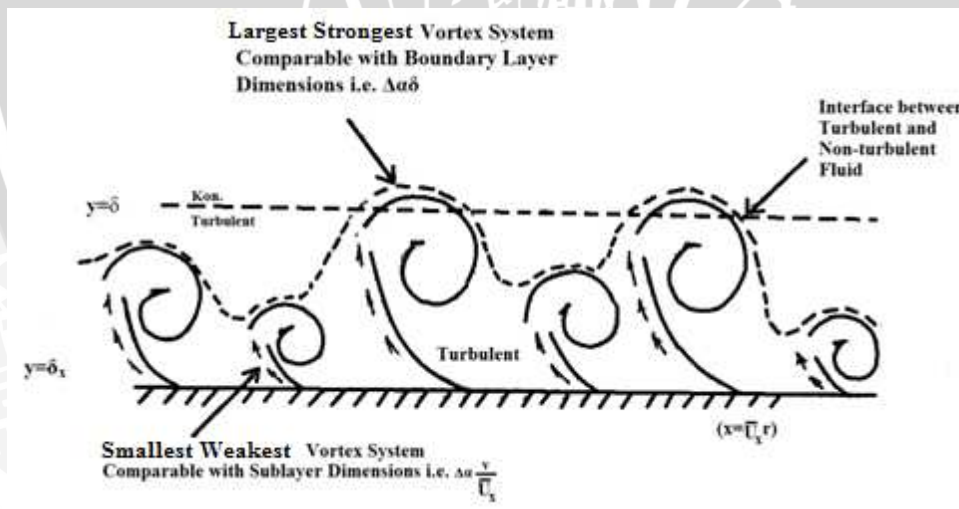
### 2.8 Vortex

*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 di sungai 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 2.15 dan 2.16.



Gambar 2.15 Geometri *Vortex* menurut besar bilangan Reynolds.  
 Sumber: Gerhart (1985: 607).



Gambar 2.16 *Vortex* 2 dimensi.  
 Sumber: Gerhart (1985: 619).

## 2.9 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 diminimalisasikan oleh *flow conditioner* lebih besar daripada *pressure drop* yang dihasilkan oleh *flow conditioner* itu sendiri.

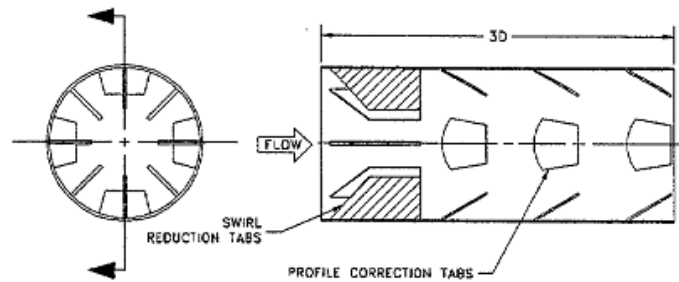
Ada beberapa *flow conditioner* yang sering digunakan yaitu, plat perforasi, *honey comb*, *vane*, *tube bundle*. Pada penelitian ini jenis *flow conditioner* yang dipakai adalah *tab type flow conditioner (tab type)*

## 2.10 Tab type flow conditioner

*Tab type flow conditioner (tab type) flow conditioner* menggunakan serangkaian *radial tabs* dan *inclined traverse tabs* yang diletakkan di dalam permukaan pipa untuk menurunkan *vortices (vortex - vortex)*.

*The radial tabs (swirl reduction tabs)* diletakkan dengan jarak yang beraturan mengelilingi permukaan pipa pada sisi masuk. *Vortex – vortex* yang ditimbulkan oleh adanya pusaran dikurangi oleh adanya *radial tabs* sehingga menghasilkan aliran yang *non-swirling* (tidak ada pusaran).

*The inclined traverse tabs (profile correction tabs)* diletakkan di bagian dalam permukaan pipa yang berfungsi untuk mereduksi *vortex*. (Lunberg, 1996)



Gambar 2.17 *Tab type flow conditioner (Tab type)*  
Sumber: Lunberg (1996: 175).

### 2.11 Hipotesis

Semakin dekat jarak peletakan *tab type flow conditioner* dari sisi keluaran pada belokan pipa  $90^\circ$  akan menyebabkan semakin sedikit terbentuknya *vortex*, karena sebagai efek dari bentuk *tab type flow conditioner* berupa fin – fin yang khas yang dapat mereduksi *vortex* sehingga dapat menurunkan *pressure drop* dan kerugian *head* menjadi turun.



## 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 *tab type flow conditioner* serta pengaruhnya terhadap kerugian *head* aliran fluida pada belokan  $90^\circ$  *long radius elbow*.

#### 3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

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

#### 3.3 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 *tab type flow conditioner* pada pipa uji, dan penempatan alat ukur.

##### 4. Pembuatan Alat

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

### 3.4 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 :
  - a. Jarak peletakan *tab type flow conditioner*: Tanpa *tab type flow conditioner*, 0D, D, 2D, 3D
    - 0D = 0 mm
    - D = 50,8 mm
    - 2D = 101,6 mm
    - 3D = 152,4 mm
  - b. Debit aliran: 1300 liter/jam, 1400 liter/jam, 1500 liter/jam, 1600 liter/jam, 1700 liter/jam, 1800 liter/jam, 1900 liter/ jam, 2000 liter/jam
2. Variabel terikat yaitu variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas yang telah ditentukan. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah : kerugian *head*.
3. Variabel terkontrol yaitu variabel yang nilainya dijaga konstan selama pengujian. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah:
  - Diameter pipa = 2 inci

### 3.5 Metode Pengambilan Data

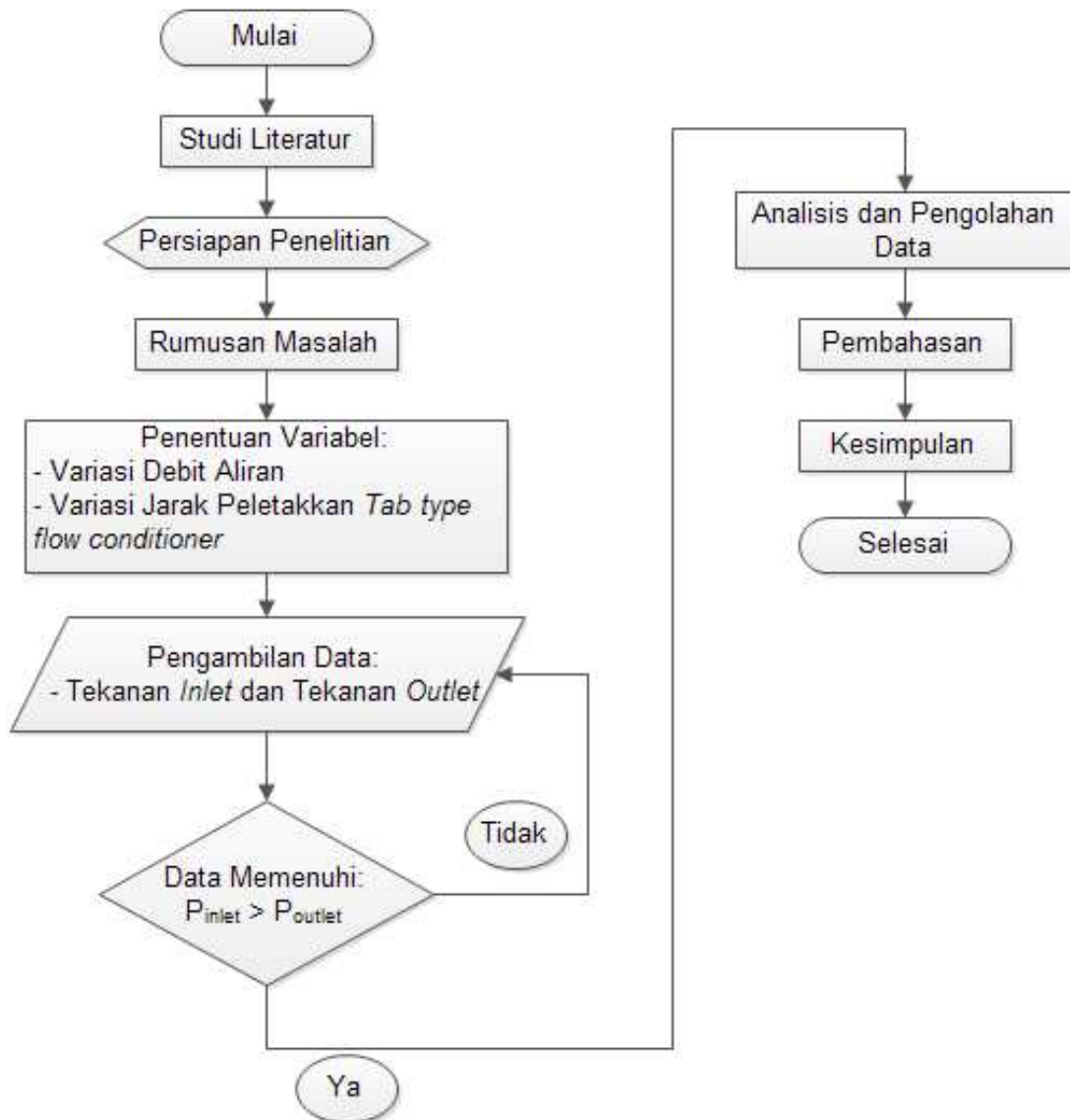
Adapun urutan proses pengambilan data adalah sebagai berikut :

1. Instalasi pipa dengan belokan pipa yang memiliki *tab type flow conditioner* dengan jarak tertentu yang telah ditentukan disiapkan.
2. Menutup katup keran pengatur debit kemudian mengalirkan fluida dari bak penampung ke seluruh jaringan pipa dengan menyalakan pompa.
3. Mengatur *head* pompa hingga rotameter menunjukkan debit 2000 liter/jam. Diamkan instalasi berjalan sekitar 10 menit sehingga fluida telah mengisi instalasi pipa seluruhnya untuk memperoleh data yang akurat.
4. Pengambilan data berupa perbedaan tekanan yang terdapat pada manometer raksa pipa – U dimulai dengan mengatur debit dengan melihat rotameter yang pengaturannya menggunakan katup, dimana debit aliran dimulai dari yang terendah yaitu 1300 liter/jam, dikarenakan tidak stabilnya penunjukkan ketinggian pada manometer dilakukan dengan mencari rata – rata ketinggian air paling besar dengan ketinggian air paling rendah untuk

memperoleh data yang akurat. Pengambilan data dilakukan kembali dengan debit yang baru sampai debit 2000 liter/jam.

5. Mengganti pipa uji dengan pipa uji lain yang diuji selanjutnya.
6. Pengolahan data untuk mendapatkan *head* rata – rata aliran fluida pada tiap debit untuk masing – masing pipa uji.

### 3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



### 3.7 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 digunakan diameter pipa PVC 2 inci.

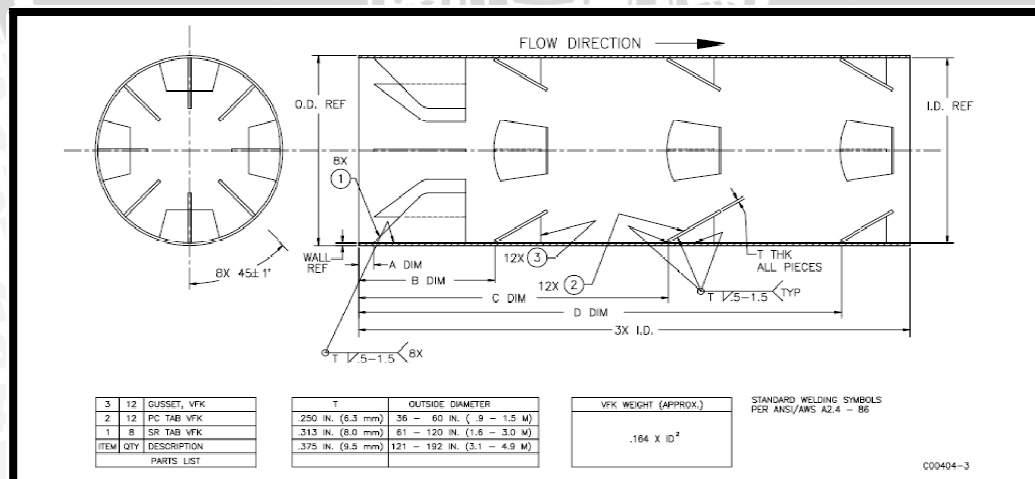


Gambar 3.2 Pipa PVC.

Sumber: Laboratorium Fenomena Dasar Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

#### 2. Tab type flow conditioner

Spesifikasi tab type flow conditioner:



Gambar 3.3 Spesifikasi tab type flow conditioner.

Sumber: Don Lunberg (1996: 176).

### 3. Pompa

Digunakan untuk mengalirkan air yang dialirkan oleh pompa ke seluruh instalasi pipa uji 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



Gambar 3.4 Pompa.

Sumber: Laboratorium Fenomena Dasar Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

### 4. Bak Penampung

Digunakan untuk menampung air yang dialirkan oleh pompa dan pembuangan dari instalasi pipa.



Gambar 3.5 Bak penampung.

Sumber: Laboratorium Fenomena Dasar Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

### 5. Rotameter

Digunakan untuk mengukur debit aliran air yang melalui *gate valve*. Kapasitas rotameter yang digunakan adalah 0 – 2000 liter/jam.



Gambar 3.6 Rotameter.

Sumber: Laboratorium Fenomena Dasar Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

### 6. Manometer Raksa Pipa - U

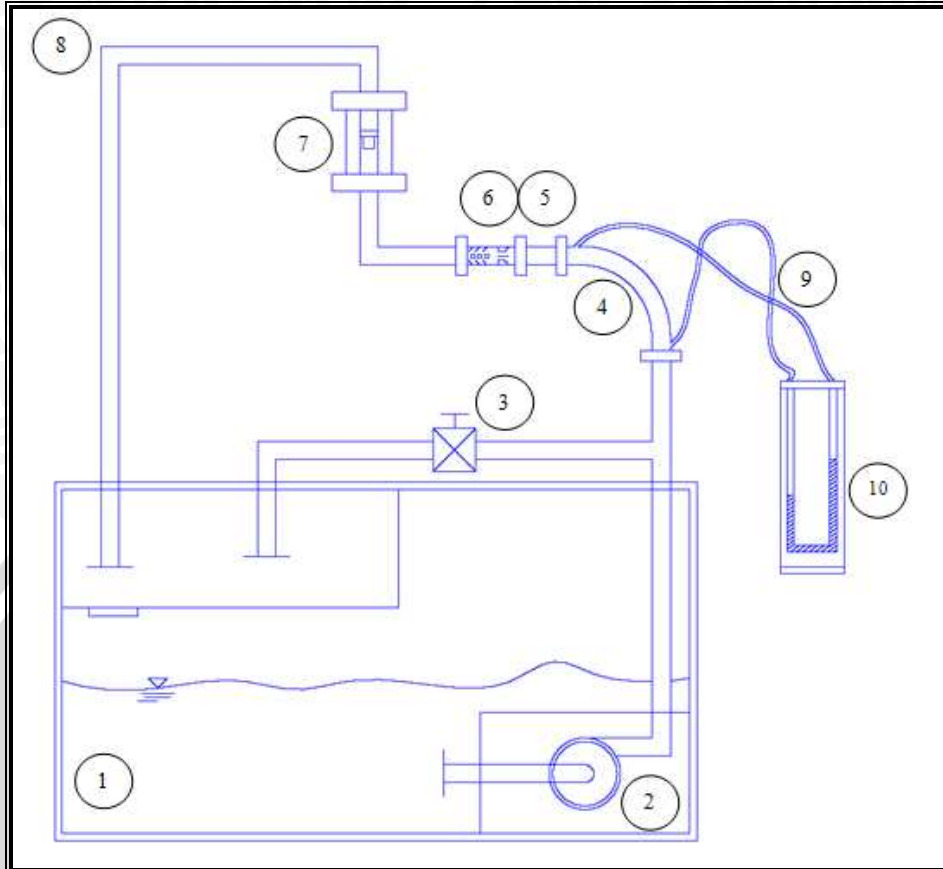
Digunakan untuk mengukur beda tekanan pada aliran fluida sebelum dan setelah melewati *tab type flow conditioner*.



Gambar 3.7 Manometer raksa pipa – U.

Sumber: Laboratorium Fenomena Dasar Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

### 3.8 Instalasi Penelitian



Gambar 3.8 Skema instalasi penelitian.

Keterangan:

1. Bak Penampung
2. Pompa
3. Katup
4.  $90^\circ$  long radius elbow
5. Jarak peletakan *tab type flow conditioner*
6. *Tab type flow conditioner*
7. Rotameter
8.  $90^\circ$  short radius elbow
9. Selang manometer
10. Manometer raksa pipa-U

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Perhitungan Data Hasil Pengujian

Perhitungan data dilakukan untuk menentukan kecepatan aliran fluida ( $V$ ), bilangan *reynolds* ( $Re$ ), penurunan tekanan (*Pressure Drop*) ( $\Delta P$ ), dan kerugian *head* ( $\Delta H$ ). Variabel bebas dan terkontrol pada penelitian ini dan data yang diperoleh pada saat penelitian adalah sebagai berikut:

|                            |  |   |
|----------------------------|--|---|
| <b>Variabel Bebas</b>      | Jarak peletakan <i>tab type flow conditioner</i> ( $D$ ) | Tanpa pemasangan <i>tab type flow conditioner</i> dan Pemasangan <i>tab type flow conditioner</i> pada jarak $0D$ , $D$ , $2D$ , dan $3D$ dari keluaran belokan pipa $90^\circ$ |
|                            | Debit aliran ( $Q$ )                                     | 1300 – 2000 liter/jam   |
| <b>Variabel Terkontrol</b> | Diameter dalam pipa ( $D$ )                              | 50,80 mm  |
|                            | Suhu air ( $T$ )   | 25 °C   |
|                            | Percepatan gravitasi ( $g$ )                             | 9,81 m/s <sup>2</sup>   |
|                            | Densitas air ( $\rho_{\text{air}}$ )                     | 997,1 kg/m <sup>3</sup>   |
|                            | Densitas Raksa ( $\rho_{\text{raksa}}$ )                 | 13546 kg/m <sup>3</sup>   |
|                            | Viskositas kinematik ( $\nu$ )                           | 0,897 x 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s  |

Dari temperatur air 25 °C tersebut diperoleh nilai dari densitas dan viskositas kinematiknya seperti pada tabel di atas. [Berdasarkan: Tabel A.1.1. *Variation of Some Properties of Water with Temperature* (Douglas, 704)]

#### 4.1.1 Perhitungan kecepatan aliran fluida (V)

Contoh perhitungan data:

Tabel 4.1 Variasi debit aliran fluida

| Q ( liter/jam ) | Q ( m <sup>3</sup> /s) |
|-----------------|------------------------|
| 1300            | 0.000361               |
| 1400            | 0.000389               |
| 1500            | 0.000417               |
| 1600            | 0.000445               |
| 1700            | 0.000473               |
| 1800            | 0.000500               |
| 1900            | 0.000528               |
| 2000            | 0.000556               |

Perhitungan luas penampang dan kecepatan aliran fluida menggunakan data ke-1 pada tabel 4.1.

- Luas penampang pipa belokan 90°

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} (0,0508)^2$$

$$A = 0,00203 \text{ m}^2$$

- Kecepatan aliran fluida pada belokan pipa 90°

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0,00361 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]}{0,00203 \left[ \text{m}^2 \right]}$$

$$V = 0,178 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

➤ Bilangan *Reynolds*

$$Red = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

$$Red = \frac{(0,178) \left[ \frac{m}{s} \right] (0,0508) [m]}{0,897 \times 10^{-6} \left[ \frac{m^2}{s} \right]}$$

$$Red = 10082,387$$

Nilai Red 10082,387 menunjukkan bahwa aliran fluida dalam instalasi pipa adalah turbulen.

Tabel 4.2 Besar kecepatan aliran fluida (V) dan bilangan *reynolds* pada belokan pipa 90°

| Q ( liter/jam ) | Q ( m <sup>3</sup> /s) | V ( m/s ) | Bil <i>Reynold</i> ( Re ) |
|-----------------|------------------------|-----------|---------------------------|
| 1300            | 0.000361               | 0.178     | 10082.387                 |
| 1400            | 0.000389               | 0.192     | 10857.956                 |
| 1500            | 0.000417               | 0.205     | 11633.524                 |
| 1600            | 0.000445               | 0.219     | 12409.092                 |
| 1700            | 0.000473               | 0.233     | 13184.660                 |
| 1800            | 0.000500               | 0.247     | 13960.229                 |
| 1900            | 0.000528               | 0.260     | 14735.797                 |
| 2000            | 0.000556               | 0.274     | 15511.365                 |

#### 4.1.2 Perhitungan perbedaan tekanan ( $\Delta P$ )

Tabel 4.3 Perbedaan tekanan pada belokan pipa 90° pada peletakan *tab type flow conditioner* dengan jarak D pengujian ke-1 kondisi I.

| Q ( liter/jam ) | Bil. <i>Reynolds</i> (Red) | H <sub>1</sub> (mm) | H <sub>2</sub> (mm) |
|-----------------|----------------------------|---------------------|---------------------|
| 1300            | 10082.387                  | 273                 | 248                 |
| 1400            | 10857.956                  | 273                 | 248                 |
| 1500            | 11633.524                  | 273.5               | 247.5               |
| 1600            | 12409.092                  | 274.5               | 246.5               |
| 1700            | 13184.660                  | 274.5               | 246.5               |
| 1800            | 13960.229                  | 275                 | 246                 |
| 1900            | 14735.797                  | 276                 | 245                 |
| 2000            | 15511.365                  | 276.5               | 244.5               |

Perhitungan beda tekanan pada belokan pipa 90° menggunakan data ke-1 pada tabel di lampiran.

- Data perbedaan tekanan yang tampak pada manometer raksa pipa-U dicatat dan dihitung dengan ketentuan sebagai berikut:

$$\Delta H = \text{beda tekanan pada belokan pipa } 90^\circ = H_1 - H_2$$

$$\text{Dimana, } H_1 = 273 \text{ mm}$$

$$H_2 = 248 \text{ mm}$$

$$\Delta H = 273 \text{ mm} - 248 \text{ mm}$$

$$= 24 \text{ mm}$$

$$= 0,024 \text{ mm}$$

Sehingga perbedaan tekanan yang terjadi pada belokan pipa 90°:

$$\Delta P = (\rho_{\text{raksa}} - \rho_{\text{air}}) \times g \times \Delta H$$

$$= (13546 - 997,1) \times 9,81 \times 0,024$$

$$= 2708,303 \text{ Pa}$$

**Dari data perhitungan rata – rata beda tekanan:**

$$\Delta H = 23.333 \text{ mm}$$

Sehingga:

$$\Delta P = (\rho_{\text{raksa}} - \rho_{\text{air}}) \times g \times \Delta H$$

$$= (13546 - 997,1) \times 9,81 \times 0,0233$$

$$= 2872.443 \text{ Pa}$$

#### 4.1.3 Perhitungan kerugian head

Perhitungan kerugian head pada belokan pipa 90° menggunakan data pada tabel 4.4 pada peletakan *tab type flow conditioner* dengan jarak D.

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \text{kerugian}_{1-2} \quad (\text{Streeter, 1985: 110}) \quad (2-9)$$



- Kerugian *Head* aliran fluida pada belokkan pipa 90°

$$h = \frac{\Delta P}{\rho_{air} \times g}$$

$$h = \frac{2872,443}{997,1 \times 9,81}$$

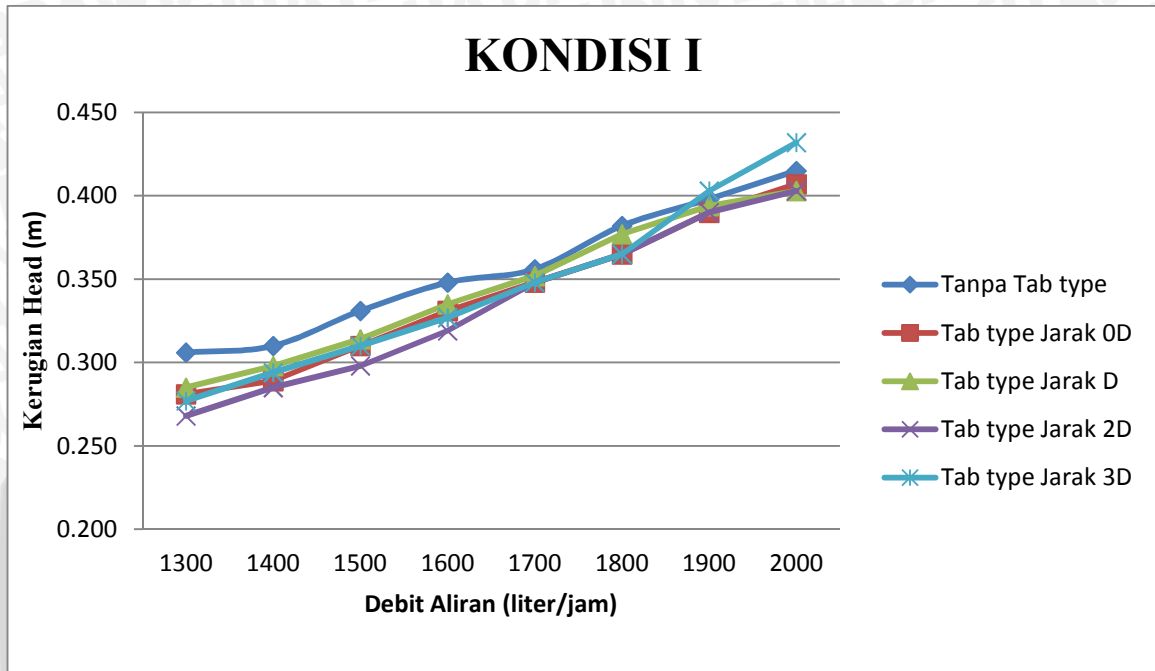
$$h = 0,294 \text{ m}$$

Tabel 4.4 Kerugian *head* aliran fluida

| Debit<br>(liter/jam) | Kerugian <i>Head</i> (m)  |  |   |  |  |
|----------------------|---|--|---|--|--|
|                      | Tanpa <i>Tab</i><br><i>type flow</i><br><i>conditioner</i><br>(m) | <i>Tab type</i><br><i>flow</i><br><i>conditioner</i><br>0D (m) | <i>Tab type</i><br><i>flow</i><br><i>conditioner</i><br>D (m) | <i>Tab type</i><br><i>flow</i><br><i>conditioner</i><br>2D (m) | <i>Tab type</i><br><i>flow</i><br><i>conditioner</i><br>3D (m) |
| 1300                 | 0.306   | 0.281  | 0.285   | 0.268  | 0.277  |
| 1400                 | 0.310   | 0.289  | 0.298   | 0.285  | 0.294  |
| 1500                 | 0.331   | 0.310  | 0.314   | 0.298  | 0.310  |
| 1600                 | 0.348   | 0.331  | 0.335   | 0.319  | 0.327  |
| 1700                 | 0.356   | 0.348  | 0.352   | 0.348  | 0.348  |
| 1800                 | 0.382   | 0.365  | 0.377   | 0.365  | 0.365  |
| 1900                 | 0.398   | 0.390  | 0.394   | 0.390  | 0.403  |
| 2000                 | 0.415   | 0.407  | 0.403   | 0.403  | 0.432  |

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Analisis Grafik Hubungan Debit Aliran terhadap Kerugian Head pada $90^\circ$ Long Radius Elbow Kondisi I (selang I = sebelum belokan $90^\circ$ ; selang II = setelah belokan $90^\circ$ )



Gambar 4.1 Grafik hubungan Debit Aliran terhadap Kerugian Head pada  $90^\circ$  long radius elbow Kondisi I

Pada gambar 4.1 di atas adalah grafik hubungan antara debit aliran terhadap kerugian head pada  $90^\circ$  long radius elbow dengan tanpa pemasangan *tab type flow conditioner* dan dengan pemasangan *tab type flow conditioner* pada jarak 0D, D, 2D, dan 3D.

Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin besar debit aliran yang melewati  $90^\circ$  long radius elbow (belokan pipa  $90^\circ$  jenis radius panjang) maka semakin besar pula kerugian head yang terjadi pada belokan pipa tersebut untuk semua variasi jarak peletakan *tab type flow conditioner*, baik pada instalasi belokan pipa tanpa pemasangan *tab type flow conditioner* maupun dengan pemasangan *tab type flow conditioner* pada jarak peletakan 0D, D, 2D, dan 3D. Hal ini dikarenakan fluida yang mengalir pada belokan pipa pada debit aliran yang semakin tinggi akan menghasilkan bilangan *reynolds* yang tinggi pula sehingga aliran yang terjadi pada belokan pipa tersebut turbulen yang mengakibatkan terbentuknya *vortex* pada fluida saat melewati belokan pipa dan setelah melewati belokan pipa tersebut. *Vortex* tersebut juga terbentuk akibat adanya gaya sentrifugal yang bekerja pada fluida ketika melewati belokan pipa  $90^\circ$ .

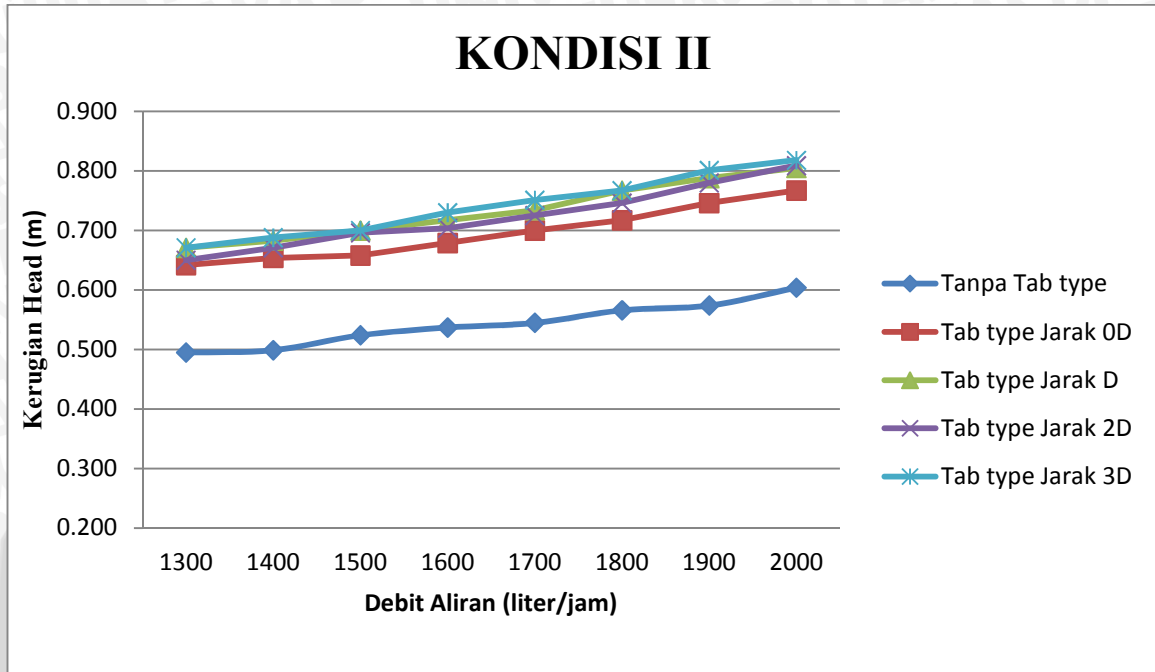
Kemudian *vortex* tersebut mengakibatkan *pressure drop* (penurunan tekanan) pada belokan pipa. *Pressure drop* semakin meningkat dengan bertambahnya debit aliran yang melewati belokan pipa dan ini berarti kerugian *head* statis fluida semakin besar. Hal ini sesuai dengan persamaan *Bernoulli* untuk fluida *real* yaitu:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \text{kerugian}_{1-2} \quad (\text{Streeter, 1985: 110}) \quad (2-9)$$

Yang menyatakan bahwa semakin tinggi *pressure drop* yang terjadi pada belokan pipa maka kerugian *head* fluida ( $\Sigma h$ ) semakin besar karena *pressure drop* dengan kerugian *head* fluida berbanding lurus, dapat ditunjukkan pada rumus di atas.

Pada grafik di atas menunjukkan pula bahwa pada debit yang sama, kerugian *head* yang terjadi dari yang terkecil hingga terbesar berturut – turut yaitu misalnya pada debit 1300 liter/jam adalah instalasi pipa dengan pemasangan *tab type flow conditioner* pada jarak peletakan 0D dari keluaran pipa belokan 90° jenis radius panjang, kemudian diikuti pemasangan *tab type flow conditioner* dengan jarak peletakan *tab type flow conditioner* pada jarak D, 2D, 3D, dan kerugian *head* yang terbesar dihasilkan pada instalasi belokan pipa tanpa pemasangan *tab type flow conditioner*. Hal ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh pemasangan *tab type flow conditioner* pada keluaran belokan pipa tersebut yang bisa menurunkan kerugian *head* yang terjadi pada belokan pipa. Hal ini dikarenakan juga pada semakin dekatnya jarak peletakan *tab type flow conditioner*, *vortex* yang terbentuk akibat turbulensi aliran dan gaya sentrifugal yang terjadi pada fluida yang melewati belokan pipa direduksi oleh bentuk khas dari *tab type flow conditioner* berupa *tab – tab* dan *fin – fin* tersebut. Namun pada semakin jauhnya jarak peletakan *tab type flow conditioner* yang dipasang setelah keluaran belokan pipa kecenderungannya semakin besar pula kerugian *head* yang terjadi, hal ini dikarenakan semakin jauhnya jarak peletakan *tab type flow conditioner* dan itu artinya semakin lama juga waktu yang dibutuhkan *vortex* berkembang besar sehingga kerugian *head* yang terjadi semakin besar pula.

#### 4.2.2 Analisis Grafik Hubungan Debit Aliran terhadap Kerugian *Head* pada $90^\circ$ Long Radius Elbow Kondisi II (selang I = sebelum belokan $90^\circ$ ; selang II = setelah *Tab type flow conditioner*)



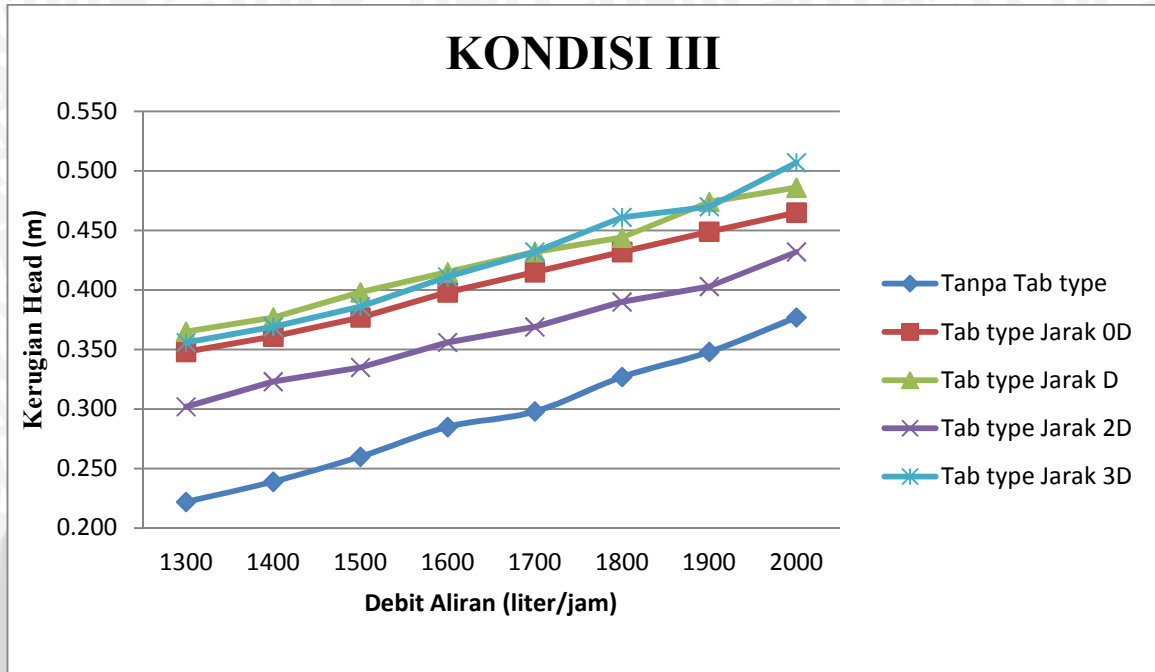
Gambar 4.2 Grafik hubungan Debit Aliran terhadap Kerugian *Head* pada  $90^\circ$  long radius elbow Kondisi II

Pada gambar 4.2 di atas menunjukkan grafik hubungan antara jarak peletakan *tab type flow conditioner* dengan tanpa pemasangan *tab type flow conditioner* dan pemasangan *tab type flow conditioner* dengan jarak OD, D, 2D, dan 3D yang dipasang setelah keluaran belokan pipa terhadap kerugian *head* pada belokan pipa tersebut dengan variasi debit aliran yang melewati belokan pipa yaitu, 1300 liter/jam, 1400 liter/jam, 1500 liter/jam, 1600 liter/jam, 1700 liter/jam, 1800 liter/jam, 1900 liter/jam, dan 2000 liter/jam.

Pada grafik diatas terlihat dan menunjukkan bahwa dengan semakin jauhnya jarak peletakan *tab type flow conditioner* dari keluaran belokan pipa maka semakin besar pula kerugian *head* yang terjadi pada belokan pipa tersebut untuk semua variasi debit aliran dari debit aliran 1300 liter/jam hingga 2000 liter/jam.

Begitu juga dengan kerugian *head* yang terjadi dengan pemasangan *tab type flow conditioner*. Hal ini dikarenakan ketika fluida melewati *tab type flow conditioner* maka terjadi luasan permukaan yang bertambah dan dari bentuk dari *tab type flow conditioner* ini yang menyebabkan terjadinya *vortex* sehingga kerugian *head* bertambah besar.

#### 4.2.3 Analisis Grafik Hubungan Debit Aliran terhadap Kerugian *Head* pada $90^\circ$ Long Radius Elbow Kondisi III (selang I = setelah belokan $90^\circ$ ; selang II = setelah *Tab type flow conditioner*)



Gambar 4.3 Grafik hubungan Debit Aliran terhadap Kerugian *Head* pada  $90^\circ$  long radius elbow Kondisi III

Pada gambar 4.3 di atas menunjukkan grafik hubungan antara jarak peletakan *tab type flow conditioner* dengan tanpa pemasangan *tab type flow conditioner* dan pemasangan *tab type flow conditioner* dengan jarak OD, D, 2D, dan 3D yang dipasang setelah keluaran belokan pipa terhadap kerugian *head* pada belokan pipa tersebut dengan variasi debit aliran yang melewati belokan pipa yaitu, 1300 liter/jam, 1400 liter/jam, 1500 liter/jam, 1600 liter/jam, 1700 liter/jam, 1800 liter/jam, 1900 liter/jam, dan 2000 liter/jam.

Pada grafik diatas terlihat dan menunjukkan bahwa dengan semakin jauhnya jarak peletakan *tab type flow conditioner* dari keluaran belokan pipa maka semakin besar pula kerugian *head* yang terjadi pada belokan pipa tersebut untuk semua variasi debit aliran dari debit aliran 1300 liter/jam hingga 2000 liter/jam tetapi pada pemasangan *tab type flow conditioner* pada jarak peletetakkan D adalah kerugian *head* yang terjadi paling kecil dibandingkan dengan pemasangan *tab type flow conditioner* yang lainnya dikarenakan pada jarak D *vortex* yang akan membesar dan berkembang direduksi oleh *tab type flow conditioner*.

Begitu juga dengan kerugian *head* yang terjadi dengan pemasangan *tab type flow conditioner*. Hal ini dikarenakan ketika fluida melewati *tab type flow conditioner* maka terjadi

luasan permukaan yang bertambah dan dari bentuk *tab type flow conditioner* ini yang menyebabkan bertambahnya *vortex* sehingga kerugian *head* bertambah besar.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemasangan *tab type flow conditioner* pada keluaran  $90^\circ$  *long radius elbow* mempengaruhi penurunan tekanan dan kerugian *head* aliran fluida untuk Kondisi I.
2. Jarak peletakan *tab type flow conditioner* yang didapat untuk menurunkan kerugian *head* maksimal pada belokan pipa  $90^\circ$  untuk Kondisi I adalah pada jarak D setelah hilir belokan.

#### 5.2 Saran

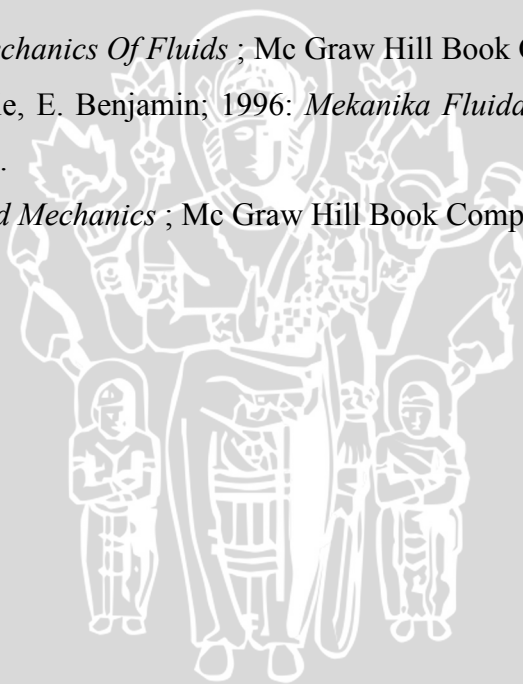
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti menyarankan untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan:

1. Menggunakan fluida *compressible* untuk penelitian selanjutnya.
2. Penggunaan *tab type flow conditioner* untuk menurunkan kerugian head aliran fluida pada jenis – jenis lokal saluran lainnya yang menyebabkan *minor losses*.



## DAFTAR PUSTAKA

- Daugherty, Robert L., and Franzini, Joseph B.; 1977: *Fluids Mechanics With Engineering Application* ; Mc Graw Kogakusha Ltd., Tokyo.
- Douglas, Gasiorek, Swaffield; 1979: *Fluid Mechanics* ; Copp Clark Pitman, Toronto.
- Fox, Robert W., and McDonald, Alan T.; 1994: *Introduction To Fluid Mechanics* ; John Wiley & Sons, Inc. Toronto.
- Lundberg, Don; 2000: *Effects Of Flow Conditioning On Liquid Measurements* ; Jurnal ; Vortab Company, San Marcos, CA.
- Nekrasov, Boris; 1960: *Hydraulics For Aeronautical Engineers* ; Peace Publishers, Moscow.
- Papanastasiou, Tasos C; 1993: *Applied Fluid Mechanics* ; Prentice – Hall Inc., New Jersey.
- Potter, Merle C., and Wiggert, David C.; 1997: *Fluid Mechanics* ; Prentice-Hall Inc, New Jersey.
- Shames, Irving. H; 1982: *Mechanics Of Fluids* ; Mc Graw Hill Book Co., Singapore.
- Streeter, Victor. L and Wylie, E. Benjamin; 1996: *Mekanika Fluida* ; Mc Graw Hill Book Company, New York.
- White, Frank M.; 1999: *Fluid Mechanics* ; Mc Graw Hill Book Company, New York.





# LAMPIRAN



**Lampiran A. Tabel *Properties* Air dalam SI**

| Temp,<br>°C | Unit<br>gravity<br>force<br>$\gamma$ ,<br>N/m <sup>3</sup> | Density<br>$\rho$ ,<br>kg/m <sup>3</sup> | Viscosity<br>$\mu$ ,<br>Pa·s | Kinematic<br>viscosity<br>$\nu$ ,<br>m <sup>2</sup> /s<br>$10^6 \nu =$ | Surface<br>tension<br>$\sigma$ ,<br>N/m<br>$100 \sigma =$ | Vapor-<br>pressure<br>$p_v$<br>kPa | Bulk<br>modulus<br>of<br>elasticity<br>K,<br>GPa |
|-------------|--|--|------------------------------|--|---|------------------------------------|--|
| 0           | 9805   | 999.9                                    | 1.792                        | 1.792  | 7.62  | 0.6                                | 2.04   |
| 5           | 9806   | 1000.0                                   | 1.519                        | 1.519  | 7.54  | 0.9                                | 2.06   |
| 10          | 9803   | 999.7                                    | 1.308                        | 1.308  | 7.48  | 1.2                                | 2.11   |
| 15          | 9798   | 999.1                                    | 1.140                        | 1.141  | 7.41  | 1.7                                | 2.14   |
| 20          | 9789   | 998.2                                    | 1.005                        | 1.007  | 7.36  | 2.5                                | 2.20   |
| 25          | 9779   | 997.1                                    | 0.894                        | 0.897  | 7.26  | 3.2                                | 2.22   |
| 30          | 9767   | 995.7                                    | 0.801                        | 0.804  | 7.18  | 4.3                                | 2.23   |
| 35          | 9752   | 994.1                                    | 0.723                        | 0.727  | 7.10  | 5.7                                | 2.24   |
| 40          | 9737   | 992.2                                    | 0.656                        | 0.661  | 7.01  | 7.5                                | 2.27   |
| 45          | 9720   | 990.2                                    | 0.599                        | 0.605  | 6.92  | 9.6                                | 2.29   |
| 50          | 9697   | 988.1                                    | 0.549                        | 0.556  | 6.82  | 12.4                               | 2.30   |
| 55          | 9679   | 985.7                                    | 0.506                        | 0.513  | 6.74  | 15.8                               | 2.31   |
| 60          | 9658   | 983.2                                    | 0.469                        | 0.477  | 6.68  | 19.9                               | 2.28   |
| 65          | 9635   | 980.6                                    | 0.436                        | 0.444  | 6.58  | 25.1                               | 2.26   |
| 70          | 9600   | 977.8                                    | 0.406                        | 0.415  | 6.50  | 31.4                               | 2.25   |
| 75          | 9589   | 974.9                                    | 0.380                        | 0.390  | 6.40  | 38.8                               | 2.23   |
| 80          | 9557   | 971.8                                    | 0.357                        | 0.367  | 6.30  | 47.7                               | 2.21   |
| 85          | 9529   | 968.6                                    | 0.336                        | 0.347  | 6.20  | 58.1                               | 2.17   |
| 90          | 9499   | 965.3                                    | 0.317                        | 0.328  | 6.12  | 70.4                               | 2.16   |
| 95          | 9469   | 961.9                                    | 0.299                        | 0.311  | 6.02  | 84.5                               | 2.11   |
| 100         | 9438   | 958.4                                    | 0.284                        | 0.296  | 5.94  | 101.3                              | 2.07   |

Sumber: Tabel A.1.1. *Variation of Some Properties of Water with Temperature* (Douglas, 704)

## Lampiran B. Data Hasil Pengujian

### 1. $\Delta H$ Rata-rata (mm)

I. kondisi I (selang I = sebelum belokan 90° ; selang II = setelah belokan 90°) [tanpa tab type flow conditioner]

| Q<br>(liter/jam) | Tanpa Tab type flow conditioner |                        |                    |                        |                        |                    |                        |                        |                    | $\Delta H$<br>Rata-rata<br>(mm) |
|------------------|---------------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|---------------------------------|
|                  | Percobaan 1                     |                        |                    | Percobaan 2            |                        |                    | Percobaan 3            |                        |                    |                                 |
|                  | H <sub>1</sub><br>(mm)          | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) |                                 |
| 1300             | 273                             | 248                    | 25                 | 271.5                  | 247.5                  | 24                 | 271.5                  | 247.5                  | 24                 | 24.333                          |
| 1400             | 273                             | 248                    | 25                 | 272                    | 247                    | 25                 | 271.5                  | 247.5                  | 24                 | 24.667                          |
| 1500             | 273.5                           | 247.5                  | 26                 | 273                    | 246                    | 27                 | 272.5                  | 246.5                  | 26                 | 26.333                          |
| 1600             | 274.5                           | 246.5                  | 28                 | 273                    | 246                    | 27                 | 273.5                  | 245.5                  | 28                 | 27.667                          |
| 1700             | 274.5                           | 246.5                  | 28                 | 273.5                  | 245.5                  | 28                 | 274                    | 245                    | 29                 | 28.333                          |
| 1800             | 275                             | 246                    | 29                 | 274.5                  | 244.5                  | 30                 | 275.5                  | 243.5                  | 32                 | 30.333                          |
| 1900             | 276                             | 245                    | 31                 | 275                    | 244                    | 31                 | 276                    | 243                    | 33                 | 31.667                          |
| 2000             | 276.5                           | 244.5                  | 32                 | 276                    | 243                    | 33                 | 276.5                  | 242.5                  | 34                 | 33.000                          |

### I. 0D

| Q<br>(liter/jam) | 0D                     |                        |                    |                        |                        |                    |                        |                        |                    | $\Delta H$<br>Rata-rata<br>(mm) |
|------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|---------------------------------|
|                  | Percobaan 1            |                        |                    | Percobaan 2            |                        |                    | Percobaan 3            |                        |                    |                                 |
|                  | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) |                                 |
| 1300             | 271                    | 249                    | 22                 | 271                    | 249                    | 22                 | 271.5                  | 248.5                  | 23                 | 22.333                          |
| 1400             | 271.5                  | 248.5                  | 23                 | 271.5                  | 248.5                  | 23                 | 271.5                  | 248.5                  | 23                 | 23.000                          |
| 1500             | 272.5                  | 247.5                  | 25                 | 272                    | 248                    | 24                 | 272.5                  | 247.5                  | 25                 | 24.667                          |
| 1600             | 272.5                  | 247.5                  | 25                 | 273                    | 247                    | 26                 | 274                    | 246                    | 28                 | 26.333                          |
| 1700             | 274                    | 246                    | 28                 | 273                    | 247                    | 26                 | 274.5                  | 245.5                  | 29                 | 27.667                          |
| 1800             | 274.5                  | 245.5                  | 29                 | 273.5                  | 246.5                  | 27                 | 275.5                  | 244.5                  | 31                 | 29.000                          |
| 1900             | 275.5                  | 244.5                  | 31                 | 274.5                  | 245.5                  | 29                 | 276.5                  | 243.5                  | 33                 | 31.000                          |
| 2000             | 276                    | 244                    | 32                 | 276                    | 244                    | 32                 | 276.5                  | 243.5                  | 33                 | 32.333                          |

## I. D

| Q<br>(liter/jam) | D                      |                        |                    |                        |                        |                    |                        |                        |                    | $\Delta H$<br>Rata-rata<br>(mm) |
|------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|---------------------------------|
|                  | Percobaan 1            |                        |                    | Percobaan 2            |                        |                    | Percobaan 3            |                        |                    |                                 |
|                  | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) |                                 |
| 1300             | 269                    | 246                    | 23                 | 271                    | 249                    | 22                 | 270                    | 247                    | 23                 | 22.667                          |
| 1400             | 269                    | 246                    | 23                 | 272                    | 248                    | 24                 | 270.5                  | 246.5                  | 24                 | 23.667                          |
| 1500             | 269.5                  | 245.5                  | 24                 | 272.5                  | 247.5                  | 25                 | 271.5                  | 245.5                  | 26                 | 25.000                          |
| 1600             | 270                    | 245                    | 25                 | 273.5                  | 246.5                  | 27                 | 272.5                  | 244.5                  | 28                 | 26.667                          |
| 1700             | 271                    | 244                    | 27                 | 274                    | 246                    | 28                 | 273                    | 244                    | 29                 | 28.000                          |
| 1800             | 272                    | 243                    | 29                 | 275                    | 245                    | 30                 | 274                    | 243                    | 31                 | 30.000                          |
| 1900             | 273                    | 242                    | 31                 | 276                    | 244                    | 32                 | 274                    | 243                    | 31                 | 31.333                          |
| 2000             | 273                    | 242                    | 31                 | 276                    | 244                    | 32                 | 275                    | 242                    | 33                 | 32.000                          |

## I. 2D

| Q<br>(liter/jam) | 2D                     |                        |                    |                        |                        |                    |                        |                        |                    | $\Delta H$<br>Rata-rata<br>(mm) |
|------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|---------------------------------|
|                  | Percobaan 1            |                        |                    | Percobaan 2            |                        |                    | Percobaan 3            |                        |                    |                                 |
|                  | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) |                                 |
| 1300             | 268                    | 247                    | 21                 | 268                    | 247                    | 21                 | 268.5                  | 246.5                  | 22                 | 21.333                          |
| 1400             | 268                    | 247                    | 21                 | 269                    | 246                    | 23                 | 269.5                  | 245.5                  | 24                 | 22.667                          |
| 1500             | 268.5                  | 246.5                  | 22                 | 269                    | 246                    | 23                 | 270.5                  | 244.5                  | 26                 | 23.667                          |
| 1600             | 270                    | 245                    | 25                 | 269.5                  | 245.5                  | 24                 | 271                    | 244                    | 27                 | 25.333                          |
| 1700             | 271                    | 244                    | 27                 | 271                    | 244                    | 27                 | 272                    | 243                    | 29                 | 27.667                          |
| 1800             | 271                    | 244                    | 27                 | 271.5                  | 243.5                  | 28                 | 273.5                  | 241.5                  | 32                 | 29.000                          |
| 1900             | 272                    | 243                    | 29                 | 273                    | 242                    | 31                 | 274                    | 241                    | 33                 | 31.000                          |
| 2000             | 273                    | 242                    | 31                 | 273.5                  | 241.5                  | 32                 | 274                    | 241                    | 33                 | 32.000                          |

I. 3D

| Q<br>(liter/jam) | 3D                     |                        |            |                        |                        |            |                        |                        |            | ΔH<br>Rata-<br>rata<br>(mm) |
|------------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|-----------------------------|
|                  | Percobaan 1            |                        |            | Percobaan 2            |                        |            | Percobaan 3            |                        |            |                             |
|                  | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) |                             |
| 1300             | 270                    | 248                    | 22         | 272                    | 249                    | 23         | 271                    | 250                    | 21         | 22.000                      |
| 1400             | 271                    | 247                    | 24         | 272                    | 249                    | 23         | 272                    | 249                    | 23         | 23.333                      |
| 1500             | 271.5                  | 246.5                  | 25         | 272.5                  | 248.5                  | 24         | 273                    | 248                    | 25         | 24.667                      |
| 1600             | 272.5                  | 245.5                  | 27         | 273.5                  | 247.5                  | 26         | 273                    | 248                    | 25         | 26.000                      |
| 1700             | 273                    | 245                    | 28         | 274.5                  | 246.5                  | 28         | 274                    | 247                    | 27         | 27.667                      |
| 1800             | 274                    | 244                    | 30         | 275                    | 246                    | 29         | 274.5                  | 246.5                  | 28         | 29.000                      |
| 1900             | 275.5                  | 242.5                  | 33         | 276.5                  | 244.5                  | 32         | 276                    | 245                    | 31         | 32.000                      |
| 2000             | 276.5                  | 241.5                  | 35         | 278                    | 243                    | 35         | 277                    | 244                    | 33         | 34.333                      |



II. Kondisi II (selang I = sebelum belokan 90° ; selang II = setelah *tab type flow conditioner* pada jarak 7D tetap) [tanpa *tab type flow conditioner*]

| Q<br>(liter/jam) | Tanpa <i>Tab type flow conditioner</i> |                        |            |                        |                        |            |                        |                        |            | ΔH<br>Rata-<br>rata<br>(mm) |
|------------------|--|------------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|-----------------------------|
|                  | Percobaan 1                            |                        |            | Percobaan 2            |                        |            | Percobaan 3            |                        |            |                             |
|                  | H <sub>1</sub><br>(mm)                 | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) |                             |
| 1300             | 275                                    | 236                    | 39         | 275                    | 236                    | 39         | 277                    | 237                    | 40         | 39.333                      |
| 1400             | 275                                    | 236                    | 39         | 275.5                  | 235.5                  | 40         | 277                    | 237                    | 40         | 39.667                      |
| 1500             | 275.5                                  | 235.5                  | 40         | 276.5                  | 234.5                  | 42         | 278.5                  | 235.5                  | 43         | 41.667                      |
| 1600             | 276                                    | 235                    | 41         | 277.5                  | 233.5                  | 44         | 278.5                  | 235.5                  | 43         | 42.667                      |
| 1700             | 276.5                                  | 234.5                  | 42         | 277.5                  | 233.5                  | 44         | 279                    | 235                    | 44         | 43.333                      |
| 1800             | 277.5                                  | 233.5                  | 44         | 278                    | 233                    | 45         | 280                    | 234                    | 46         | 45.000                      |
| 1900             | 277.5                                  | 233.5                  | 44         | 278.5                  | 232.5                  | 46         | 280.5                  | 233.5                  | 47         | 45.667                      |
| 2000             | 279                                    | 232                    | 47         | 279.5                  | 231.5                  | 48         | 281.5                  | 232.5                  | 49         | 48.000                      |

II. 0D

| Q<br>(liter/jam) | 0D                     |                        |            |                        |                        |            |                        |                        |            | ΔH<br>Rata-<br>rata<br>(mm) |
|------------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|-----------------------------|
|                  | Percobaan 1            |                        |            | Percobaan 2            |                        |            | Percobaan 3            |                        |            |                             |
|                  | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) |                             |
| 1300             | 278                    | 227                    | 51         | 276                    | 224                    | 52         | 277                    | 227                    | 50         | 51.000                      |
| 1400             | 278.5                  | 226.5                  | 52         | 276                    | 224                    | 52         | 278                    | 226                    | 52         | 52.000                      |
| 1500             | 278.5                  | 226.5                  | 52         | 276.5                  | 223.5                  | 53         | 278                    | 226                    | 52         | 52.333                      |
| 1600             | 279.5                  | 225.5                  | 54         | 277                    | 223                    | 54         | 279                    | 225                    | 54         | 54.000                      |
| 1700             | 280.5                  | 224.5                  | 56         | 277.5                  | 222.5                  | 55         | 280                    | 224                    | 56         | 55.667                      |
| 1800             | 281                    | 224                    | 57         | 278.5                  | 221.5                  | 57         | 280.5                  | 223.5                  | 57         | 57.000                      |
| 1900             | 282.5                  | 222.5                  | 60         | 279.5                  | 220.5                  | 59         | 281.5                  | 222.5                  | 59         | 59.333                      |
| 2000             | 283                    | 222                    | 61         | 281                    | 219                    | 62         | 282                    | 222                    | 60         | 61.000                      |

## II. D

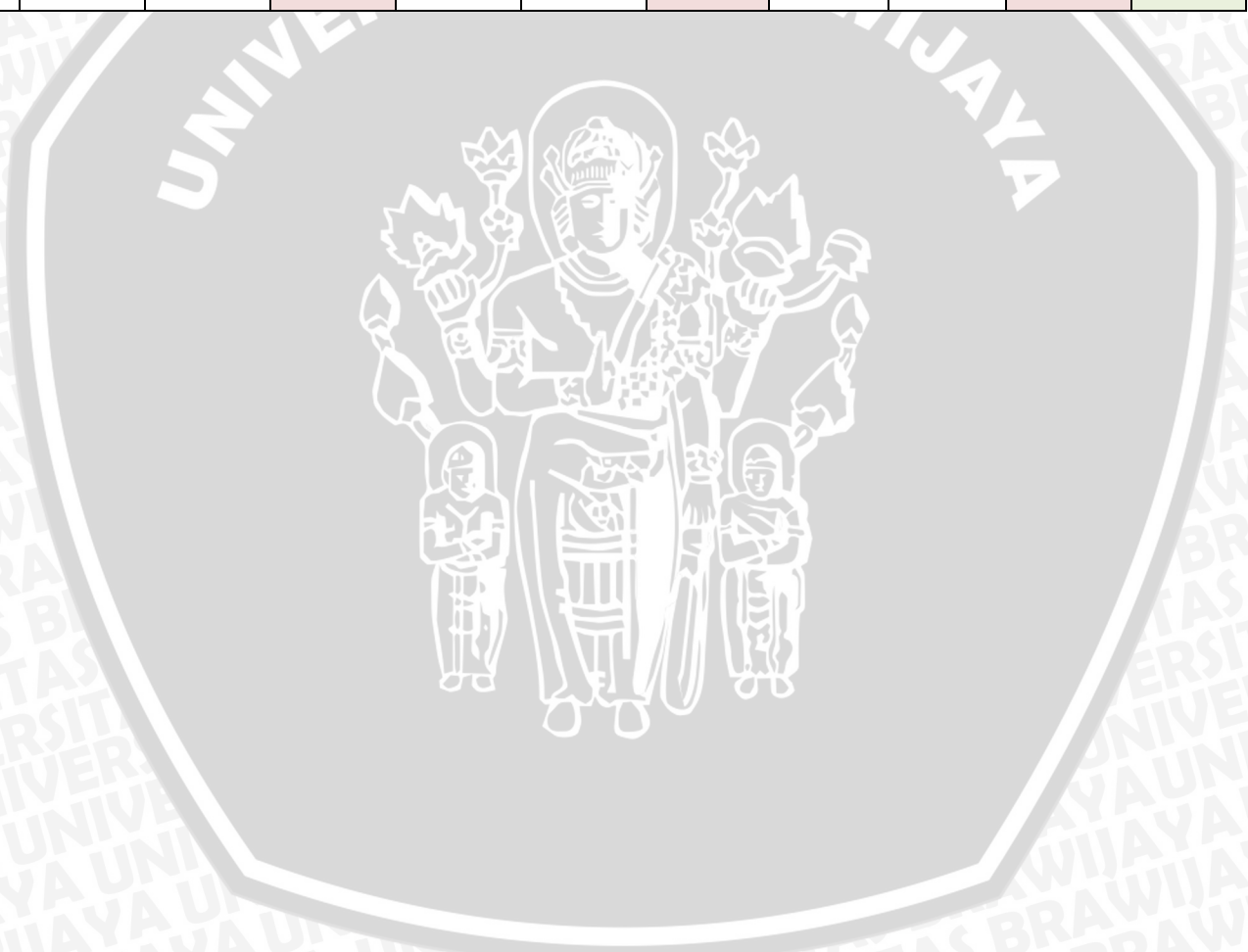
| Q<br>(liter/jam) | D                      |                        |            |                        |                        |            |                        |                        |            | ΔH<br>Rata-rata<br>(mm) |
|------------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|-------------------------|
|                  | Percobaan 1            |                        |            | Percobaan 2            |                        |            | Percobaan 3            |                        |            |                         |
|                  | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) |                         |
| 1300             | 275.5                  | 222.5                  | 53         | 275.5                  | 222.5                  | 53         | 277                    | 223                    | 54         | 53.333                  |
| 1400             | 276.5                  | 221.5                  | 55         | 276                    | 222                    | 54         | 277                    | 223                    | 54         | 54.333                  |
| 1500             | 276.5                  | 221.5                  | 55         | 277                    | 221                    | 56         | 278                    | 222                    | 56         | 55.667                  |
| 1600             | 277                    | 221                    | 56         | 278                    | 220                    | 58         | 278.5                  | 221.5                  | 57         | 57.000                  |
| 1700             | 277.5                  | 220.5                  | 57         | 278.5                  | 219.5                  | 59         | 279.5                  | 220.5                  | 59         | 58.333                  |
| 1800             | 279                    | 219                    | 60         | 279.5                  | 218.5                  | 61         | 281                    | 219                    | 62         | 61.000                  |
| 1900             | 280                    | 218                    | 62         | 280                    | 218                    | 62         | 282                    | 218                    | 64         | 62.667                  |
| 2000             | 280.5                  | 217.5                  | 63         | 281                    | 217                    | 64         | 282.5                  | 217.5                  | 65         | 64.000                  |

## II. 2D

| Q<br>(liter/jam) | 2D                     |                        |            |                        |                        |            |                        |                        |            | ΔH<br>Rata-rata<br>(mm) |
|------------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|-------------------------|
|                  | Percobaan 1            |                        |            | Percobaan 2            |                        |            | Percobaan 3            |                        |            |                         |
|                  | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) |                         |
| 1300             | 273.5                  | 221.5                  | 52         | 272                    | 221                    | 51         | 273                    | 221                    | 52         | 51.667                  |
| 1400             | 274                    | 221                    | 53         | 272.5                  | 220.5                  | 52         | 274.5                  | 219.5                  | 55         | 53.333                  |
| 1500             | 275.5                  | 219.5                  | 56         | 274                    | 219                    | 55         | 274.5                  | 219.5                  | 55         | 55.333                  |
| 1600             | 276                    | 219                    | 57         | 274                    | 219                    | 55         | 275                    | 219                    | 56         | 56.000                  |
| 1700             | 276.5                  | 218.5                  | 58         | 275                    | 218                    | 57         | 276                    | 218                    | 58         | 57.667                  |
| 1800             | 277.5                  | 217.5                  | 60         | 276                    | 217                    | 59         | 276.5                  | 217.5                  | 59         | 59.333                  |
| 1900             | 278.5                  | 216.5                  | 62         | 277.5                  | 215.5                  | 62         | 278                    | 216                    | 62         | 62.000                  |
| 2000             | 279.5                  | 215.5                  | 64         | 279                    | 214                    | 65         | 279                    | 215                    | 64         | 64.333                  |

II. 3D

| Q<br>(liter/jam) | 3D                     |                        |            |                        |                        |            |                        |                        |            | ΔH<br>Rata-rata<br>(mm) |
|------------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|-------------------------|
|                  | Percobaan 1            |                        |            | Percobaan 2            |                        |            | Percobaan 3            |                        |            |                         |
|                  | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) |                         |
| 1300             | 278                    | 224                    | 54         | 276                    | 224                    | 52         | 278                    | 224                    | 54         | 53.333                  |
| 1400             | 278                    | 224                    | 54         | 277                    | 223                    | 54         | 279                    | 223                    | 56         | 54.667                  |
| 1500             | 279                    | 223                    | 56         | 277.5                  | 222.5                  | 55         | 279                    | 223                    | 56         | 55.667                  |
| 1600             | 280                    | 222                    | 58         | 279                    | 221                    | 58         | 280                    | 222                    | 58         | 58.000                  |
| 1700             | 281                    | 221                    | 60         | 279                    | 221                    | 58         | 281.5                  | 220.5                  | 61         | 59.667                  |
| 1800             | 282                    | 220                    | 62         | 279.5                  | 220.5                  | 59         | 282                    | 220                    | 62         | 61.000                  |
| 1900             | 284                    | 218                    | 66         | 281                    | 219                    | 62         | 282.5                  | 219.5                  | 63         | 63.667                  |
| 2000             | 284.5                  | 217.5                  | 67         | 281.5                  | 218.5                  | 63         | 283.5                  | 218.5                  | 65         | 65.000                  |





III. Kondisi III (selang I = setelah belokan 90° ; selang II = setelah *tab type flow conditioner* pada jarak 7D tetap) [tanpa *tab type flow conditioner*]

| Q<br>(liter/jam) | Tanpa <i>Tab type flow conditioner</i> |                        |            |                        |                        |            |                        |                        |            | ΔH<br>Rata-<br>rata<br>(mm) |
|------------------|--|------------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|-----------------------------|
|                  | Percobaan 1                            |                        |            | Percobaan 2            |                        |            | Percobaan 3            |                        |            |                             |
|                  | H <sub>1</sub><br>(mm)                 | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) |                             |
| 1300             | 268                                    | 251                    | 17         | 271                    | 252                    | 19         | 268                    | 251                    | 17         | 17.667                      |
| 1400             | 269                                    | 250                    | 19         | 272                    | 251                    | 21         | 268                    | 251                    | 17         | 19.000                      |
| 1500             | 270                                    | 249                    | 21         | 272.5                  | 250.5                  | 22         | 269                    | 250                    | 19         | 20.667                      |
| 1600             | 270.5                                  | 248.5                  | 22         | 273.5                  | 249.5                  | 24         | 270.5                  | 248.5                  | 22         | 22.667                      |
| 1700             | 271                                    | 248                    | 23         | 273.5                  | 249.5                  | 24         | 271.5                  | 247.5                  | 24         | 23.667                      |
| 1800             | 272.5                                  | 246.5                  | 26         | 274.5                  | 248.5                  | 26         | 272.5                  | 246.5                  | 26         | 26.000                      |
| 1900             | 273.5                                  | 245.5                  | 28         | 276                    | 247                    | 29         | 272.5                  | 246.5                  | 26         | 27.667                      |
| 2000             | 274.5                                  | 244.5                  | 30         | 277                    | 246                    | 31         | 274                    | 245                    | 29         | 30.000                      |

III. 0D

| Q<br>(liter/jam) | 0D                     |                        |            |                        |                        |            |                        |                        |            | ΔH<br>Rata-<br>rata<br>(mm) |
|------------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|-----------------------------|
|                  | Percobaan 1            |                        |            | Percobaan 2            |                        |            | Percobaan 3            |                        |            |                             |
|                  | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) |                             |
| 1300             | 275                    | 247                    | 28         | 275                    | 247                    | 28         | 277                    | 250                    | 27         | 27.667                      |
| 1400             | 275                    | 247                    | 28         | 276                    | 246                    | 30         | 277.5                  | 249.5                  | 28         | 28.667                      |
| 1500             | 275.5                  | 246.5                  | 29         | 276.5                  | 245.5                  | 31         | 278.5                  | 248.5                  | 30         | 30.000                      |
| 1600             | 276.5                  | 245.5                  | 31         | 277.5                  | 245.5                  | 32         | 279.5                  | 247.5                  | 32         | 31.667                      |
| 1700             | 277                    | 245                    | 32         | 279                    | 244                    | 35         | 279.5                  | 247.5                  | 32         | 33.000                      |
| 1800             | 277                    | 245                    | 32         | 279.5                  | 243.5                  | 36         | 281                    | 246                    | 35         | 34.333                      |
| 1900             | 278                    | 244                    | 34         | 280.5                  | 242.5                  | 38         | 281                    | 246                    | 35         | 35.667                      |
| 2000             | 279                    | 243                    | 36         | 281                    | 242                    | 39         | 281.5                  | 245.5                  | 36         | 37.000                      |

### III. D

| Q<br>(liter/jam) | D                      |                        |            |                        |                        |            |                        |                        |            | ΔH<br>Rata-rata<br>(mm) |
|------------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|-------------------------|
|                  | Percobaan 1            |                        |            | Percobaan 2            |                        |            | Percobaan 3            |                        |            |                         |
|                  | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) |                         |
| 1300             | 277                    | 249                    | 28         | 274                    | 245                    | 29         | 279                    | 249                    | 30         | 29.000                  |
| 1400             | 277.5                  | 248.5                  | 29         | 274                    | 245                    | 29         | 280                    | 248                    | 32         | 30.000                  |
| 1500             | 278.5                  | 247.5                  | 31         | 275                    | 244                    | 31         | 280.5                  | 247.5                  | 33         | 31.667                  |
| 1600             | 279.5                  | 246.5                  | 33         | 276                    | 243                    | 33         | 280.5                  | 247.5                  | 33         | 33.000                  |
| 1700             | 280                    | 246                    | 34         | 276.5                  | 242.5                  | 34         | 281.5                  | 246.5                  | 35         | 34.333                  |
| 1800             | 280.5                  | 245.5                  | 35         | 276.5                  | 242.5                  | 34         | 282.5                  | 245.5                  | 37         | 35.333                  |
| 1900             | 281.5                  | 244.5                  | 37         | 278                    | 241                    | 37         | 283.5                  | 244.5                  | 39         | 37.667                  |
| 2000             | 282.5                  | 243.5                  | 39         | 278.5                  | 240.5                  | 38         | 283.5                  | 244.5                  | 39         | 38.667                  |

### III. 2D

| Q<br>(liter/jam) | 2D                     |                        |            |                        |                        |            |                        |                        |            | ΔH<br>Rata-rata<br>(mm) |
|------------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|-------------------------|
|                  | Percobaan 1            |                        |            | Percobaan 2            |                        |            | Percobaan 3            |                        |            |                         |
|                  | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) |                         |
| 1300             | 274                    | 249                    | 25         | 271                    | 248                    | 23         | 275                    | 251                    | 24         | 24.000                  |
| 1400             | 274.5                  | 248.5                  | 26         | 272                    | 247                    | 25         | 276                    | 250                    | 26         | 25.667                  |
| 1500             | 274.5                  | 248.5                  | 26         | 273                    | 246                    | 27         | 276.5                  | 249.5                  | 27         | 26.667                  |
| 1600             | 275.5                  | 247.5                  | 28         | 273                    | 246                    | 27         | 278                    | 248                    | 30         | 28.333                  |
| 1700             | 276                    | 247                    | 29         | 273.5                  | 245.5                  | 28         | 278.5                  | 247.5                  | 31         | 29.333                  |
| 1800             | 277.5                  | 245.5                  | 32         | 274.5                  | 244.5                  | 30         | 278.5                  | 247.5                  | 31         | 31.000                  |
| 1900             | 278                    | 245                    | 33         | 276                    | 246                    | 30         | 279.5                  | 246.5                  | 33         | 32.000                  |
| 2000             | 279                    | 244                    | 35         | 277.5                  | 244.5                  | 33         | 280.5                  | 245.5                  | 35         | 34.333                  |

### III. 3D

| Q<br>(liter/jam) | 3D                     |                        |                    |                        |                        |                    |                        |                        |                    | $\Delta H$<br>Rata-rata<br>(mm) |
|------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|---------------------------------|
|                  | Percobaan 1            |                        |                    | Percobaan 2            |                        |                    | Percobaan 3            |                        |                    |                                 |
|                  | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) |                                 |
| 1300             | 277                    | 250                    | 27                 | 280                    | 251                    | 29                 | 280                    | 251                    | 29                 | 28.333                          |
| 1400             | 277.5                  | 249.5                  | 28                 | 281                    | 250                    | 31                 | 280                    | 251                    | 29                 | 29.333                          |
| 1500             | 279                    | 248                    | 31                 | 281                    | 250                    | 31                 | 280.5                  | 250.5                  | 30                 | 30.667                          |
| 1600             | 280                    | 247                    | 33                 | 282                    | 249                    | 33                 | 281.5                  | 249.5                  | 32                 | 32.667                          |
| 1700             | 280.5                  | 246.5                  | 34                 | 283                    | 248                    | 35                 | 282.5                  | 248.5                  | 34                 | 34.333                          |
| 1800             | 282                    | 245                    | 37                 | 283.5                  | 247.5                  | 36                 | 284                    | 247                    | 37                 | 36.667                          |
| 1900             | 282.5                  | 244.5                  | 38                 | 283.5                  | 247.5                  | 36                 | 284.5                  | 246.5                  | 38                 | 37.333                          |
| 2000             | 284                    | 243                    | 41                 | 285                    | 246                    | 39                 | 286                    | 245                    | 41                 | 40.333                          |



**2. Kerugian Head Total ( $\Sigma h$ ) Kondisi I:**

**Tanpa Tab type flow conditioner**

| Q<br>(liter/jam) | Q (m <sup>3</sup> /s) | V<br>(m/s) | Red       | Tanpa Tab type flow conditioner |                     |                 |                     |                     |                 |                     |                     |                 |                     |                     |                 | $\Delta P$ (Pa) | $\Delta H_{rata-rata}$ (m) | Head Total (m) |       |
|------------------|-----------------------|------------|-----------|---------------------------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------|-------|
|                  |                       |            |           | Percobaan 1                     |                     |                 |                     | Percobaan 2         |                 |                     |                     | Percobaan 3     |                     |                     |                 |                 |                            |                |       |
|                  |                       |            |           | H <sub>1</sub> (mm)             | H <sub>2</sub> (mm) | $\Delta H$ (mm) | H <sub>1</sub> (mm) | H <sub>2</sub> (mm) | $\Delta H$ (mm) | H <sub>1</sub> (mm) | H <sub>2</sub> (mm) | $\Delta H$ (mm) | H <sub>1</sub> (mm) | H <sub>2</sub> (mm) | $\Delta H$ (mm) |                 |                            |                |       |
| 1300             | 0.000361              | 0.178      | 10095.200 | 273                             | 248                 | 25              | 271.5               | 247.5               | 24              | 271.5               | 247.5               | 24              | 271.5               | 247.5               | 24              | 24.333          | 0.024                      | 2995.402       | 0.306 |
| 1400             | 0.000389              | 0.192      | 10871.760 | 273                             | 248                 | 25              | 272                 | 247                 | 25              | 271.5               | 247.5               | 24              | 271.5               | 247.5               | 24              | 24.667          | 0.025                      | 3036.517       | 0.310 |
| 1500             | 0.000417              | 0.206      | 11648.320 | 273.5                           | 247.5               | 26              | 273                 | 246                 | 27              | 272.5               | 246.5               | 26              | 272.5               | 246.5               | 26              | 26.333          | 0.026                      | 3241.603       | 0.331 |
| 1600             | 0.000444              | 0.219      | 12424.852 | 274.5                           | 246.5               | 28              | 273                 | 246                 | 27              | 273.5               | 245.5               | 28              | 273.5               | 245.5               | 28              | 27.667          | 0.028                      | 3405.819       | 0.348 |
| 1700             | 0.000472              | 0.233      | 13201.413 | 274.5                           | 246.5               | 28              | 273.5               | 245.5               | 28              | 274                 | 245                 | 29              | 274.5               | 245.5               | 29              | 28.333          | 0.028                      | 3487.803       | 0.356 |
| 1800             | 0.000500              | 0.247      | 13977.973 | 275                             | 246                 | 29              | 274.5               | 244.5               | 30              | 275.5               | 243.5               | 32              | 275.5               | 243.5               | 32              | 30.333          | 0.030                      | 3734.004       | 0.382 |
| 1900             | 0.000528              | 0.261      | 14754.533 | 276                             | 245                 | 31              | 275                 | 244                 | 31              | 276                 | 243                 | 33              | 276                 | 243                 | 33              | 31.667          | 0.032                      | 3898.220       | 0.398 |
| 2000             | 0.000556              | 0.274      | 15531.093 | 276.5                           | 244.5               | 32              | 276                 | 243                 | 33              | 276.5               | 242.5               | 34              | 276.5               | 242.5               | 34              | 33.000          | 0.033                      | 4062.313       | 0.415 |

**I. 0D**

| Q<br>(liter/jam) | Q (m <sup>3</sup> /s) | V<br>(m/s) | Red       | 0D                  |                     |                 |                     |                     |                 |                     |                     |                 |                     |                     |                 | $\Delta P$ (Pa) | $\Delta H_{rata-rata}$ (m) | Head Total (m) |       |
|------------------|-----------------------|------------|-----------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------|-------|
|                  |                       |            |           | Percobaan 1         |                     |                 |                     | Percobaan 2         |                 |                     |                     | Percobaan 3     |                     |                     |                 |                 |                            |                |       |
|                  |                       |            |           | H <sub>1</sub> (mm) | H <sub>2</sub> (mm) | $\Delta H$ (mm) | H <sub>1</sub> (mm) | H <sub>2</sub> (mm) | $\Delta H$ (mm) | H <sub>1</sub> (mm) | H <sub>2</sub> (mm) | $\Delta H$ (mm) | H <sub>1</sub> (mm) | H <sub>2</sub> (mm) | $\Delta H$ (mm) |                 |                            |                |       |
| 1300             | 0.000361              | 0.178      | 10095.200 | 271                 | 249                 | 22              | 271                 | 249                 | 22              | 271.5               | 248.5               | 23              | 271.5               | 248.5               | 23              | 22.333          | 0.022                      | 2749.201       | 0.281 |
| 1400             | 0.000389              | 0.192      | 10871.760 | 271.5               | 248.5               | 23              | 271.5               | 248.5               | 23              | 271.5               | 248.5               | 23              | 271.5               | 248.5               | 23              | 23.000          | 0.023                      | 2831.309       | 0.289 |
| 1500             | 0.000417              | 0.206      | 11648.320 | 272.5               | 247.5               | 25              | 272                 | 248                 | 24              | 272.5               | 247.5               | 25              | 272.5               | 247.5               | 25              | 24.667          | 0.025                      | 3036.517       | 0.310 |
| 1600             | 0.000444              | 0.219      | 12424.852 | 272.5               | 247.5               | 25              | 273                 | 247                 | 26              | 274                 | 246                 | 28              | 274                 | 246                 | 28              | 26.333          | 0.026                      | 3241.603       | 0.331 |
| 1700             | 0.000472              | 0.233      | 13201.413 | 274                 | 246                 | 28              | 273                 | 247                 | 26              | 274.5               | 245.5               | 29              | 274.5               | 245.5               | 29              | 27.667          | 0.028                      | 3405.819       | 0.348 |
| 1800             | 0.000500              | 0.247      | 13977.973 | 274.5               | 245.5               | 29              | 273.5               | 246.5               | 27              | 275.5               | 244.5               | 31              | 275.5               | 244.5               | 31              | 29.000          | 0.029                      | 3569.911       | 0.365 |
| 1900             | 0.000528              | 0.261      | 14754.533 | 275.5               | 244.5               | 31              | 274.5               | 245.5               | 29              | 276.5               | 243.5               | 33              | 276.5               | 243.5               | 33              | 31.000          | 0.031                      | 3816.112       | 0.390 |
| 2000             | 0.000556              | 0.274      | 15531.093 | 276                 | 244                 | 32              | 276                 | 244                 | 32              | 276.5               | 243.5               | 33              | 276.5               | 243.5               | 33              | 32.333          | 0.032                      | 3980.205       | 0.407 |

I. D

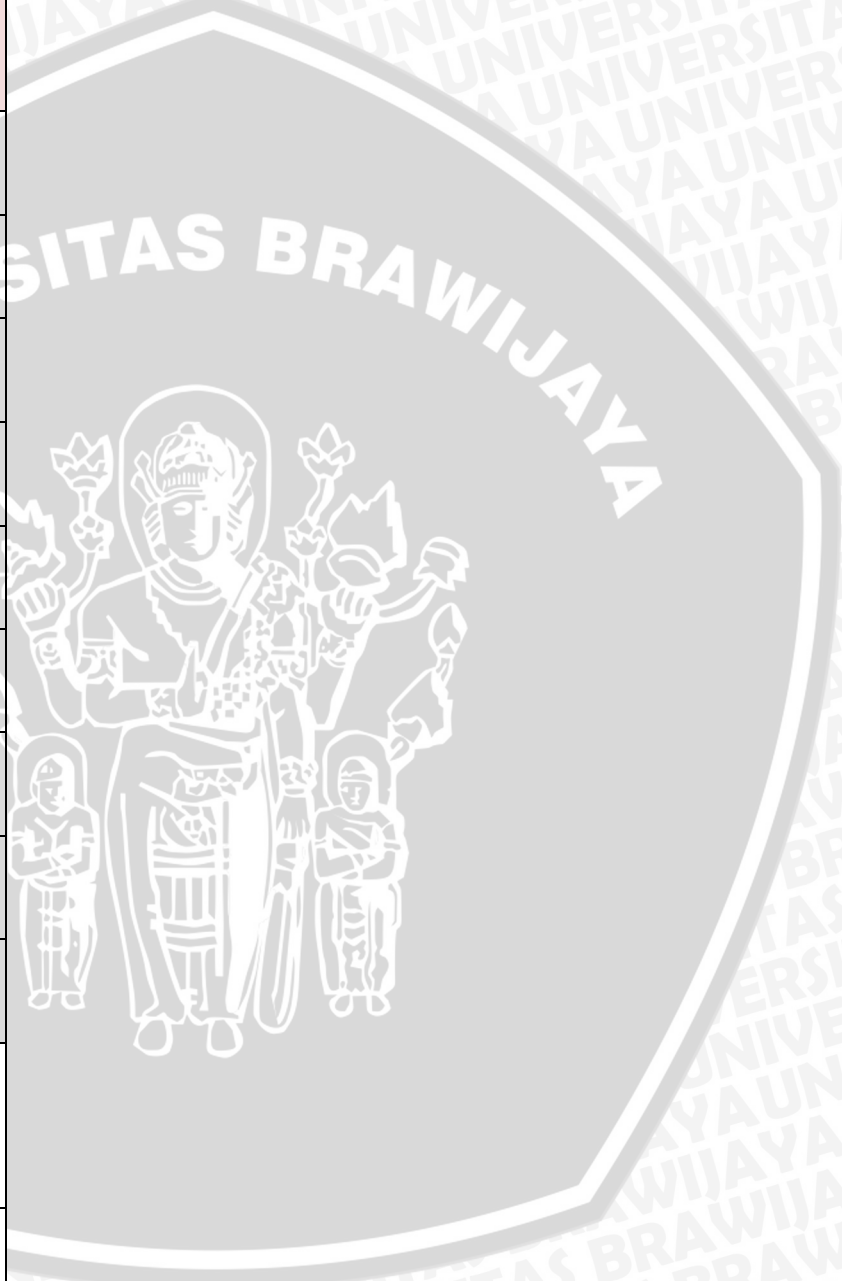
| Q<br>(liter/jam) | Q (m <sup>3</sup> /s) | V<br>(m/s) | Red       | D                      |                        |                    |                        |                        |                    |                        |                        |                    |                        |                        |                    | $\Delta H_{rata-rata}$<br>(mm) | $\Delta H_{rata-rata}$<br>(m) | $\Delta P$ (Pa) | Head<br>Total<br>(m) |
|------------------|-----------------------|------------|-----------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------------|
|                  |                       |            |           | Percobaan 1            |                        |                    |                        | Percobaan 2            |                    |                        |                        | Percobaan 3        |                        |                        |                    |                                |                               |                 |                      |
|                  |                       |            |           | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) |                                |                               |                 |                      |
| 1300             | 0.000361              | 0.178      | 10095.200 | 269                    | 246                    | 23                 | 271                    | 249                    | 22                 | 270                    | 247                    | 23                 | 22.667                 | 0.023                  | 2790.317           | 0.285                          |                               |                 |                      |
| 1400             | 0.000389              | 0.192      | 10871.760 | 269                    | 246                    | 23                 | 272                    | 248                    | 24                 | 270.5                  | 246.5                  | 24                 | 23.667                 | 0.024                  | 2913.417           | 0.298                          |                               |                 |                      |
| 1500             | 0.000417              | 0.206      | 11648.320 | 269.5                  | 245.5                  | 24                 | 272.5                  | 247.5                  | 25                 | 271.5                  | 245.5                  | 26                 | 25.000                 | 0.025                  | 3077.510           | 0.314                          |                               |                 |                      |
| 1600             | 0.000444              | 0.219      | 12424.852 | 270                    | 245                    | 25                 | 273.5                  | 246.5                  | 27                 | 272.5                  | 244.5                  | 28                 | 26.667                 | 0.027                  | 3282.718           | 0.335                          |                               |                 |                      |
| 1700             | 0.000472              | 0.233      | 13201.413 | 271                    | 244                    | 27                 | 274                    | 246                    | 28                 | 273                    | 244                    | 29                 | 28.000                 | 0.028                  | 3446.811           | 0.352                          |                               |                 |                      |
| 1800             | 0.000500              | 0.247      | 13977.973 | 272                    | 243                    | 29                 | 275                    | 245                    | 30                 | 274                    | 243                    | 31                 | 30.000                 | 0.030                  | 3693.012           | 0.377                          |                               |                 |                      |
| 1900             | 0.000528              | 0.261      | 14754.533 | 273                    | 242                    | 31                 | 276                    | 244                    | 32                 | 274                    | 243                    | 31                 | 31.333                 | 0.031                  | 3857.105           | 0.394                          |                               |                 |                      |
| 2000             | 0.000556              | 0.274      | 15531.093 | 273                    | 242                    | 31                 | 276                    | 244                    | 32                 | 275                    | 242                    | 33                 | 32.000                 | 0.032                  | 3939.213           | 0.403                          |                               |                 |                      |

I. 2D

| Q<br>(liter/jam) | Q (m <sup>3</sup> /s) | V<br>(m/s) | Red       | 2D                     |                        |                    |                        |                        |                    |                        |                        |                    |                        |                        |                    | $\Delta H_{rata-rata}$<br>(mm) | $\Delta H_{rata-rata}$<br>(m) | $\Delta P$ (Pa) | Head<br>Total<br>(m) |
|------------------|-----------------------|------------|-----------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------------|
|                  |                       |            |           | Percobaan 1            |                        |                    |                        | Percobaan 2            |                    |                        |                        | Percobaan 3        |                        |                        |                    |                                |                               |                 |                      |
|                  |                       |            |           | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) |                                |                               |                 |                      |
| 1300             | 0.000361              | 0.178      | 10095.200 | 268                    | 247                    | 21                 | 268                    | 247                    | 21                 | 268.5                  | 246.5                  | 22                 | 21.333                 | 0.021                  | 2626.101           | 0.268                          |                               |                 |                      |
| 1400             | 0.000389              | 0.192      | 10871.760 | 268                    | 247                    | 21                 | 269                    | 246                    | 23                 | 269.5                  | 245.5                  | 24                 | 22.667                 | 0.023                  | 2790.317           | 0.285                          |                               |                 |                      |
| 1500             | 0.000417              | 0.206      | 11648.320 | 268.5                  | 246.5                  | 22                 | 269                    | 246                    | 23                 | 270.5                  | 244.5                  | 26                 | 23.667                 | 0.024                  | 2913.417           | 0.298                          |                               |                 |                      |
| 1600             | 0.000444              | 0.219      | 12424.852 | 270                    | 245                    | 25                 | 269.5                  | 245.5                  | 24                 | 271                    | 244                    | 27                 | 25.333                 | 0.025                  | 3118.502           | 0.319                          |                               |                 |                      |
| 1700             | 0.000472              | 0.233      | 13201.413 | 271                    | 244                    | 27                 | 271                    | 244                    | 27                 | 272                    | 243                    | 29                 | 27.667                 | 0.028                  | 3405.819           | 0.348                          |                               |                 |                      |
| 1800             | 0.000500              | 0.247      | 13977.973 | 271                    | 244                    | 27                 | 271.5                  | 243.5                  | 28                 | 273.5                  | 241.5                  | 32                 | 29.000                 | 0.029                  | 3569.911           | 0.365                          |                               |                 |                      |
| 1900             | 0.000528              | 0.261      | 14754.533 | 272                    | 243                    | 29                 | 273                    | 242                    | 31                 | 274                    | 241                    | 33                 | 31.000                 | 0.031                  | 3816.112           | 0.390                          |                               |                 |                      |
| 2000             | 0.000556              | 0.274      | 15531.093 | 273                    | 242                    | 31                 | 273.5                  | 241.5                  | 32                 | 274                    | 241                    | 33                 | 32.000                 | 0.032                  | 3939.213           | 0.403                          |                               |                 |                      |

I.3D

| Q<br>(liter/jam) | Q (m <sup>3</sup> /s) | V<br>(m/s) | Red       | 3D                     |                        |            |                        |                        |            |                        |                        |             |                        |                        |            | ΔH <sub>rata-rata</sub><br>(mm) | ΔH <sub>rata-rata</sub><br>(m) | ΔP (Pa) | Head<br>Total<br>(m) |
|------------------|-----------------------|------------|-----------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|-------------|------------------------|------------------------|------------|---------------------------------|--------------------------------|---------|----------------------|
|                  |                       |            |           | Percobaan 1            |                        |            |                        | Percobaan 2            |            |                        |                        | Percobaan 3 |                        |                        |            |                                 |                                |         |                      |
|                  |                       |            |           | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm)  | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) |                                 |                                |         |                      |
| 1300             | 0.000361              | 0.178      | 10095.200 | 270                    | 248                    | 22         | 272                    | 249                    | 23         | 271                    | 250                    | 21          | 22.000                 | 0.022                  | 2708.209   | 0.277                           |                                |         |                      |
| 1400             | 0.000389              | 0.192      | 10871.760 | 271                    | 247                    | 24         | 272                    | 249                    | 23         | 272                    | 249                    | 23          | 23.333                 | 0.023                  | 2872.301   | 0.294                           |                                |         |                      |
| 1500             | 0.000417              | 0.206      | 11648.320 | 271.5                  | 246.5                  | 25         | 272.5                  | 248.5                  | 24         | 273                    | 248                    | 25          | 24.667                 | 0.025                  | 3036.517   | 0.310                           |                                |         |                      |
| 1600             | 0.000444              | 0.219      | 12424.852 | 272.5                  | 245.5                  | 27         | 273.5                  | 247.5                  | 26         | 273                    | 248                    | 25          | 26.000                 | 0.026                  | 3200.610   | 0.327                           |                                |         |                      |
| 1700             | 0.000472              | 0.233      | 13201.413 | 273                    | 245                    | 28         | 274.5                  | 246.5                  | 28         | 274                    | 247                    | 27          | 27.667                 | 0.028                  | 3405.819   | 0.348                           |                                |         |                      |
| 1800             | 0.000500              | 0.247      | 13977.973 | 274                    | 244                    | 30         | 275                    | 246                    | 29         | 274.5                  | 246.5                  | 28          | 29.000                 | 0.029                  | 3569.911   | 0.365                           |                                |         |                      |
| 1900             | 0.000528              | 0.261      | 14754.533 | 275.5                  | 242.5                  | 33         | 276.5                  | 244.5                  | 32         | 276                    | 245                    | 31          | 32.000                 | 0.032                  | 3939.213   | 0.403                           |                                |         |                      |
| 2000             | 0.000556              | 0.274      | 15531.093 | 276.5                  | 241.5                  | 35         | 278                    | 243                    | 35         | 277                    | 244                    | 33          | 34.333                 | 0.034                  | 4226.406   | 0.432                           |                                |         |                      |



**Kerugian Head Total ( $\Sigma h$ ) Kondisi II:**

**II. Tanpa Tab type flow conditioner**

| Q<br>(liter/jam) | Q (m <sup>3</sup> /s) | V<br>(m/s) | Red       | Tanpa Tab type flow conditioner |                     |                 |                     |                     |                 |                     |                     |                 |                     |                     |                 | $\Delta P$ (Pa) | $\Delta H_{rata-rata}$ (m) | Head Total (m) |
|------------------|-----------------------|------------|-----------|---------------------------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------|
|                  |                       |            |           | Percobaan 1                     |                     |                 |                     | Percobaan 2         |                 |                     |                     | Percobaan 3     |                     |                     |                 |                 |                            |                |
|                  |                       |            |           | H <sub>1</sub> (mm)             | H <sub>2</sub> (mm) | $\Delta H$ (mm) | H <sub>1</sub> (mm) | H <sub>2</sub> (mm) | $\Delta H$ (mm) | H <sub>1</sub> (mm) | H <sub>2</sub> (mm) | $\Delta H$ (mm) | H <sub>1</sub> (mm) | H <sub>2</sub> (mm) | $\Delta H$ (mm) |                 |                            |                |
| 1300             | 0.000361              | 0.178      | 10095.200 | 275                             | 236                 | 39              | 275                 | 236                 | 39              | 277                 | 237                 | 40              | 39.333              | 0.039               | 4841.908        | 0.495           |                            |                |
| 1400             | 0.000389              | 0.192      | 10871.760 | 275                             | 236                 | 39              | 275.5               | 235.5               | 40              | 277                 | 237                 | 40              | 39.667              | 0.040               | 4883.023        | 0.499           |                            |                |
| 1500             | 0.000417              | 0.206      | 11648.320 | 275.5                           | 235.5               | 40              | 276.5               | 234.5               | 42              | 278.5               | 235.5               | 43              | 41.667              | 0.042               | 5129.224        | 0.524           |                            |                |
| 1600             | 0.000444              | 0.219      | 12424.852 | 276                             | 235                 | 41              | 277.5               | 233.5               | 44              | 278.5               | 235.5               | 43              | 42.667              | 0.043               | 5252.324        | 0.537           |                            |                |
| 1700             | 0.000472              | 0.233      | 13201.413 | 276.5                           | 234.5               | 42              | 277.5               | 233.5               | 44              | 279                 | 235                 | 44              | 43.333              | 0.043               | 5334.309        | 0.545           |                            |                |
| 1800             | 0.000500              | 0.247      | 13977.973 | 277.5                           | 233.5               | 44              | 278                 | 233                 | 45              | 280                 | 234                 | 46              | 45.000              | 0.045               | 5539.518        | 0.566           |                            |                |
| 1900             | 0.000528              | 0.261      | 14754.533 | 277.5                           | 233.5               | 44              | 278.5               | 232.5               | 46              | 280.5               | 233.5               | 47              | 45.667              | 0.046               | 5621.626        | 0.574           |                            |                |
| 2000             | 0.000556              | 0.274      | 15531.093 | 279                             | 232                 | 47              | 279.5               | 231.5               | 48              | 281.5               | 232.5               | 49              | 48.000              | 0.048               | 5908.819        | 0.604           |                            |                |

**II. 0D**

| Q<br>(liter/jam) | Q (m <sup>3</sup> /s) | V<br>(m/s) | Red       | 0D                  |                     |                 |                     |                     |                 |                     |                     |                 |                     |                     |                 | $\Delta P$ (Pa) | $\Delta H_{rata-rata}$ (m) | Head Total (m) |
|------------------|-----------------------|------------|-----------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------|
|                  |                       |            |           | Percobaan 1         |                     |                 |                     | Percobaan 2         |                 |                     |                     | Percobaan 3     |                     |                     |                 |                 |                            |                |
|                  |                       |            |           | H <sub>1</sub> (mm) | H <sub>2</sub> (mm) | $\Delta H$ (mm) | H <sub>1</sub> (mm) | H <sub>2</sub> (mm) | $\Delta H$ (mm) | H <sub>1</sub> (mm) | H <sub>2</sub> (mm) | $\Delta H$ (mm) | H <sub>1</sub> (mm) | H <sub>2</sub> (mm) | $\Delta H$ (mm) |                 |                            |                |
| 1300             | 0.000361              | 0.178      | 10095.200 | 278                 | 227                 | 51              | 276                 | 224                 | 52              | 277                 | 227                 | 50              | 51.000              | 0.051               | 6278.120        | 0.642           |                            |                |
| 1400             | 0.000389              | 0.192      | 10871.760 | 278.5               | 226.5               | 52              | 276                 | 224                 | 52              | 278                 | 226                 | 52              | 52.000              | 0.052               | 6401.220        | 0.654           |                            |                |
| 1500             | 0.000417              | 0.206      | 11648.320 | 278.5               | 226.5               | 52              | 276.5               | 223.5               | 53              | 278                 | 226                 | 52              | 52.333              | 0.052               | 6442.213        | 0.658           |                            |                |
| 1600             | 0.000444              | 0.219      | 12424.852 | 279.5               | 225.5               | 54              | 277                 | 223                 | 54              | 279                 | 225                 | 54              | 54.000              | 0.054               | 6647.421        | 0.679           |                            |                |
| 1700             | 0.000472              | 0.233      | 13201.413 | 280.5               | 224.5               | 56              | 277.5               | 222.5               | 55              | 280                 | 224                 | 56              | 55.667              | 0.056               | 6852.630        | 0.700           |                            |                |
| 1800             | 0.000500              | 0.247      | 13977.973 | 281                 | 224                 | 57              | 278.5               | 221.5               | 57              | 280.5               | 223.5               | 57              | 57.000              | 0.057               | 7016.722        | 0.717           |                            |                |
| 1900             | 0.000528              | 0.261      | 14754.533 | 282.5               | 222.5               | 60              | 279.5               | 220.5               | 59              | 281.5               | 222.5               | 59              | 59.333              | 0.059               | 7303.916        | 0.746           |                            |                |
| 2000             | 0.000556              | 0.274      | 15531.093 | 283                 | 222                 | 61              | 281                 | 219                 | 62              | 282                 | 222                 | 60              | 61.000              | 0.061               | 7509.124        | 0.767           |                            |                |

II. D

| Q<br>(liter/jam) | Q (m <sup>3</sup> /s) | V<br>(m/s) | Red       | D                      |                        |            |       |                        |                        |            |       |                        |                        |            |     | ΔH <sub>rata-rata</sub><br>(mm) | ΔH <sub>rata-rata</sub><br>(m) | ΔP (Pa)  | Head<br>Total<br>(m) |
|------------------|-----------------------|------------|-----------|------------------------|------------------------|------------|-------|------------------------|------------------------|------------|-------|------------------------|------------------------|------------|-----|---------------------------------|--------------------------------|----------|----------------------|
|                  |                       |            |           | Percobaan 1            |                        |            |       | Percobaan 2            |                        |            |       | Percobaan 3            |                        |            |     |                                 |                                |          |                      |
|                  |                       |            |           | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | Red   | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | Red   | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | Red |                                 |                                |          |                      |
| 1300             | 0.000361              | 0.178      | 10095.200 | 275.5                  | 222.5                  | 53         | 275.5 | 222.5                  | 53                     | 277        | 223   | 54                     | 277                    | 223        | 54  | 53.333                          | 0.053                          | 6565.313 | 0.671                |
| 1400             | 0.000389              | 0.192      | 10871.760 | 276.5                  | 221.5                  | 55         | 276   | 222                    | 54                     | 277        | 223   | 54                     | 277                    | 223        | 54  | 54.333                          | 0.054                          | 6688.414 | 0.683                |
| 1500             | 0.000417              | 0.206      | 11648.320 | 276.5                  | 221.5                  | 55         | 277   | 221                    | 56                     | 278        | 222   | 56                     | 278                    | 222        | 56  | 55.667                          | 0.056                          | 6852.630 | 0.700                |
| 1600             | 0.000444              | 0.219      | 12424.852 | 277                    | 221                    | 56         | 278   | 220                    | 58                     | 278.5      | 221.5 | 57                     | 278.5                  | 221.5      | 57  | 57.000                          | 0.057                          | 7016.722 | 0.717                |
| 1700             | 0.000472              | 0.233      | 13201.413 | 277.5                  | 220.5                  | 57         | 278.5 | 219.5                  | 59                     | 279.5      | 220.5 | 59                     | 279.5                  | 220.5      | 59  | 58.333                          | 0.058                          | 7180.815 | 0.734                |
| 1800             | 0.000500              | 0.247      | 13977.973 | 279                    | 219                    | 60         | 279.5 | 218.5                  | 61                     | 281        | 219   | 62                     | 281                    | 219        | 62  | 61.000                          | 0.061                          | 7509.124 | 0.767                |
| 1900             | 0.000528              | 0.261      | 14754.533 | 280                    | 218                    | 62         | 280   | 218                    | 62                     | 282        | 218   | 64                     | 282                    | 218        | 64  | 62.667                          | 0.063                          | 7714.332 | 0.788                |
| 2000             | 0.000556              | 0.274      | 15531.093 | 280.5                  | 217.5                  | 63         | 281   | 217                    | 64                     | 282.5      | 217.5 | 65                     | 282.5                  | 217.5      | 65  | 64.000                          | 0.064                          | 7878.425 | 0.805                |

II. 2D

| Q<br>(liter/jam) | Q (m <sup>3</sup> /s) | V<br>(m/s) | Red       | 2D                     |                        |            |       |                        |                        |            |       |                        |                        |            |     | ΔH <sub>rata-rata</sub><br>(mm) | ΔH <sub>rata-rata</sub><br>(m) | ΔP (Pa)  | Head<br>Total<br>(m) |
|------------------|-----------------------|------------|-----------|------------------------|------------------------|------------|-------|------------------------|------------------------|------------|-------|------------------------|------------------------|------------|-----|---------------------------------|--------------------------------|----------|----------------------|
|                  |                       |            |           | Percobaan 1            |                        |            |       | Percobaan 2            |                        |            |       | Percobaan 3            |                        |            |     |                                 |                                |          |                      |
|                  |                       |            |           | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | Red   | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | Red   | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | Red |                                 |                                |          |                      |
| 1300             | 0.000361              | 0.178      | 10095.200 | 273.5                  | 221.5                  | 52         | 272   | 221                    | 51                     | 273        | 221   | 52                     | 273                    | 221        | 52  | 51.667                          | 0.052                          | 6360.228 | 0.650                |
| 1400             | 0.000389              | 0.192      | 10871.760 | 274                    | 221                    | 53         | 272.5 | 220.5                  | 52                     | 274.5      | 219.5 | 55                     | 274.5                  | 219.5      | 55  | 53.333                          | 0.053                          | 6565.313 | 0.671                |
| 1500             | 0.000417              | 0.206      | 11648.320 | 275.5                  | 219.5                  | 56         | 274   | 219                    | 55                     | 274.5      | 219.5 | 55                     | 274.5                  | 219.5      | 55  | 55.333                          | 0.055                          | 6811.514 | 0.696                |
| 1600             | 0.000444              | 0.219      | 12424.852 | 276                    | 219                    | 57         | 274   | 219                    | 55                     | 275        | 219   | 56                     | 275                    | 219        | 56  | 56.000                          | 0.056                          | 6893.622 | 0.704                |
| 1700             | 0.000472              | 0.233      | 13201.413 | 276.5                  | 218.5                  | 58         | 275   | 218                    | 57                     | 276        | 218   | 58                     | 276                    | 218        | 58  | 57.667                          | 0.058                          | 7098.830 | 0.725                |
| 1800             | 0.000500              | 0.247      | 13977.973 | 277.5                  | 217.5                  | 60         | 276   | 217                    | 59                     | 276.5      | 217.5 | 59                     | 276.5                  | 217.5      | 59  | 59.333                          | 0.059                          | 7303.916 | 0.746                |
| 1900             | 0.000528              | 0.261      | 14754.533 | 278.5                  | 216.5                  | 62         | 277.5 | 215.5                  | 62                     | 278        | 216   | 62                     | 278                    | 216        | 62  | 62.000                          | 0.062                          | 7632.224 | 0.780                |
| 2000             | 0.000556              | 0.274      | 15531.093 | 279.5                  | 215.5                  | 64         | 279   | 214                    | 65                     | 279        | 215   | 64                     | 279                    | 215        | 64  | 64.333                          | 0.064                          | 7919.418 | 0.809                |



II. 3D

| Q<br>(liter/jam) | Q (m <sup>3</sup> /s) | V<br>(m/s) | Red       | 3D                     |                        |            |                        |                        |            |                        |                        |             |                        |                        |            | ΔH <sub>rata-rata</sub><br>(mm) | ΔH <sub>rata-rata</sub><br>(m) | ΔP (Pa)  | Head<br>Total<br>(m) |
|------------------|-----------------------|------------|-----------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|-------------|------------------------|------------------------|------------|---------------------------------|--------------------------------|----------|----------------------|
|                  |                       |            |           | Percobaan 1            |                        |            |                        | Percobaan 2            |            |                        |                        | Percobaan 3 |                        |                        |            |                                 |                                |          |                      |
|                  |                       |            |           | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm)  | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) |                                 |                                |          |                      |
| 1300             | 0.000361              | 0.178      | 10095.200 | 278                    | 224                    | 54         | 276                    | 224                    | 52         | 278                    | 224                    | 54          | 278                    | 224                    | 54         | 53.333                          | 0.053                          | 6565.313 | 0.671                |
| 1400             | 0.000389              | 0.192      | 10871.760 | 278                    | 224                    | 54         | 277                    | 223                    | 54         | 279                    | 223                    | 56          | 279                    | 223                    | 56         | 54.667                          | 0.055                          | 6729.529 | 0.688                |
| 1500             | 0.000417              | 0.206      | 11648.320 | 279                    | 223                    | 56         | 277.5                  | 222.5                  | 55         | 279                    | 223                    | 56          | 279                    | 223                    | 56         | 55.667                          | 0.056                          | 6852.630 | 0.700                |
| 1600             | 0.000444              | 0.219      | 12424.852 | 280                    | 222                    | 58         | 279                    | 221                    | 58         | 280                    | 222                    | 58          | 280                    | 222                    | 58         | 58.000                          | 0.058                          | 7139.823 | 0.730                |
| 1700             | 0.000472              | 0.233      | 13201.413 | 281                    | 221                    | 60         | 279                    | 221                    | 58         | 281.5                  | 220.5                  | 61          | 281.5                  | 220.5                  | 61         | 59.667                          | 0.060                          | 7345.031 | 0.751                |
| 1800             | 0.000500              | 0.247      | 13977.973 | 282                    | 220                    | 62         | 279.5                  | 220.5                  | 59         | 282                    | 220                    | 62          | 282                    | 220                    | 62         | 61.000                          | 0.061                          | 7509.124 | 0.767                |
| 1900             | 0.000528              | 0.261      | 14754.533 | 284                    | 218                    | 66         | 281                    | 219                    | 62         | 282.5                  | 219.5                  | 63          | 282.5                  | 219.5                  | 63         | 63.667                          | 0.064                          | 7837.433 | 0.801                |
| 2000             | 0.000556              | 0.274      | 15531.093 | 284.5                  | 217.5                  | 67         | 281.5                  | 218.5                  | 63         | 283.5                  | 218.5                  | 65          | 283.5                  | 218.5                  | 65         | 65.000                          | 0.065                          | 8001.526 | 0.818                |



**Kerugian Head Total ( $\Sigma h$ ) Kondisi III:**

**III. Tanpa Tab type flow conditioner**

| Q<br>(liter/jam) | Q (m <sup>3</sup> /s) | V<br>(m/s) | Red       | Tanpa Tab type flow conditioner |                        |                    |                        |                        |                    |                        |                        |                    |                        |                        |                    | $\Delta H_{rata-rata}$<br>(mm) | $\Delta H_{rata-rata}$<br>(m) | $\Delta P$ (Pa) | Head<br>Total<br>(m) |
|------------------|-----------------------|------------|-----------|---------------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------------|
|                  |                       |            |           | Percobaan 1                     |                        |                    |                        | Percobaan 2            |                    |                        |                        | Percobaan 3        |                        |                        |                    |                                |                               |                 |                      |
|                  |                       |            |           | H <sub>1</sub><br>(mm)          | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) |                                |                               |                 |                      |
| 1300             | 0.000361              | 0.178      | 10095.200 | 268                             | 251                    | 17                 | 271                    | 252                    | 19                 | 268                    | 251                    | 17                 | 268                    | 251                    | 17                 | 17.667                         | 0.018                         | 2174.815        | 0.222                |
| 1400             | 0.000389              | 0.192      | 10871.760 | 269                             | 250                    | 19                 | 272                    | 251                    | 21                 | 268                    | 251                    | 17                 | 268                    | 251                    | 17                 | 19.000                         | 0.019                         | 2338.907        | 0.239                |
| 1500             | 0.000417              | 0.206      | 11648.320 | 270                             | 249                    | 21                 | 272.5                  | 250.5                  | 22                 | 269                    | 250                    | 19                 | 269                    | 250                    | 19                 | 20.667                         | 0.021                         | 2544.116        | 0.260                |
| 1600             | 0.000444              | 0.219      | 12424.852 | 270.5                           | 248.5                  | 22                 | 273.5                  | 249.5                  | 24                 | 270.5                  | 248.5                  | 22                 | 270.5                  | 248.5                  | 22                 | 22.667                         | 0.023                         | 2790.317        | 0.285                |
| 1700             | 0.000472              | 0.233      | 13201.413 | 271                             | 248                    | 23                 | 273.5                  | 249.5                  | 24                 | 271.5                  | 247.5                  | 24                 | 271.5                  | 247.5                  | 24                 | 23.667                         | 0.024                         | 2913.417        | 0.298                |
| 1800             | 0.000500              | 0.247      | 13977.973 | 272.5                           | 246.5                  | 26                 | 274.5                  | 248.5                  | 26                 | 272.5                  | 246.5                  | 26                 | 272.5                  | 246.5                  | 26                 | 26.000                         | 0.026                         | 3200.610        | 0.327                |
| 1900             | 0.000528              | 0.261      | 14754.533 | 273.5                           | 245.5                  | 28                 | 276                    | 247                    | 29                 | 272.5                  | 246.5                  | 26                 | 272.5                  | 246.5                  | 26                 | 27.667                         | 0.028                         | 3405.819        | 0.348                |
| 2000             | 0.000556              | 0.274      | 15531.093 | 274.5                           | 244.5                  | 30                 | 277                    | 246                    | 31                 | 274                    | 245                    | 29                 | 274                    | 245                    | 29                 | 30.000                         | 0.030                         | 3693.012        | 0.377                |

**III. 0D**

| Q<br>(liter/jam) | Q (m <sup>3</sup> /s) | V<br>(m/s) | Red       | 0D                     |                        |                    |                        |                        |                    |                        |                        |                    |                        |                        |                    | $\Delta H_{rata-rata}$<br>(mm) | $\Delta H_{rata-rata}$<br>(m) | $\Delta P$ (Pa) | Head<br>Total<br>(m) |
|------------------|-----------------------|------------|-----------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------------|
|                  |                       |            |           | Percobaan 1            |                        |                    |                        | Percobaan 2            |                    |                        |                        | Percobaan 3        |                        |                        |                    |                                |                               |                 |                      |
|                  |                       |            |           | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) |                                |                               |                 |                      |
| 1300             | 0.000361              | 0.178      | 10095.200 | 275                    | 247                    | 28                 | 275                    | 247                    | 28                 | 277                    | 250                    | 27                 | 277                    | 250                    | 27                 | 27.667                         | 0.028                         | 3405.819        | 0.348                |
| 1400             | 0.000389              | 0.192      | 10871.760 | 275                    | 247                    | 28                 | 276                    | 246                    | 30                 | 277.5                  | 249.5                  | 28                 | 277.5                  | 249.5                  | 28                 | 28.667                         | 0.029                         | 3528.919        | 0.361                |
| 1500             | 0.000417              | 0.206      | 11648.320 | 275.5                  | 246.5                  | 29                 | 276.5                  | 245.5                  | 31                 | 278.5                  | 248.5                  | 30                 | 278.5                  | 248.5                  | 30                 | 30.000                         | 0.030                         | 3693.012        | 0.377                |
| 1600             | 0.000444              | 0.219      | 12424.852 | 276.5                  | 245.5                  | 31                 | 277.5                  | 245.5                  | 32                 | 279.5                  | 247.5                  | 32                 | 279.5                  | 247.5                  | 32                 | 31.667                         | 0.032                         | 3898.220        | 0.398                |
| 1700             | 0.000472              | 0.233      | 13201.413 | 277                    | 245                    | 32                 | 279                    | 244                    | 35                 | 279.5                  | 247.5                  | 32                 | 279.5                  | 247.5                  | 32                 | 33.000                         | 0.033                         | 4062.313        | 0.415                |
| 1800             | 0.000500              | 0.247      | 13977.973 | 277                    | 245                    | 32                 | 279.5                  | 243.5                  | 36                 | 281                    | 246                    | 35                 | 281                    | 246                    | 35                 | 34.333                         | 0.034                         | 4226.406        | 0.432                |
| 1900             | 0.000528              | 0.261      | 14754.533 | 278                    | 244                    | 34                 | 280.5                  | 242.5                  | 38                 | 281                    | 246                    | 35                 | 281                    | 246                    | 35                 | 35.667                         | 0.036                         | 4390.622        | 0.449                |
| 2000             | 0.000556              | 0.274      | 15531.093 | 279                    | 243                    | 36                 | 281                    | 242                    | 39                 | 281.5                  | 245.5                  | 36                 | 281.5                  | 245.5                  | 36                 | 37.000                         | 0.037                         | 4554.715        | 0.465                |

III. D

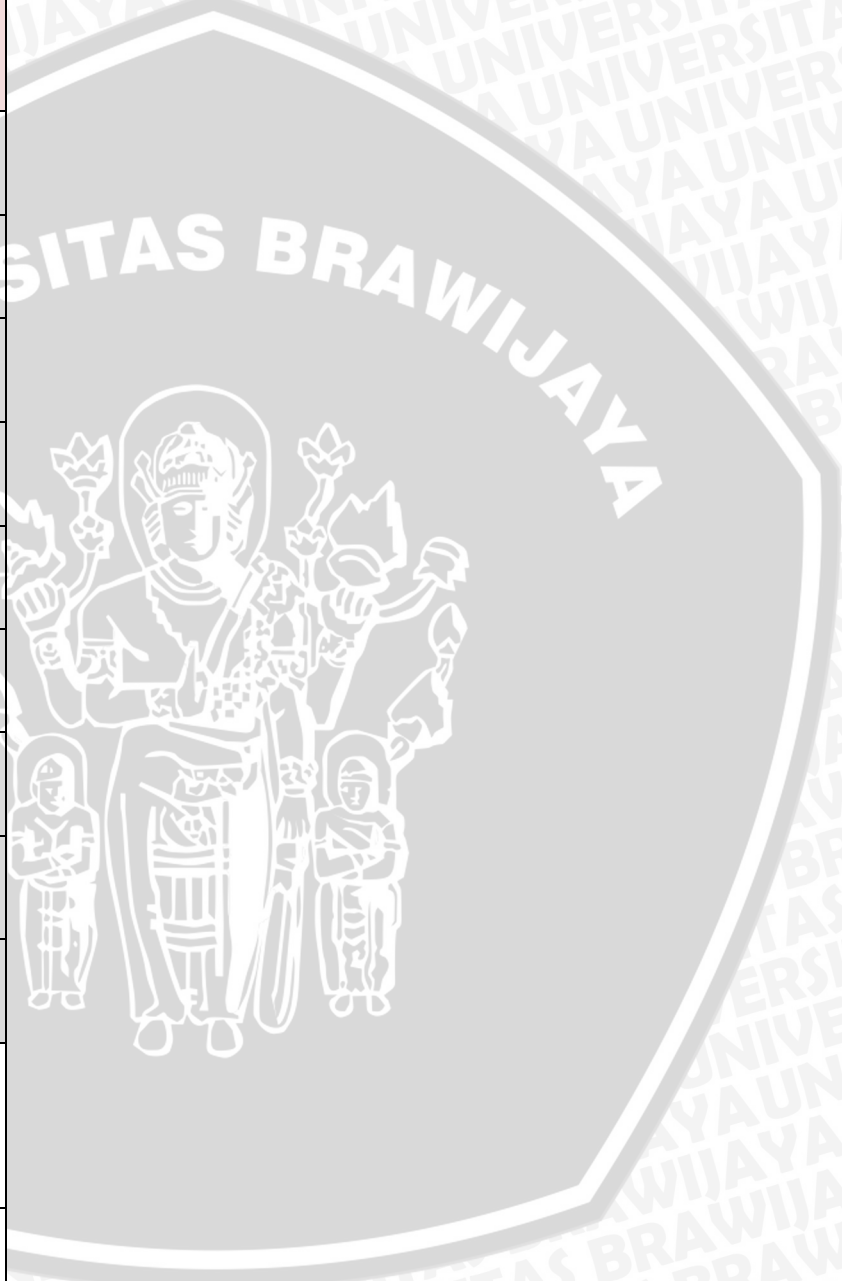
| Q<br>(liter/jam) | Q (m <sup>3</sup> /s) | V<br>(m/s) | Red       | D                      |                        |            |                        |                        |            |                        |                        |             |                        |                        |            | ΔH <sub>rata-rata</sub><br>(mm) | ΔH <sub>rata-rata</sub><br>(m) | ΔP (Pa)  | Head<br>Total<br>(m) |
|------------------|-----------------------|------------|-----------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|-------------|------------------------|------------------------|------------|---------------------------------|--------------------------------|----------|----------------------|
|                  |                       |            |           | Percobaan 1            |                        |            |                        | Percobaan 2            |            |                        |                        | Percobaan 3 |                        |                        |            |                                 |                                |          |                      |
|                  |                       |            |           | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm)  | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) |                                 |                                |          |                      |
| 1300             | 0.000361              | 0.178      | 10095.200 | 277                    | 249                    | 28         | 274                    | 245                    | 29         | 274                    | 245                    | 29          | 274                    | 249                    | 30         | 29.000                          | 0.029                          | 3569.911 | 0.365                |
| 1400             | 0.000389              | 0.192      | 10871.760 | 277.5                  | 248.5                  | 29         | 274                    | 245                    | 29         | 274                    | 245                    | 29          | 274                    | 248                    | 32         | 30.000                          | 0.030                          | 3693.012 | 0.377                |
| 1500             | 0.000417              | 0.206      | 11648.320 | 278.5                  | 247.5                  | 31         | 275                    | 244                    | 31         | 275                    | 244                    | 31          | 275                    | 247.5                  | 33         | 31.667                          | 0.032                          | 3898.220 | 0.398                |
| 1600             | 0.000444              | 0.219      | 12424.852 | 279.5                  | 246.5                  | 33         | 276                    | 243                    | 33         | 276                    | 243                    | 33          | 276                    | 247.5                  | 33         | 33.000                          | 0.033                          | 4062.313 | 0.415                |
| 1700             | 0.000472              | 0.233      | 13201.413 | 280                    | 246                    | 34         | 276.5                  | 242.5                  | 34         | 276.5                  | 242.5                  | 34          | 276.5                  | 246.5                  | 35         | 34.333                          | 0.034                          | 4226.406 | 0.432                |
| 1800             | 0.000500              | 0.247      | 13977.973 | 280.5                  | 245.5                  | 35         | 276.5                  | 242.5                  | 34         | 276.5                  | 242.5                  | 34          | 276.5                  | 245.5                  | 37         | 35.333                          | 0.035                          | 4349.506 | 0.444                |
| 1900             | 0.000528              | 0.261      | 14754.533 | 281.5                  | 244.5                  | 37         | 278                    | 241                    | 37         | 278                    | 241                    | 37          | 278                    | 244.5                  | 39         | 37.667                          | 0.038                          | 4636.822 | 0.474                |
| 2000             | 0.000556              | 0.274      | 15531.093 | 282.5                  | 243.5                  | 39         | 278.5                  | 240.5                  | 38         | 278.5                  | 240.5                  | 38          | 278.5                  | 244.5                  | 39         | 38.667                          | 0.039                          | 4759.923 | 0.486                |

III. 2D

| Q<br>(liter/jam) | Q (m <sup>3</sup> /s) | V<br>(m/s) | Red       | 2D                     |                        |            |                        |                        |            |                        |                        |             |                        |                        |            | ΔH <sub>rata-rata</sub><br>(mm) | ΔH <sub>rata-rata</sub><br>(m) | ΔP (Pa)  | Head<br>Total<br>(m) |
|------------------|-----------------------|------------|-----------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------------------|-------------|------------------------|------------------------|------------|---------------------------------|--------------------------------|----------|----------------------|
|                  |                       |            |           | Percobaan 1            |                        |            |                        | Percobaan 2            |            |                        |                        | Percobaan 3 |                        |                        |            |                                 |                                |          |                      |
|                  |                       |            |           | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm)  | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | ΔH<br>(mm) |                                 |                                |          |                      |
| 1300             | 0.000361              | 0.178      | 10095.200 | 274                    | 249                    | 25         | 271                    | 248                    | 23         | 271                    | 248                    | 23          | 271                    | 251                    | 24         | 24.000                          | 0.024                          | 2954.409 | 0.302                |
| 1400             | 0.000389              | 0.192      | 10871.760 | 274.5                  | 248.5                  | 26         | 272                    | 247                    | 25         | 272                    | 247                    | 25          | 272                    | 250                    | 26         | 25.667                          | 0.026                          | 3159.618 | 0.323                |
| 1500             | 0.000417              | 0.206      | 11648.320 | 274.5                  | 248.5                  | 26         | 273                    | 246                    | 27         | 273                    | 246                    | 27          | 273                    | 249.5                  | 27         | 26.667                          | 0.027                          | 3282.718 | 0.335                |
| 1600             | 0.000444              | 0.219      | 12424.852 | 275.5                  | 247.5                  | 28         | 273                    | 246                    | 27         | 273                    | 246                    | 27          | 273                    | 248                    | 30         | 28.333                          | 0.028                          | 3487.803 | 0.356                |
| 1700             | 0.000472              | 0.233      | 13201.413 | 276                    | 247                    | 29         | 273.5                  | 245.5                  | 28         | 273.5                  | 245.5                  | 28          | 273.5                  | 247.5                  | 31         | 29.333                          | 0.029                          | 3610.904 | 0.369                |
| 1800             | 0.000500              | 0.247      | 13977.973 | 277.5                  | 245.5                  | 32         | 274.5                  | 244.5                  | 30         | 274.5                  | 244.5                  | 30          | 274.5                  | 247.5                  | 31         | 31.000                          | 0.031                          | 3816.112 | 0.390                |
| 1900             | 0.000528              | 0.261      | 14754.533 | 278                    | 245                    | 33         | 276                    | 246                    | 30         | 276                    | 246                    | 30          | 276                    | 246.5                  | 33         | 32.000                          | 0.032                          | 3939.213 | 0.403                |
| 2000             | 0.000556              | 0.274      | 15531.093 | 279                    | 244                    | 35         | 277.5                  | 244.5                  | 33         | 277.5                  | 244.5                  | 33          | 277.5                  | 245.5                  | 35         | 34.333                          | 0.034                          | 4226.406 | 0.432                |

III. 3D

| Q<br>(liter/jam) | Q (m <sup>3</sup> /s) | V<br>(m/s) | Red       | 3D                     |                        |                    |                        |                        |                    | $\Delta H_{rata-rata}$<br>(mm) | $\Delta H_{rata-rata}$<br>(m) | $\Delta P$ (Pa) | Head<br>Total<br>(m) |                        |                        |                    |
|------------------|-----------------------|------------|-----------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|------------------------|--------------------|
|                  |                       |            |           | Percobaan 1            |                        |                    | Percobaan 2            |                        |                    |                                |                               |                 |                      | Percobaan 3            |                        |                    |
|                  |                       |            |           | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) |                                |                               |                 |                      | H <sub>1</sub><br>(mm) | H <sub>2</sub><br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) |
| 1300             | 0.000361              | 0.178      | 10095.200 | 277                    | 250                    | 27                 | 280                    | 251                    | 29                 | 280                            | 251                           | 29              | 28.333               | 0.028                  | 3487.803               | 0.356              |
| 1400             | 0.000389              | 0.192      | 10871.760 | 277.5                  | 249.5                  | 28                 | 281                    | 250                    | 31                 | 280                            | 251                           | 29              | 29.333               | 0.029                  | 3610.904               | 0.369              |
| 1500             | 0.000417              | 0.206      | 11648.320 | 279                    | 248                    | 31                 | 281                    | 250                    | 31                 | 280.5                          | 250.5                         | 30              | 30.667               | 0.031                  | 3775.120               | 0.386              |
| 1600             | 0.000444              | 0.219      | 12424.852 | 280                    | 247                    | 33                 | 282                    | 249                    | 33                 | 281.5                          | 249.5                         | 32              | 32.667               | 0.033                  | 4021.321               | 0.411              |
| 1700             | 0.000472              | 0.233      | 13201.413 | 280.5                  | 246.5                  | 34                 | 283                    | 248                    | 35                 | 282.5                          | 248.5                         | 34              | 34.333               | 0.034                  | 4226.406               | 0.432              |
| 1800             | 0.000500              | 0.247      | 13977.973 | 282                    | 245                    | 37                 | 283.5                  | 247.5                  | 36                 | 284                            | 247                           | 37              | 36.667               | 0.037                  | 4513.722               | 0.461              |
| 1900             | 0.000528              | 0.261      | 14754.533 | 282.5                  | 244.5                  | 38                 | 283.5                  | 247.5                  | 36                 | 284.5                          | 246.5                         | 38              | 37.333               | 0.037                  | 4595.707               | 0.470              |
| 2000             | 0.000556              | 0.274      | 15531.093 | 284                    | 243                    | 41                 | 285                    | 246                    | 39                 | 286                            | 245                           | 41              | 40.333               | 0.040                  | 4965.008               | 0.507              |





Lampiran C. Tab type flow conditioner dan 90° long radius elbow (Belokan Pipa 90°)





