

Penurunan Kerugian *Head* pada Belokan Pipa dengan Peletakan *Tube Bundle*

Pratikto dan Slamet Wahyudi

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang

E-mail: pratiktoprawoto@yahoo.com

ABSTRAK

Aliran Fluida yang mengalir melalui belokan pipa menyebabkan terjadinya separasi. Separasi mengakibatkan terjadinya *vortex*, getaran, dan kavitasi, dimana kerugian tersebut mengakibatkan kerugian *head* meningkat dan berpotensi merusak instalasi pipa sehingga separasi perlu dihilangkan. Separasi ini ditandai dengan penurunan tekanan yang besar pada bagian hilir belokan pipa. Untuk memperkecil penurunan tekanan pada belokan pipa diperlukan suatu alat pengkondisi aliran (*flow conditioner*) berupa *tube bundle* (gabungan pipa). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh peletakan *tube bundle* tersebut terhadap kerugian *head* yang berupa penurunan tekanan. Belokan pipa yang diuji dipasang pada instalasi pipa yang telah dilengkapi alat bantu pengujian seperti komputer dengan *software*-nya, *pressure transmitter*, dan *rotameter*. Variabel bebas pada penelitian ini adalah jarak peletakan *tube bundle* dari sisi keluaran belokan pipa 2D, 3D, 4D dan 5D serta debit aliran fluida yang melewati instalasi yaitu 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900 dan 2000 liter/jam. Sedangkan variabel terikatnya adalah beda tekanan (Δp) diukur dengan *pressure transmitter* dan kerugian *head* yang nilainya diperoleh dari perhitungan beda tekanan tersebut. Pengujian dilakukan pada belokan pipa berdiameter 1,25 inci dengan jumlah lubang *tube bundle* 22 dan panjang 27 mm. Untuk mengetahui kerugian *head* yang terjadi, maka beda tekanan (Δp) fluida antara bagian hulu dan hilir belokan pipa diukur dengan menggunakan 2 buah *pressure transmitter* yang dihubungkan dengan komputer melalui ADC (*Analog Digital Converter*). Data yang telah terekam pada komputer diolah dengan bantuan *LabView software* sehingga diperoleh nilai rata-rata dari beda tekanan yang terjadi.

Kata kunci: Kerugian *head*, *tube bundle*, belokan pipa.

ABSTRACT

Fluid flow flowing through an elbow causes separation. Separation leads to vortex, shake and cavity. As a result, the head loss will increase and the pipe installation is potentially damaged. Thus, separation must be eliminated. The separation is identified by the presence of high pressure decreasing in the downstream of elbow. To minimize the pressure decreasing in elbow, we need flow conditioner like a tube bundle. The aim of this research is to identify the influence of tube bundle placement toward the head loss such as pressure drop. The elbow being tested is placed on a pipe installation already equipped by testing aids such as computers and its software, pressure transmitter, and rotameter. The free variable in this study is the distance of the tube bundle from the outlet edge of the pipe turn 2D, 3D, 4D and 5D and fluid flow volume which flows through the installation that are 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900 and 2000 litres/hour. Whereas, the dependent variable is the pressure drop (Δp) measured by pressure transmitter and the head loss of which the value is obtained from the measurement of pressure drop. The test was conducted on 1.25 inch in diameter elbow with 22 holes of tube bundle and 27 mm in length. To know the head loss, so the pressure drop (Δp) of fluid at upstream and downstream of the pipe turn are measured using 2 pressure transmitters connected to the computer through ADC (Analog Digital Converter). The data had already recorded in computer was processed using the LabView software to get the averaged value of the pressure drop.

Keywords: Head loss, tube bundle, elbow.

PENDAHULUAN

Pada belokan pipa terjadi penurunan tekanan (*pressure drop*) yang lebih besar daripada pipa lurus untuk panjang yang sama [3]. Semakin besar Δp atau meningkatnya *pressure drop* tersebut dapat menyebabkan energi yang dibutuhkan untuk mengalirkan fluida juga meningkat. Penurunan tekanan yang terlalu besar dapat menyebabkan terjadinya kavitasi dan getaran pada instalasi pipa. Salah satu cara untuk mengurangi *vortex* akibat adanya katup, belokan atau akibat sambungan pipa adalah dengan pemasangan suatu *flow conditioner* (alat pengkondisi aliran) berupa suatu pelat perforasi [1]. Dalam studi *experiment* ini diteliti salah satu cara untuk mengurangi *pressure drop* akibat terjadinya *vortex* tersebut, yaitu dengan pemasangan suatu alat pengkondisi aliran berupa *tube bundle* dengan jarak tertentu pada bagian hilir belokan. Terkait dengan fluida, viskositas mempunyai peranan yang penting. Viskositas juga sangat berkaitan dengan bilangan Reynolds.

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

Dimana:

ν = viskositas kinematik (m^2/s)

μ = viskositas dinamik ($N.s/m^2$)

ρ = densitas atau massa jenis (kg/m^3)

$$Re = \frac{\rho.V.D}{\mu} = \frac{V.D}{\nu} \quad (2)$$

dimana :

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

D = diameter pipa (m)

ν = viskositas kinematik (m^2/s)

μ = viskositas absolut/dinamik ($N.s/m^2$)

ρ = densitas (kg/m^3)

Dengan diketahuinya Re jenis aliran fluida dapat ditentukan laminer atau turbulen. Dalam aliran laminer kerugian tekanan pada aliran sebanding dengan kecepatan fluida, tetapi untuk aliran turbulen kerugian tekanan sebanding dengan kecepatan fluida pangkat 1,7-2,0 [2]. Masalah kerugian tekanan dapat dilihat pula pada persamaan Bernoulli. Persamaan Bernoulli untuk fluida sesungguhnya menggambarkan keseimbangan energi, dengan mengikutsertakan kerugian-kerugian energi yang terjadi di dalam persamaan tersebut.

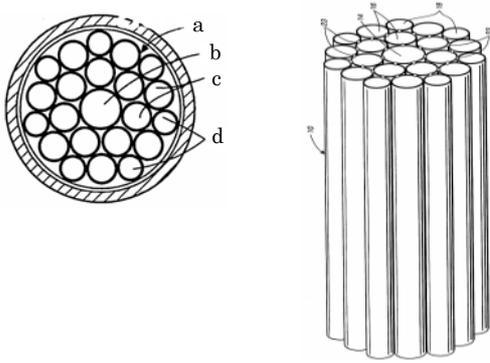
$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho.g} + \alpha_1 \frac{V_{m1}^2}{2.g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho.g} + \alpha_2 \frac{V_{m2}^2}{2.g} + \sum h \quad (3)$$

Pada persamaan ini ditampilkan *head loss* ($\sum h$) karena pada fluida real terjadi kehilangan energi dan juga α yang menyatakan koefisien distribusi kecepatan, karena distribusi kecepatan pada fluida sesungguhnya tidak seragam. *Head losses* dibeda-

kan menjadi dua macam, yaitu *major losses* dan *minor losses*. Belokan pipa 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. Sudut belokan adalah sudut antara saluran arah masuk aliran terhadap negatif saluran arah keluar aliran. *Losses* yang terjadi pada belokan disebabkan oleh adanya aliran sekunder (*twin eddy*/pusaran ganda). Ketika fluida bergerak pada belokan pipa, muncul gaya sentrifugal yang bekerja pada partikel-partikel fluida. 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. *Flow conditioner* adalah suatu alat yang dapat mengurangi gangguan-gangguan yang terjadi pada aliran pada suatu instalasi perpipaan sehingga dapat mengurangi turbulensi. *Flow conditioner* mempunyai kemampuan untuk mengisolasi gangguan-gangguan aliran yang disebabkan oleh belokan, katup, perubahan luas penampang, dan *orifice*, dengan cara menghilangkan *swirl* atau *vortex*. *Tube bundle* adalah salah satu jenis *flow conditioner* yang terdiri dari kumpulan tabung-tabung yang diikat menjadi satu yang dipasang pada penampang melintang di dalam pipa. *Tube bundle* menghasilkan profil aliran seperti peluru tumpul dengan kecepatan pada pusat aliran 15% [5] lebih besar daripada kecepatan rata-rata aliran. *Tube bundle* merupakan *flow conditioner* yang dapat secara efektif menghilangkan *swirl/vortex* pada aliran lebih besar daripada *flow conditioner* jenis lainnya.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*). Jaringan pipa baik pipa lurus maupun belokan pipa. Pada penelitian ini digunakan diameter pipa PVC 1,25 inci. Belokan pipa yang diuji berjumlah empat. Belokan pipa uji yang pertama tanpa adanya penambahan *tube bundle*, belokan pipa uji yang selanjutnya dengan penambahan *tube bundle* dengan jarak peletakan 2D, 3D, 4D dan 5D. *Tube bundle* terbuat dari *acrylic* dan terdiri dari 22 tabung dengan panjang yang sama. Satu tabung pada pusat memiliki diameter terbesar (b), dikelilingi dengan 7 tabung berdiameter lebih kecil (c), diikuti dengan tabung pada *ring* paling luar yang terdiri dari tabung 7 tabung (c) dan 7 tabung (d) yang memiliki diameter paling kecil.



Gambar 1. Tube Bundle dengan 22 Tabung



(a) Pressure transmitter

(b) Rotameter

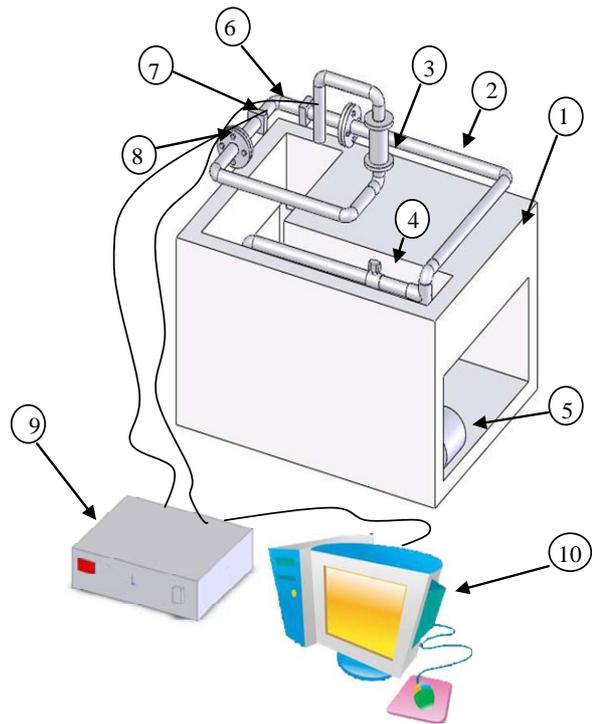
Gambar 2. Pressure Transmitter dan Rotameter

Rotameter digunakan untuk mengukur debit aliran air yang melalui belokan pipa uji. Kapasitas rotameter yang digunakan adalah 0-2000 liter/jam. Pressure transmitter merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur perbedaan tekanan yang terjadi pada aliran fluida.

Pressure transmitter yang digunakan adalah JUMO type 4341-242 dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Tekanan yang dapat diukur : 0 – 6 Bar
- Tegangan input : 11,5 – 30 Volt
- Arus output : 4 – 20 mA

Pressure gauge digunakan untuk mengkalibrasi Pressure transmitter, sehingga mendapatkan faktor konversi dari volt yang ditunjukkan oleh sensor tersebut menjadi tekanan dalam satuan bar. ADC (Analog Digital Converter) digunakan untuk mengkonversikan sinyal analog yang dihasilkan oleh pressure transmitter menjadi sinyal digital agar dapat dibaca oleh komputer dengan bantuan program komputer. Komputer digunakan untuk menerima, merekam dan memproses sinyal dari sensor sesudah mengalami pengkonversian sinyal dari analog menjadi sinyal digital pada ADC. Program komputer yang digunakan pada penelitian ini adalah LabVIEW dan Microsoft Excel. Pada penelitian ini juga dipergunakan stopwatch yang digunakan untuk mengukur waktu pelaksanaan pengambilan data. Instalasi penelitian/uji pada penelitian ini dilihat pada Gambar 3.



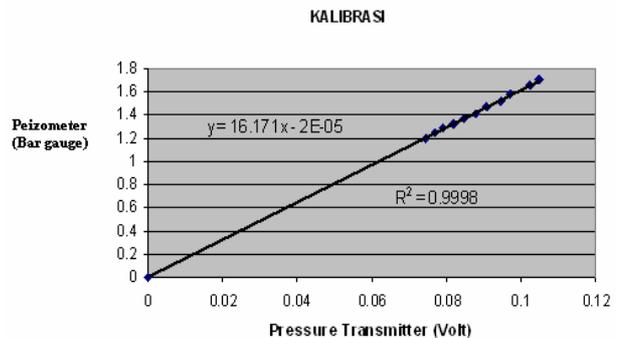
Gambar 3. Instalasi Peralatan Uji

Keterangan:

1. Bak penampung
2. Pipa
3. Rotameter
4. Katup/ Keran
5. Pompa
6. Belokan dengan tube bundle
7. Pressure transmitter
8. Flens
9. ADC
10. Komputer + software

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh dalam penelitian ini berupa data tekanan dalam bentuk tegangan, sehingga diperlukan konversi pressure transmitter dengan pressure gauge untuk mendapatkan data dalam satuan bar. Dari hasil konversi didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 4. Konversi Pressure Transmitter terhadap Piezometer

Hasil konversi diatas menunjukkan persamaan sebagai berikut. Data tekanan yang diperoleh dalam bentuk tegangan tersebut dikonversikan menjadi satuan bar sesuai dengan persamaan di atas.

$$Y = 16,171 X - 2E-05$$

Dimana:

Y = Tekanan (Bar gauge)

R² = 0,9998

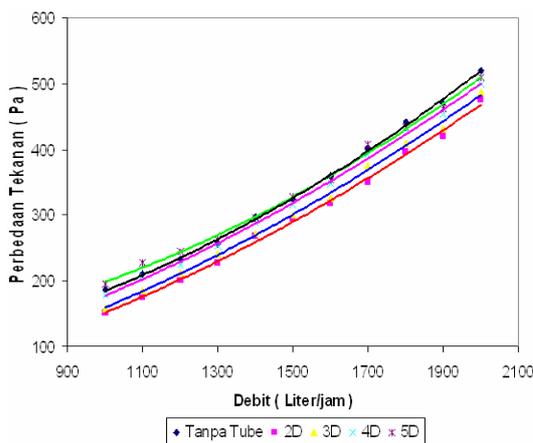
X = V = Beda tegangan (Volt)

Perhitungan dilakukan untuk mencari Bilangan Reynolds (Re) dan Koefisien Kerugian Head (K), dimana data yang diperoleh pada waktu penelitian adalah sebagai berikut:

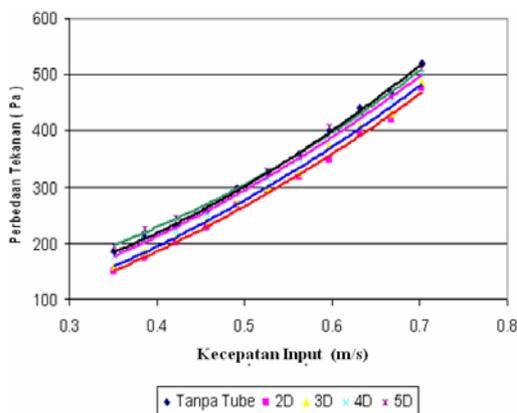
- Diameter dalam pipa (D) = 31,75 mm
- Suhu air (T) = 23°C
- Percepatan gravitasi (g) = 9,81 m/s²
- Debit aliran (Q) dengan variasi = 1000–2000 liter/ menit.

Dari temperatur air pada 23°C didapatkan nilai dari densitas dan viskositas kinematiknya sebagai berikut (Berdasarkan tabel properties air dari [6].

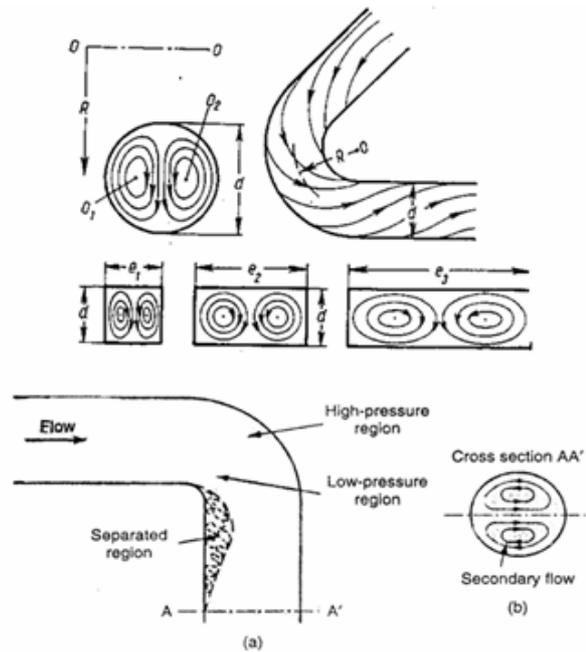
- Densitas (ρ) = 997.54 kg/m³
- Viskositas kinematik (ν) = 0,941.10⁻⁶ m²/s



Gambar 5. Hubungan Antara Debit (Aliran) dan Perbedaan Tekanan



Gambar 6. Hubungan Antara Kecepatan Aliran Input dan Perbedaan Tekanan



Gambar 7. Vortex Akibat Gaya Sentrifugal

Gambar 5 menunjukkan grafik hubungan antara debit terhadap penurunan tekanan pada belokan tanpa *tube bundle* dan dengan *tube bundle* dengan jarak 2D, 3D, 4D dan 5D di hilir belokan. Pada gambar 5 tersebut, juga dapat dilihat bahwa terdapat beda tekanan pada *input* belokan dan *output* belokan $\Delta p = P_{in} - P_{out}$. Penurunan tekanan berarti penurunan *head* statis fluida. Hal ini terjadi karena *head* total fluida berkurang karena adanya *losses* ketika fluida melewati belokan. Jika *head velocity* fluida diasumsikan konstan, karena beracuan pada hukum kontinuitas fluida, yakni massa fluida yang mengalir sepanjang *stream tube* adalah konstan $A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$, maka penurunan *head total* fluida akan menurunkan *head* statis fluida, hal ini sesuai dengan persamaan Bernoulli untuk fluida sesungguhnya. Persamaan tersebut untuk fluida sesungguhnya yang menggambarkan kesetimbangan energi seperti halnya hukum energi mekanik, tetapi mengikutsertakan kerugian-kerugian energi yang terjadi di dalam persamaan tersebut. Pada persamaan diatas terdapat *head loss* (Σh) karena pada fluida *real* terjadi kehilangan energi dan juga *a* yang menyatakan koefisien distribusi kecepatan, karena distribusi kecepatan pada fluida *real* tidak seragam. *Losses* diakibatkan *vortex* dan *twin eddy* yang terbentuk setelah fluida melewati belokan, *vortex* terbentuk karena adanya gaya sentrifugal yang bekerja pada fluida ketika melewati belokan. Hal itu dapat dilihat pada gambar 7 [4].

Dari Gambar 7 dapat disimpulkan bahwa baik fluida yang melewati belokan dengan *tube bundle* maupun tanpa *tube bundle*, beda tekanan (Δp) cenderung bertambah dengan meningkatnya debit. Ini berarti penurunan *head* statis fluida semakin

besar. Dapat disimpulkan bahwa penurunan *head* total fluida bertambah banyak dan energi total fluida yang hilang karena adanya *losses* bertambah. Hal ini terjadi karena ketika bilangan *Reynolds* fluida meningkat dengan viskositas fluida tetap, energi kinetis fluida yang berpotensi menyebabkan pergerakan partikel antar lapisan fluida meningkat, sedangkan viskositas yang berperan meredam pergerakan tersebut tetap konstan.

Dengan meningkatnya bilangan *Reynolds* intensitas turbulensi fluida dan juga *vortex* yang dihasilkan ketika fluida melewati belokan akan meningkat. Meningkatnya intensitas turbulensi menyebabkan *vortex* dan *twin eddy* pada aliran fluida meningkat dan mengakibatkan kehilangan energi pada fluida semakin besar.

Gambar 8 menunjukkan kecenderungan yang sama, dimana beda tekanan (Δp) terhadap aliran debit pada belokan dengan variasi peletakan *tube bundle* dengan jarak 2D, 3D, 4D dan 5D dari keluaran pada belokan pipa semakin besar dengan bertambahnya debit. Untuk grafik belokan pipa tanpa penambahan *tube bundle* pada debit 1000 liter/jam beda tekanan (Δp) yang terjadi sebesar 185,7 Pa. Beda tekanan (Δp) ini akan terus naik dengan bertambahnya debit, dimana pada debit maksimum yaitu 2000 liter/jam akan dihasilkan beda tekanan yang maksimum yaitu 519,3 Pa. Untuk grafik belokan pipa dengan variasi peletakan *tube bundle* juga menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu semakin besar bilangan debit, maka beda tekanan (Δp) yang terjadi semakin besar. Hal itu disebabkan karena dengan bertambahnya kecepatan input yang melewati belokan pipa, aliran fluida yang mengalir akan menabrak dinding belokan pipa. Akibat tabrakan tersebut pada aliran fluida terjadi perubahan gaya sentrifugal, sehingga ketidakseragaman distribusi kecepatan semakin besar. Akibatnya, setelah fluida keluar dari daerah belokan pipa dalam fluida tersebut akan terjadi pemisahan aliran yang menyebabkan pola aliran fluida menjadi acak/turbulen, yang dapat memicu terbentuknya *vortex*. Adanya *vortex* ini menyebabkan aliran fluida yang mengalir setelah belokan pipa akan mengalami penurunan tekanan (*pressure drop*).

Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa dengan adanya penambahan *tube bundle* pada belokan pipa beda tekanan (Δp) akan berkurang. Semakin dekat jarak *tube bundle* terhadap belokan pipa, maka beda tekanan (Δp) semakin kecil, dimana beda tekanan yang paling kecil terjadi pada jarak 2D dari hilir. Hal tersebut dapat dilihat bahwa penurunan tekanan yang terjadi untuk belokan tanpa *tube bundle* pada debit 1000, 1100 dan 1200 liter/jam secara berurut 185, 210 dan 231 Pa, sedangkan untuk jarak 2D dengan debit yang sama menunjukkan beda tekanan (Δp) 150, 174 dan 200 Pa

dan dengan jarak peletakan *tube bundle* 3D menunjukkan beda tekanan 157, 183, dan 212 Pa. Namun dengan peletakan *tube bundle* dengan jarak 4D menghasilkan beda tekanan yang hampir sama dengan tanpa *tube bundle*, sedangkan jarak 5D menghasilkan beda tekanan (Δp) yang lebih tinggi dari pada tanpa *tube bundle*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 dengan debit yang sama pada jarak 4D menghasilkan beda tekanan (Δp) 177, 206 dan 224 Pa, dan dengan jarak 5D beda tekanan (Δp) yang dihasilkan 195, 226, 244 Pa.

Pada Gambar 5 dapat dilihat terjadi perpotongan antara kurva 5D dengan variabel tanpa menggunakan *tube bundle*. Hal ini menunjukkan bahwa debit yang semakin besar yaitu pada 1800, 1900 dan 2000 ltr/jam pada jarak peletakan *tube bundle* 5D lebih rendah dibandingkan dengan variasi tanpa menggunakan *tube bundle*. Hal ini dikarenakan intensitas *twin eddy* dan *vortex* yang dihasilkan pada jarak peletakan *tube bundle* 5D akan juga semakin kecil karena partikel fluida yang bergerak ke segala arah antar lapisan fluida (penyebab *turbulensi*) dan gerakan partikel fluida yang berputar (penyebab *vortex*) dibatasi dinding-dinding tabung *tube bundle*. Sehingga setelah melewati *tube bundle* profil *twin eddy* yang dihasilkan menjadi semakin kecil. Sedangkan untuk belokan yang tanpa *tube bundle* tidak ada pengurangan intensitas *twin eddy* dan juga *vortex* sehingga beda tekanan yang dihasilkan juga semakin besar.

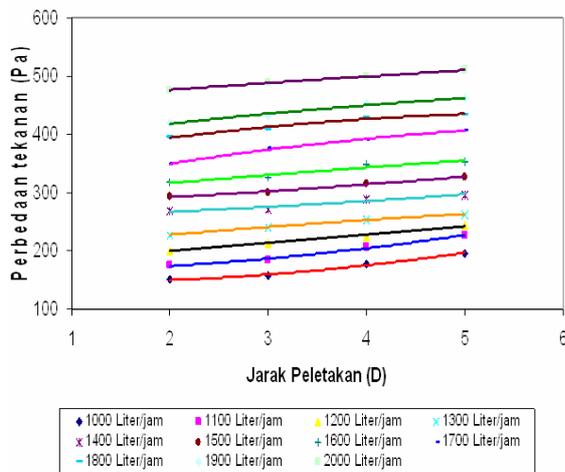
Pada Gambar 8 menunjukkan grafik hubungan antara beda tekanan terhadap jarak peletakan *tube bundle* pada belokan pipa. Dari Gambar 5 dinyatakan bahwa dengan semakin besar debit maka beda tekanan pada belokan pipa meningkat. Untuk peletakan *tube bundle* dengan jarak 2D beda tekanan (Δp) terendah terjadi pada debit yang paling kecil yaitu 1000 liter/jam sebesar 150 Pa, diikuti dengan debit 1100 liter/jam sebesar 174 Pa, kemudian diikuti debit 1200 liter/jam yang mempunyai beda tekanan sebesar 200 Pa, sedangkan beda tekanan yang paling besar terjadi pada debit yang paling besar yaitu pada debit 2000 liter/jam dengan beda tekanan 475 Pa. Hal ini sesuai dengan teori, dimana semakin besar debit yang mengalir maka kecepatan aliran fluida semakin besar sehingga beda tekanan yang terjadi juga semakin besar. Hal itu sesuai dengan persamaan $\Delta p/\rho = K.V^2/2$ [4].

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa semakin dekat jarak *tube bundle* terhadap belokan pipa maka menghasilkan beda tekanan (Δp) yang semakin kecil, dimana beda tekanan yang paling kecil terjadi pada debit yang paling rendah. Hal tersebut dapat dilihat bahwa pada debit 1000 liter/jam penurunan tekanan yang terjadi untuk belokan dengan jarak peletakan 2D, 3D, 4D, 5D secara berurut 150, 157, 177 dan 195 Pa. Untuk debit 1100 liter/jam dengan jarak peletakan yang

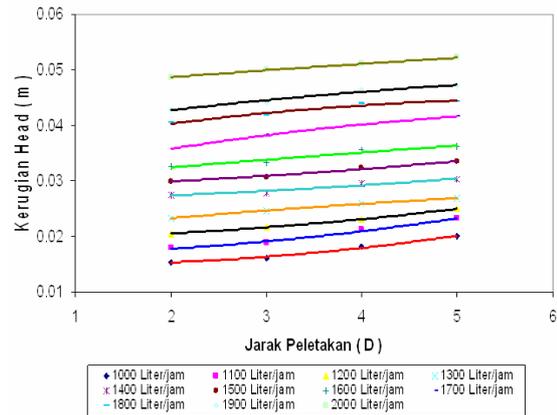
sama menunjukkan beda tekanan 174, 183, 206 dan 226 Pa. Untuk debit 1200 liter/jam beda tekanan yang terjadi 200, 212, 224 dan 244 Pa. Sedangkan untuk debit yang paling besar 2000 liter/jam beda tekanan yang terjadi 475, 487, 498 dan 509 Pa.

Kenaikan beda tekanan dengan bertambahnya jarak peletakan *tube bundle* terjadi pada setiap variasi terhadap belokan pipa, karena akan memberikan kesempatan waktu yang lebih lama untuk terbentuknya separasi sehingga *vortex* yang terbentuk pada sisi hilir akan lebih besar. Secara teoritis waktu yang lebih lama pembentuk separasi dikarenakan jarak yang ditempuh fluida semakin besar pada kecepatan yang tetap. Hal ini menunjukkan semakin besar jarak, maka waktu yang digunakan untuk terbentuknya *vortex* semakin besar, sehingga semakin bertambahnya jarak peletakan *tube bundle* maka beda tekanan akan meningkat.

Pada Gambar 9 menunjukkan grafik hubungan antara kerugian *head* terhadap jarak peletakan *tube bundle* dari sisi keluaran pada belokan pipa. Dari gambar tersebut dapat dinyatakan bahwa dengan semakin besar debit maka menyebabkan kerugian *head* pada belokan pipa naik, ini juga dapat dilihat bahwa belokan pipa dengan jarak peletakan *tube bundle* 2D dengan debit 1000, 1100 dan 1200 liter/jam maka kerugian *head* (ΔH) secara berurutan 0.0153, 0.0178 dan 0.0205 m. Fenomena ini juga terjadi pada peletakan *tube bundle* dengan jarak 3D, 4D dan 5D, semakin besar debit yang dialirkan maka semakin besar pula kerugian *head*-nya. Hal terjadi karena dengan semakin besar debit yang mengalir maka daerah pemisahan aliran fluida (separasi) dan beda tekanan yang terjadi semakin besar sehingga kerugian *head*-nya juga semakin besar dimana $\Delta H = \Delta p/\gamma$ [4].



Gambar 8. Hubungan Antara Peletakan *Tube Bundle* dan Beda Tekanan



Gambar 9. Hubungan Antara Peletakan *Tube Bundle* dan Kerugian *Head*

Pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak peletakan *tube bundle* maka kerugian *head* juga semakin besar, dimana terlihat bahwa belokan pipa dengan variasi peletakan *tube bundle* dengan jarak 2D memiliki kerugian *head* (ΔH) yang paling kecil yang kemudian diikuti 3D, 4D, dan 5D dengan debit yang sama. Pada debit 1000 liter/jam kerugian *head* yang terjadi secara berurutan 0.0153, 0.0160, 0.0181 dan 0.0200 m, kecendrungan ini juga terjadi pada setiap variasi debit. Hal ini disebabkan karena dengan bertambahnya jarak peletakan *tube bundle* dari sisi keluaran belokan pipa maka pemisahan aliran fluida (separasi) dan *vortex* yang terbentuk lebih besar sehingga beda tekanan yang terjadi juga lebih besar, dimana kerugian *head* (ΔH) berbanding lurus dengan beda tekanan (Δp) yang berarti meningkatnya beda tekanan maka kerugian *head* (ΔH) juga akan semakin besar.

KESIMPULAN

Pemasangan *Tube bundle* rata-rata dapat menurunkan kerugian tekanan 0,0741 m atau sebesar 32,5% dari kerugian tekanan belokan tanpa *tube bundle*. Semakin jauh jarak peletakan *tube bundle* terhadap sisi keluaran pada belokan pipa maka beda tekanan yang terjadi semakin besar, hal itu ditunjukkan pada debit 1000 liter/jam jarak 2D mempunyai nilai beda tekanan 1516 Pa sedangkan pada jarak 5D mempunyai nilai 1941 Pa. Perbedaan tekanan yang lebih besar tersebut dikarenakan semakin jauh peletakan *tube bundle* maka kesempatan terbentuknya separasi semakin lama sehingga kerugian tekanannya juga semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Shao, Ziqiong; *Numerical and Experimental Evaluation Through Perforated Plates*; Disertasi tidak diterbitkan; University Rand Afrikaans, Afrika. 2001.

2. White, Frank. M., *Fluid Mechanics*; Mc Graw Hill Book Company, New York. 1986.
3. Potter, Merle, C, and Wiggert, David, C., *Fluid Mechanics*; Prentice-Hall Inc, New Jersey, 1997.
4. Nekrasov, Boris, *Hydraulics for Aeronautical Engineers*; Peace Publishers, Moscow, 1960.
5. Stuart, John.W., Gradational Tube Bundle Flow Conditioner for Providing a Natural Flow Profile to Facilitate Aaccurate Orifice Metering in Fluid Filled Conduits; *Jurnal US Patent 5392815*, 1995.
6. Victor. L., Streeter, *Fluid Mechanic 1*, McGraw Hill Book Company, New York, 1985.