

ALIRAN DALAM PIPA LENGKUNG 90° DENGAN RADIUS YANG BERVARIASI

Kaprawi⁽¹⁾

⁽¹⁾Jurusan Teknik Mesin - Fakultas Teknik Unsri
Jl. Raya Palembang-Indralaya 30662
E-mail : kaprawis@yahoo.com

Ringkasan

Elbow 90° atau pipa lengkung beradius sering digunakan dalam bidang teknik khususnya dalam sistim pemipaan fluida. Pada angka Reynolds yang tinggi atau untuk aliran turbulen, kelengkungan elbow mempengaruhi variabel aliran didalamnya. Elbow dengan radius kelengkungan yang kecil maka penurunan tekanan antara sisi masuk dan keluar lebih besar dibandingkan dengan elbow dengan radius lebih besar. Hal ini menyebabkan koefisien kerugian energi lebih besar terjadi pada elbow dengan radius kecil. Selain itu dengan memperbesar radius elbow maka debit aliran semakin naik. Bentuk penampang elbow yaitu bentuk lingkaran dan segiempat mempengaruhi pada besarnya koefisien kerugian dan debit. Kedua bentuk penampang elbow mempunyai profil koefisien kerugian yang identik yang menurun dengan cepat bila radius relatif naik dan profil debit juga identik.

Abstract

Elbow 90° or curved pipe having radius is often used in engineering field especially in fluid piping system. At high Reynolds number or for turbulent flow, the radius of elbow effect the fluid variables. The elbow having small radius of curvature make higher pressure drop between entrance and exit section of elbow when it is compared to the elbow having higher radius. This high pressure drop makes the loss coefficient of energy higher than that of the elbow having larger radius. The debit of flow increase linearly as the increase of radius. The cross section of elbow ; that are circular and rectangular, influence to loss coefficient and debit. Both cross section of pipe have similar profile of loss coefficient which decrease rapidly with relative radius and similar profile of debit.

Key words : Elbow 90°, flow, loss coefficient, radius, pressure.

1. PENDAHULUAN

Sistim pemipaan untuk mengalirkan fluida seringkali menggunakan elbow 90° atau belokan 90°, seperti pada suction pompa sentrifugal dengan sistim instalasi negative lift. Kerugian tekanan akibat adanya elbow ini sangat berpengaruh bila fluida didalamnya adalah cairan. Aliran dalam belokan atau elbow sangat kompleks karena aliran didalamnya sesungguhnya adalah aliran tiga dimensi.

Secondary flow dan akselerasi sentripetal yang timbul dalam elbow menghasilkan kenaikan tekanan statik pada dinding luar dari elbow dan penurunan tekanan pada dinding dalam dari elbow. Perbedaan tekanan sepanjang arah diameter dapat dinyatakan dalam koefisien tak berdimensi c_k yaitu koefisien tekanan diametris sebagai berikut :

$$p_o - p_i = C_p \frac{1}{2} \rho U^2 \quad (1)$$

Dimana U adalah kecepatan rata-rata dalam elbow.

Koefisien ini dapat diprediksi berdasarkan radius elbow, jenis aliran dan sudut elbow seperti diberikan dalam Blevin [4]. Prediksi yang paling akurat untuk beda tekanan didapat untuk belokan dengan radius $r/d > 2$. Untuk belokan dengan radius lebih kecil dari ini maka pengukuran menjadi lebih sensitif terhadap posisi angular dari belokan.

Pada belokan yang tajam atau radius elbow kecil, penurunan tekanan pada daerah dinding dalam dari elbow melebihi kenaikan tekanan pada daerah dinding luar. Sedangkan pada gradual bend dimana $r/d > 2$, perubahan tekanan praktis hampir sama.

Kecepatan rata-rata dalam elbow mempunyai dua komponen yaitu komponen aksial dan radial. Ketika mengalir didalamnya, momentum aliran cenderung membawa aliran kearah lurus namun kelengkungan elbow membuat fluida mempercepat secara sentripetal sekitar kelengkungan. Sebagai akibatnya maka titik dimana kecepatan aksial maksimum bergeser kearah

luar dari sumbu pipa. Fluida terbawa ke arah luar dari sumbu pipa. Dan terjadi secondary flow dalam arah bidang radial tercipta ketika fluida ini kembali ke arah dinding pipa. Secondary flow dapat dianggap sebagai dua vorteks yang mana setengahnya menempati setengah daripenampang pipa.

Elbow dengan radius kelengkungan $r/d < 2$ dan dengan sudut kelengkungan lebih besar dari 45° , hal ini termasuk belokan tajam (sharp bend). Tahanan pipa lengkung terdiri dari kerugian akibat kelengkungan, kerugian akibat panjang belokan dan kerugian pada bagian downstream dari belokan. Dalam hubungan matematik ditulis :

$$h_t = h_c + h_L + h_e \quad (2)$$

Dapat dibentuk $h_b = h_c + h_L$, h_b dapat dinyatakan sebagai fungsi dari head kecepatan dalam formula berikut :

$$h_b = K_b \frac{u^2}{2g} \quad (3)$$

Hubungan antara K_b dan radius relatif r/d tidak terdefinisi dengan tepat, walaupun demikian nilai minimumnya terletak antara $r/d = 3$ sampai 5 untuk belokan 90° . Untuk $r/d > 5$ maka koefisien tahanan belokan mulai naik yang maka hal ini disebabkan oleh naiknya nilai tahanan akibat gesekan karena dengan radius yang semakin besar maka panjang dinding belokan semakin naik. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai koefisien tahanan sangat bervariasi untuk r/d yang sama [3]. Pada umumnya, untuk $1 \leq r/d \leq 3$, koefisien kerugian mempunyai nilai yang menurun tajam seiring dengan kenaikan r/d . Kerugian energi akan minimum pada r/d antara 3 sampai 5. Sedangkan untuk $r/d > 5$ terjadi kenaikan yang tidak tajam. Variasi hasil penelitian untuk nilai K terletak antara 0,2 sampai 0,4 untuk $r/d = 3$.

Kerugian total dari belokan 90° dapat ditentukan dengan formula berikut :

$$K_B = (n - 1)(0.25 f_T \pi \frac{r}{d} + 0.5 K_1) + K_1 \quad (4)$$

Dimana n adalah jumlah elbow 90° , f_T faktor gesekan, K_1 koefisien tahanan dari belokan untuk satu belokan 90° dan r/d adalah radius relatif. Koefisien kerugian total ini dapat diberikaan secara dengan pendekatan analitis apabila faktor gesekan dalam (4) diketahui. K_1 diberikan dalam literatur yang mana fungsi dari radius relatif dan koefisien tersebut diberikan nilainya dalam range radius relatif $1 \leq r/d \leq 20$.

Dalam persamaan (3), K_b fungsi dari radius, sudut elbow dan angka Reynolds, $K_b = f(r, \alpha, R_e)$. Untuk belokan penampang lingkaran dan bentuk belokan tidak tiba-tiba dengan sudut kelengkungan elbow α maka koefisien kehilangan dihitung dengan rumus Weisbach berikut :

$$K_b = \left[0,13 + 1,85 \left(\frac{d}{2r} \right)^{7/2} \right] \frac{\alpha}{90} \quad (5)$$

Dimana α adalah sudut kelengkungan belokan, d diameter penampang belokan dan r radius elbow

(Gambar 1). Hubungan teoritis yang paling sederhana diberikan oleh Crane [3] yang memberikan koefisien kerugian K_b hanya fungsi dari faktor gesekan dan suatu konstanta. Faktor gesekan adalah sama untuk bahan pipa yang sama, namun konstanta tergantung dengan radius relatif elbow. Pada elbow dengan radius relatif yang sama maka koefisien kerugian elbow ditentukan juga oleh diameternya yang mana bila diameter semakin kecil maka koefisien kerugian semakin besar.

Pada bagian sisi masuk dan sisi keluar dari belokan selalu disambungkan ke pipa lurus. Kecepatan yang lebih besar terjadi mulai dari sumbu sampai ke arah dinding luar. Gradient tekanan yang besar timbul dalam belokan, tetapi juga dalam daerah bagian sisi masuk dan keluar dari belokan. Untuk $r/d < 1,5$ maka gradient tekanan cukup untuk terjadi separasi aliran pada dinding dalam. Pengaruh gradient tekanan pada belokan yang demikian mempengaruhi tekanan dalam pipa lurus yang berada di sisi keluar dari belokan. Pengaruhnya pada pipa lurus sampai pada jarak $5d$ (d diameter pipa) dan pengaruhnya pada pipa lurus pada bagian sisi masuk belokan lebih kecil yaitu jarak $2,5d$ dari elbow. Tekanan statik pada dinding luar lebih besar dari dinding dalam. Pada dinding luar tekanan bisa naik melebihi tekanan masuk elbow karena adanya pengaruh sentripetal, sedangkan pada sisi dalam tekanan bisa turun jauh dibawah tekanan masuk.

Pipa yang bersatu dengan elbow yaitu pada sisi masuk dan keluar biasanya adalah pipa lurus. Oleh karena itu aliran masuk ke elbow adalah seragam dan profil kecepatan adalah simetris terhadap garis sumbu pipa. Namun, oleh karena pengaruh tekanan dari elbow menjalar pada pipa lurus pada sisi masuk dan keluar maka profil kecepatan bisa berubah. Ketika aliran didalam elbow maka terjadi inersia yang menimbulkan tekanan arah radius elbow. Gradient tekanan arah radius dalam elbow adalah :

$$\frac{dp}{dr} = \rho \frac{u^2}{r}$$

Dengan adanya gradient tekanan tersebut maka distribusi kecepatan dalam elbow diberikan oleh persamaan lapisan batas. Aliran dalam elbow sesungguhnya adalah tiga dimensi yang mana secara teoritis sangat sulit untuk dapat diberikan solusi. Kadang profil kecepatan diuraikan dalam dua dimensi arah x dan y (Gambar 1) karena dalam kedua arah ini profil tidak simetris. Distribusi kecepatan aliran dalam lapisan batas dalam tiga dimensi diberikan dalam bentuk vektor sebagai Berikut :

$$\rho \vec{V} \operatorname{grad} \vec{V} = -\operatorname{grad} p + \mu \Delta \vec{V} \quad (5)$$

dan dengan persamaan kontinuitas.

$$(\rho u)_x + (\rho v)_y = 0$$

Distribusi kecepatan aliran laminar dalam elbow 90° telah didapat melalui studi numerik yang dilakukan oleh Anjay [9]. Dari hasil yang telah diberikan bahwa terjadi perbedaan kecepatan yang signifikan antara di daerah dekat dengan dinding dalam dan luar elbow. Persamaan untuk aliran turbulen pada dasarnya didapat dari persamaan (5) namun terdapat komponen kecepatan rata-rata yang bukan fungsi waktu dan komponen fluktuasi. Komponen yang dapat dipresentasikan adalah komponen kecepatan rata-rata yang mana hal tersebut akan identik dengan profil kecepatan dalam aliran laminar.

Aliran dekat dengan dinding luar (Gambar 1) mempunyai kecepatan yang lebih besar dari aliran dekat dinding dalam sehingga tegangan geser akan lebih besar terjadi pada dinding bagian luar. Tegangan geser ini naik dengan kenaikan x atau α . Sebaliknya pada dinding bagian dalam, tegangan geser lebih kecil karena aliran kecepatan aliran lebih kecil.

Separasi aliran bisa terjadi pada belokan. Separasi ini tergantung dari angka Reynolds dan radius belokan. Semakin besar radius maka separasi semakin kecil kemungkinan untuk terjadi separasi aliran. Separasi ini terjadi pada dinding dalam dari belokan atau elbow. Separasi partikel dalam aliran gas pada penampang belokan segiempat telah diberikan oleh Bingtao [8].

Dalam paper ini akan diberikan aliran turbulen yang melalui elbow 90° yang dinyatakan dengan angka Reynolds yang tinggi. Distribusi tekanan statis dalam elbow akan diberikan melalui pengukuran, profil kecepatan juga akan diberikan. Pada akhirnya akan diberikan juga koefisien kerugian tekanan dan pengaruh variasi radius elbow terhadap debit aliran. Dalam studi juga diberikan bentuk penampang elbow yaitu bentuk lingkaran dan segiempat (segiempat sama sisi).

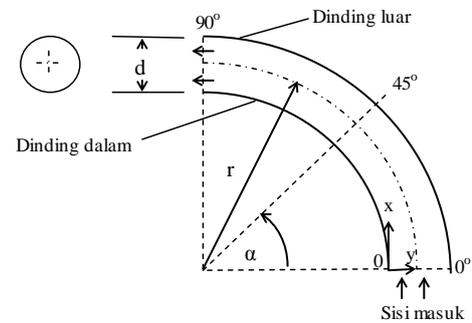
2. METODE PENELITIAN

Rangkaian instalasi penelitian diberikan secara skematis oleh gambar 2. Pompa (1) menggerakkan air dari tangki (4) ke pipa (2) yang berpenampang lingkaran dan berdiameter $d = 31,37$ mm. Elbow 90° (3) dengan radius elbow $r = 50; 80$ dan 100 mm secara bergantian dipasangkan pada bidang horisontal (agar tidak ada pengaruh head potensial) pada sisi discharge dari pompa. Untuk elbow penampang segiempat sama sisi mempunyai diameter hidraulik yang sama dengan diameter elbow berpenampang lingkaran dan dengan radius elbow 50 mm, 80 mm dan 120 mm. $\alpha = 0^\circ, 45^\circ$.

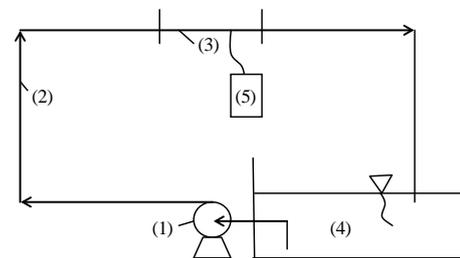
Pipa yang menghubungkan pada sisi masuk dan keluar dari semua elbow adalah pipa lurus dengan masing-

masing panjang 150 mm dan 100 mm. Dengan demikian maka kehilangan energi dalam pipa lurus diasumsikan konstan. Dalam penelitian ini debit aliran konstan dan walaupun ada perubahan debit maka hal ini diakibatkan oleh hambatan aliran dalam elbow. Kecepatan air $4,3$ m/s sehingga angka Reynolds orde $1,5 \cdot 10^5$ dan aliran dalam pipa termasuk jenis turbulen.

Alat ukur yang digunakan untuk tekanan statis adalah manometer diferensial yang mana



Gambar 1 : Bentuk Elbow 90°



Gambar 2 : Instalasi peralatan penelitian

satu sisinya adalah tekanan atmosfer dan untuk mengukur kecepatan digunakan tabung Pitot (5). Pengukuran dilakukan dalam elbow pada tiga lokasi yaitu pada $\alpha = 0^\circ, 45^\circ$ dan 90° (Gambar 1). Pada posisi ini, posisi masuk elbow untuk mengetahui apakah pengaruhnya sensitif pada sisi masuk, pada sisi tengah elbow ($\alpha = 45^\circ$) dan sisi keluar adalah untuk mengetahui perkembangan variabel aliran dengan adanya elbow. Pengukuran dilakukan searah diameter pipa atau arah y dan dimulai dari titik dimana $y = 0$ mm adalah pada dinding dalam dari elbow.

Pengukuran tekanan statis pada beberapa lokasi di atas adalah dengan menggunakan tube kecil dengan diameter lubang 1 mm. Tube dapat digerakkan sepanjang diameter pipa dan searah radius elbow atau sumbu elbow agar aliran tegak lurus dengan tube tersebut. Begitu pula halnya dengan pengukuran distribusi kecepatan aliran dalam elbow. Tekanan statis yang diukur adalah tekanan gauge, dengan demikian p_0 dalam koefisien tekanan adalah tekanan atmosfer. Pengukuran variabel aliran dilakukan pada penampang elbow yang sebidang dengan radius elbow

atau bidang x-y (gambar 1) karena kedua dinding dalam dan luar terjadi perbedaan dari variabel aliran.

Radius elbow dipilih seperti diatas agar mendapatkan r/d yang sering dijumpai dalam bidang pemipaan. Debit aliran diukur pada volumetric tank dengan melihat kenaikan volume dalam sight glass tube.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan maka didapatkan gambar-gambar dibawah ini. Koefisien tekanan dihitung dengan :

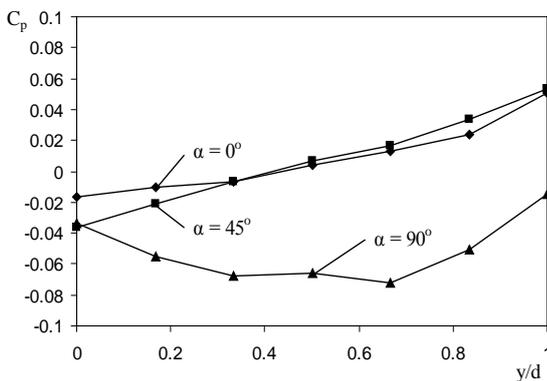
$$C_p = \frac{p_o - p_j}{\frac{1}{2} \rho U^2}$$

Dimana p_j adalah tekanan lokal pada titik j (arah y) dalam elbow dan p_o adalah diambil dalam hal ini tekanan atmosfer.

Gambar 3 memberikan profil koefisien tekanan pada daerah sisi masuk ($\alpha = 0^\circ$), sisi tengah ($\alpha = 45^\circ$) dan sisi keluar elbow ($\alpha = 90^\circ$) untuk radius relatif 1,6. Pada gambar dapat dilihat bahwa pada sisi masuk dan tengah terjadi perbedaan yang kecil dari tekanan. Keduanya mempunyai profil yang sama namun pada daerah dinding dalam dalam tekanan lebih kecil, Pada sisi masuk dan tengah elbow, profil tekanan bergerak secara linier dengan

y/d .

Gradient tekanan dari dinding dalam kearah dinding luar praktis adalah konstan. Perbedaan



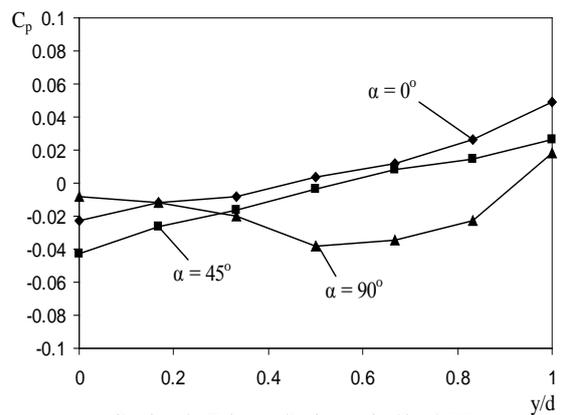
Gambar 3 : Tekanan Statis untuk r/d = 1,6

tekanan antara dinding dalam dan luar sekitar 100 %. Tekanan dekat pada dinding dalam adalah vakum dan dari hal ini terlihat bahwa pengaruh pada sisi masuk sangat jelas. Pada daerah dekat dinding luar mulai dari sisi masuk kecepatan naik akibat percepatan normal dari dari aliran dan pada dinding dalam terjadi perlambatan aliran sehingga tekanan turun sampai dibawah atmosfer.

Pada penampang sisi keluar elbow dimana $\alpha = 90^\circ$ penurunan tekanan sangat besar dibandingkan pada

sisi masuk dan tengah elbow. Gradient tekanan masih terjadi sepanjang diameter dan gradient dekat dinding elbow lebih besar dari daerah tengah. Dari gambar dapat, lebih, lanjut diamati bahwa tekanan pada dinding luar elbow masih lebih tinggi dari sisi dalam, namun perbedaan tidak signifikan. Pada sisi keluar tekanan turun sampai dibawah tekanan atmosfer karena C_p negatif. Hal ini terjadi pula pada sisi masuk dan tengah elbow.

Profil tekanan untuk $r/d = 2,55$ diberikan pada gambar 4. Pada sisi masuk dan tengah elbow, gradient tekanan masih praktis konstan namun apabila ddibandingkan dengan profil pada $r/d = 1,6$ maka gradient tekanan lebih kecil. Hal ini dapat ddilihat dengan berkurangnya kemiringan profil tersebut. Pengaruh kelengkungan mulai menurun pada gradient tekanan dan pada daerah dinding dalam tekanan masih lebih kecil dari dinding luar. Pada tengah elbow, tekanan deekat dinding dalam masih lebih kecil sedikit dari sisi masuk elbow.



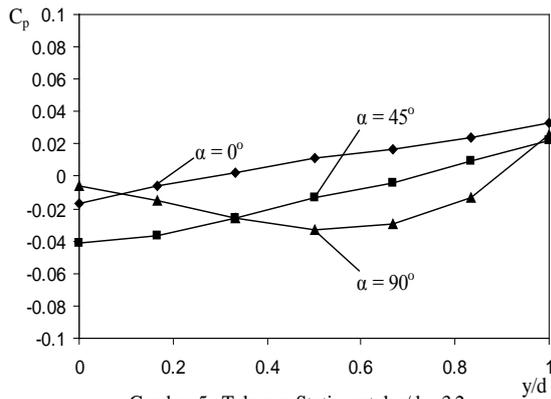
Gambar 4 : Tekanan Statis untuk r/d = 2,55

Pada daerah sisi keluar elbow, tekanan minimal masih terjadi di sedkitar sumbu dan masih terjadi gradient tekanan yang tidak konstan seperti pada gambar 3. Pada gambar juga dapat diamati bahwa pada sisi keluar elbow tekanan pada dekat dinding dalam mulai naik dan nilainya bahkan lebih tinggi dari sisi masuk dan tengah.

Selanjutnya profil tekanan statis untuk $r/d = 3,2$ dapat dilihat pada gambar 5. Pada gambar dapat dilihat bahwa gradient tekanan pada sisi masuk dan tengah semakin kecil yang dinyatakan dengan semakin berkurang garis tekanan pada kedua daerah tersebut. Walaupun demikian tekanan pada tengah elbow yaitu dekat dundung dalam tekanan masih lebih kecil dari sisi masuk. Perbedaan tekanan ini semakin naik dengan kenaikan radius relatif elbow. Selain itu dapat diamati pada dinding dalam dari elbow bahwa tekanan pada sisi masuk dan tengah tekanan praktis konstan untuk radius relatif $1,6 \leq r/d \leq 3,2$.

Ketiga elbow dengan radius yang diuraikan diatas, yang dapat dijelaskan bahwa pada sisi masuk dan sisi tengah elbow tekanan berubah secara linier dengan radius pipa. Gradient ini, dp/dy semakin menurun dengan kenaikan radius elbow. Perlu dicatat bahwa

untuk pipa lurus yang tak ada pengaruh elbow maka gradient tekanan arah diameter pipa adalah nol.



Gambar 5 : Tekanan Statis untuk $r/d = 3,2$

Pengaruh radius elbow sangat signifikan terhadap tekanan mulai dari daerah tengah sampai sisi keluar elbow. Tekanan pada sisi sisi keluar sangat berbeda dengan sisi masuk dan tengah, Tekanan pada dinding dalam menurun sampai lebih kecil dari tekanan masuk dan pada dinding luar naik. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa tekanan dalam suatu elbow atau belokan adalah fungsi dari x dan y atau $p(x,y)$.

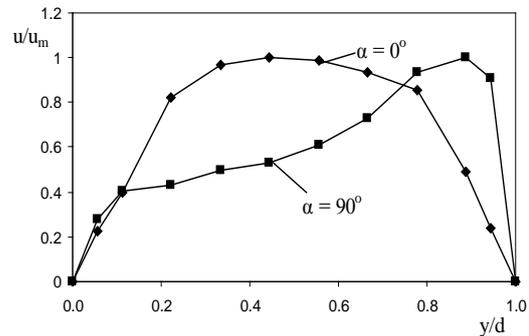
Hasil ekperimental diatas menunjukkan untuk $r/d = 1,6$ pada sisi masuk gradient tekanan 0,064 dan pada sisi tengah 0,08. Elbow dengan radius $r/d = 2,55$ gradient tekanan pada sisi masuk adalah 0,060 dan pada sisi tengah 0,11 serta untuk $r/d = 3,2$ masing-masing pada sisi masuk dan keluar adalah 0,05 dan 0,06.

Contoh profil kecepatan diberikan pada gambar 6 dan 7 untuk radius radius relatif $r/d = 2,55$ dan $3,20$. kecepatan dinormalisir terhadap kecepatan maksimumnya. Kecepatan rata-rata pada kedua sisi yaitu sisi masuk dan keluar terjadi perbedaan yang kecil sekitar 3 % dan hal ini disebabkan oleh kurang presisi dari pengukuran dengan tabung Pitot.

Gambar 6 dapat diamati bahwa pada sisi masuk kecepatan pada daerah dekat dengan dinding dalam lebih tinggi dari daerah dekat dinding luar yang mana kecepatan maksimumnya didalam daerah dinding dalam (pada $y/d = 0,44$). Pada daerah $y/d < 0,8$ kecepatan pada sisi masuk jauh lebih besar pada sisi keluar, pada $y/d < 0,44$ (pada sisi masuk) kecepatan relatif lebih besar sehingga kecepatan tinggi (angka Reynolds tinggi) ini mengakibatkan turunannya tekanan. Pada sisi keluar elbow ($y/d < 0,8$) kecepatan aliran turun sehingga mengakibatkan tekanan naik (gambar 3,4,5), yang melibihi tekanan pada sisi masuk dan tengah, hal ini dapat dipertegas dari persamaan Bernoulli. Pada radius ini kecepatan dekat dinding luar (pada sisi keluar) mencapai 1,5 kali lebih besar dari kecepatan dekat dinding dalam.

Untuk $r^+ = r/d = 3,20$ profil kecepatan sisi masuk dan keluar diberikan pada gambar 7. Profil masih identik untuk radius yang lebih kecil, akan tetapi nilainya

relatif lebih besar pada daerah dekat dengan dinding. Perbedaan kecepatan antara dekat dinding dalam dan luar mencapai 70% yang mana pdekat dinding luar lebih besar. Perubahan kecepatan dari sisi masuk dan keluar yang mana pada sisi masuk profil hampir simetris parabol akan tetapi pada sisi keluar kecepatan menurun pada daerah dekat dinding dalam dan lebih besar pada sisi keluar.

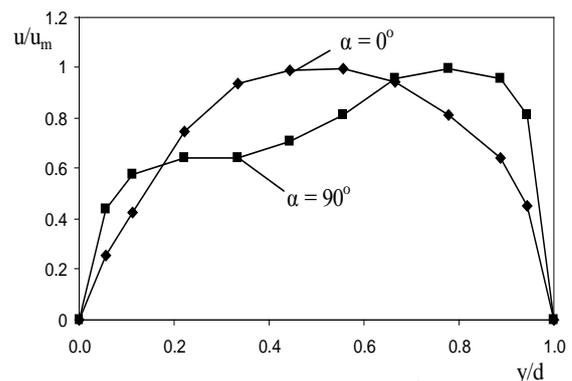


Gambar 6 : Profil Kecepatan untu $r^+ = 2.56$

Profil kecepatan yang didapat ini bentuknya identik dengan hasil numerik yang diberikan oleh Ajay [9]. Sepanjang dinding elbow dari sisi masuk dan keluar, profil kecepatan secara berangsur berubah dari bentuk parabol pada $\alpha = 0^\circ$ (sisi masuk) ke bentuk tak simetris pada $\alpha = 90^\circ$ (sisi keluar). Dari gambar profil tekanan diatas maka dapat dikatakan bahwa perubahan profil kecepatan akan signifikan mulai dari sisi tengah sampai sisi keluar elbow.

Dekat dengan dinding luar, kecepatan lebih tinggi dibanding dindiong dalam karena pengaruh momentum aliran yang lebih besar pada dinding aliran karena pembelokan aliran. Akibatnya tegangan geser (apabila dihitung) akan lebih besar pada dinding luar karena gradient kecepatan aliran pada dinding lebih tinggi. Hal ini terjadi sebaliknya pada dinding dalam yang mana tegangan geser lebih keil. Dengan demikian kehilangan energi lebih banyak terjadi pada dinding luar dari elbow.

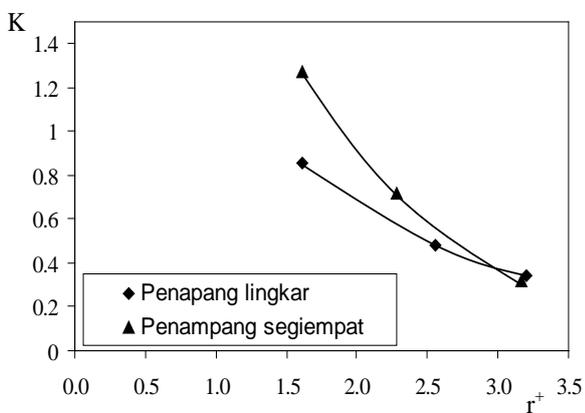
Dapat diamati dari kedua gambar profil kecepatan diatas bahwa ketika radius relatif naik maka gradient kecepatan pada dinding dalam elbow naik karena pada y yang sama maka kecepatan lebih tinggi pada radius yang lebih besar. Dengan demikian, tegangan geser akan semakin naik pada dinding dalam.



Gambar 7 : Profil Kecepatan untu $r^+ = 3.20$

Elbow dengan penampang segiempat sama sisi dengan radius hidrolis sama dengan diameter pada penampang lingkaran. Profil tekanan dan kecepatan mirip dengan seperti pada penampang lingkaran dan oleh karena itu dibawah ini hanya diberikan hasil akhir berupa pengaruh K dan Q terhadap radius relatif elbow seperti masing-masing pada gambar 8 dan 9.

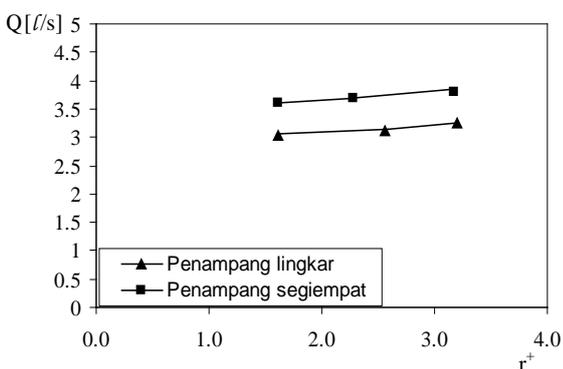
Gambar 8 menunjukkan hubungan koefisien kerugian energi dengan radius relatif.



Gambar 8 : Koefisien Kerugian

Dari gambar dapat diamati bahwa K lebih besar dari penampang lingkaran dalam radius yang dipelajari kecuali pada r/d 3,2. hal ini disebabkan oleh dinding elbow yang sesungguhnya lebih luas dibandingkan penampang lingkaran sehingga gesekan atau tegangan geser lebih besar.

Selanjutnya gambar 9 menunjukkan bahwa debit aliran berubah secara linier dengan radius r/d .



Gambar 9 : Debit untuk beberapa radius elbow

Gradient debit, dari hasil diatas, adalah dapat dikatakan konstan untuk kedua penampang yang mana besarnya adalah 0,042 liter per cm radius elbow untuk penampang lingkaran dan 0,028 liter per cm radius untuk penampang segiempat.

4. KESIMPULAN

Dari uraian yang telah diberikan mengenai aliran dalam elbow diatas maka dapat disimpulkan bahwa

terjadi variasi tekanan dalam arah radius pipa elbow dan sepanjang elbow. Dalam arah diameter elbow gradient tekanan pada sisi masuk dan tengah adalah konstan sedangkan pada sisi keluar tidak konstan. Tekanan pada dinding dalam lebih kecil daripada dinding luar elbow. Profil kecepatan berubah secara signifikan pada sisi keluar elbow. Koefisien kerugian energi, dalam batas radius yang dipelajari, menurun dengan cepat bila radius relatif naik. Hal ini terjadi untuk kedua penampang elbow yang dipelajari yaitu lingkaran dan segiempat sama sisi. Debit juga bergerak secara linier dengan radius relatif untuk kedua penampang yang dipelajari diatas.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. J. Kenneth Salisbury, 'Piping', Kent's Mechanical Engineers' handbook, John Wiley & Son, 1950
- [2]. P. Comolet, 'Mechanics des Fluids Experimentale', Mason, Paris, 1981
- [3]. Crane CO, 'Flow Through Valves, Fittings, and Pipe', New York, 1982
- [4]. Robert D. Blevin, 'Applied Fluid Dynamics', New York, 1984
- [5]. R.L Kimmel, 'The Effect of Pressure Gradient on Transition Zone Length in Hipersonic Boundary layer', Journal of Fluids Engineering, Vol. 119, No. 1, 1997
- [6]. James N. Tilton, 'Fluid and Particle Dynamics', McGraw-Hill, 1999
- [7]. K. Whipple, 'Flow Around Bends', Surface Processes and Landscape Evolution, 2004
- [8]. Bingtao Zhao, 'Modeling of Particle Separation in Bends of Rectangular Cross-section', American Journal of Applied Sciences 2 (1): 394-396, 2005. ISSN 1546-9239 Science Publications, 2005
- [9]. Ajay Parihar and Shane Moeykens, 'Turbulent Flow and Heat Transfer in a Mixing Elbow', 2006