

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

## M5-021 SIMULASI 2D VARIASI R/D PADA ELBOW 90° TERHADAP ALIRAN DAN PERPINDAHAN PANAS

**Prabowo**

Jurusan Teknik Mesin

ITS - Surabaya

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia

Phone: +62-31-5946230, FAX: +62-31-5922941, E-mail: prabowo@me.its.ac.id

### ABSTRAK

*Penggunaan elbow sangat luas baik di industri minyak maupun power plant. Penelitian mengenai elbow masih berkisar pada mekanika fluida dan belum banyak dilakukan pada perpindahan panas yang terjadi akibat variasi kelengkungan sudut elbow (R/D) baik pada elbow itu sendiri maupun pada pipa saluran inlet dan outlet. Dengan penelitian ini dapat diketahui rugi panas yang terjadi pada daerah belokan (elbow). Penelitian ini dilakukan dengan simulasi software Fluent 6.0. model elbow 90° sedangkan variasi R/D 0,5; 1,5 dan 20. Fluida didalam pipa mengalir uap air temperatur 180°C dengan kecepatan masuk fully developed flow (FDF) untuk daerah laminar ( $Re$  1000) dan turbulen ( $Re$   $1,67 \times 10^6$ ). Kehilangan panas terjadi pada dinding luar dengan koefisien konveksi  $10 \text{ W/m}^2\text{K}$  dan suhu 300 K Diameter pipa 0,29 m dengan panjang inlet dan outlet adalah 1 m dan 8 m.*

*Hasil yang didapat menunjukkan bahwa untuk aliran laminar dengan semakin besar R/D menyebabkan naiknya  $Le/D$  secara gradual dan juga menyebabkan turunnya  $Nu$  secara gradual pula. Sedangkan pada aliran turbulen dengan variasi R/D yang semakin besar, mula-mula menyebabkan penurunan faktor kerugian energi ( $Le/D$ ) sampai titik terendah R/D 1,5 dan kemudian naik kembali secara gradual seiring kenaikan harga R/D. Sedangkan perpindahan panas aliran turbulen yang dinyatakan dengan bilangan Nusselt ( $Nu$ ) mula-mula naik dengan semakin besarnya R/D sampai R/D 1,5 kemudian turun secara gradual.*

**Kata kunci:** Elbow 90°, Kelengkungan sudut elbow (R/D), Faktor penurunan tekanan ( $Le/D$ ), Bilangan Nusselt

#### Nomenclature

Cp Panas spesifik pada tekanan konstan, (J/kg.K)

**Greek**

D Diameter pipa, m

$\nu$  Viskositas kinematis,  $\text{m}^2/\text{s}$ .

h Koefisien perpindahan panas konveksi, ( $\text{W}/\text{m}^2\text{.K}$ )

$\rho$  Densitas fluida,  $\text{kg}/\text{m}^3$

k Konduktivitas thermal material, ( $\text{W}/\text{m.K}$ )

L Panjang pipa, m

**Group tak berdimensi**

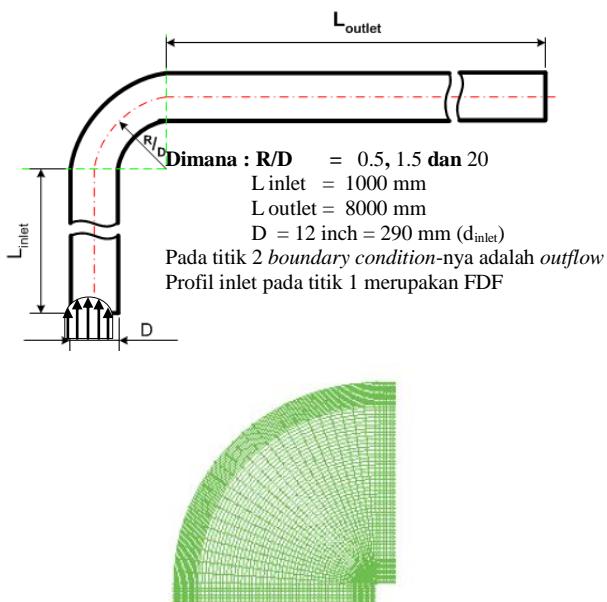
m Laju alir massa fluida didalam pipa,  $\text{kg}/\text{s}$ .

$Le/D$  Factor rugi-rugi minor pada elbow

## 1. Pendahuluan

Penelitian mekanika fluida terhadap aliran dalam pipa instalasi sudah banyak dilakukan, namun perpindahan panas yang terjadi baik yang disebabkan oleh gesekan fluida dengan dinding maupun yang disebabkan adanya faktor penghambat aliran seperti *elbow*, *orifice*, *sudden contraction* maupun *sudden enlargement* masih jarang dilakukan. Pada penelitian ini lebih difokuskan pada penelitian seputar elbow  $90^\circ$  dengan berbagai variasi kelengkungannya ( $R/D$ ). S Jayanti (1) mencoba menjelaskan penurunan tekanan yang terjadi pada pipa melengkung. Penurunan tekanan akibat dari adanya gaya centrifugal yang dipengaruhi oleh sudut lengkung, perbandingan kelengkungan, dan bilangan Reynolds. Disamping itu adanya hubungan antara koefisien gesek dengan koefisien perpindahan panas (3). Untuk memahami fenomena-fenomena seputar elbow maka digunakan model simuluasi dengan penyelesaiannya dengan metode *Computational Fluid Dynamic (CFD)*. Verifikasi hasil model dengan literature khususnya minor losses juga dilakukan untuk akurasi pemodelan. Pola aliran dan karakteristik perpindahan panas seputar elbow dengan variasi kelengkungan akan didiskusikan lebih detail dalam makalah ini.

## 2. Metodologi



Gambar 1. Computational domain dan Meshing sistem

Dalam penelitian ini Fluent 6.0 digunakan untuk menyelesaikan pola aliran dan perpindahan panas yang terjadi antara uap air  $T=180^\circ\text{C}$  yang mengalir didalam pipa dengan udara diluar pipa dengan temperatur dan koefisien konveksi masing-masing  $T=180^\circ\text{C}$ ,  $h=10 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Profile kecepatan uap air masuk pipa sudah dalam fully developed flow untuk aliran laminar ( $Re=1000$ ) dan turbulen ( $Re=1.67 \cdot 10^6$ ). Variasi kelengkungan pipa pada elbow adalah 0.5, 1.5 dan 20 dengan diameter 12 inch. Panjang pipa masuk sebelum elbow dan keluar setelah elbow adalah 1 m dan 8 m seperti ditunjukkan dalam

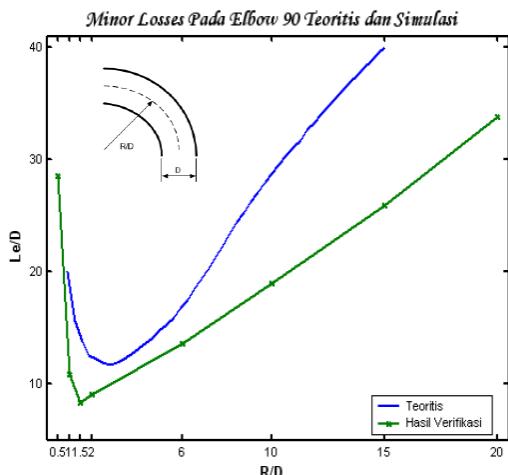
# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

Gambar 1. Untuk meshing digunakan struktur grid kotak (quadratic) dengan grid yang lebih rapat dekat dinding (2.5 mm) sedangkan bagian tengah lebih renggang (5 mm).

### 3. Analisa dan Diskusi

Untuk verifikasi hasil pemodelan, pada Gambar 2 terlihat grafik  $Le/D$  simulasi yang diplotkan pada  $Le/D$  teoritis. Hasil simulasi menunjukkan kecenderungan yang sama dengan teoritis. Pada awalnya dengan meningkatnya kelengkungan pipa terjadi penurunan  $Le/D$  dan mencapai minimum pada  $R/D=2.5$  kemudian naik drastis dengan bertambahnya  $R/D$ .

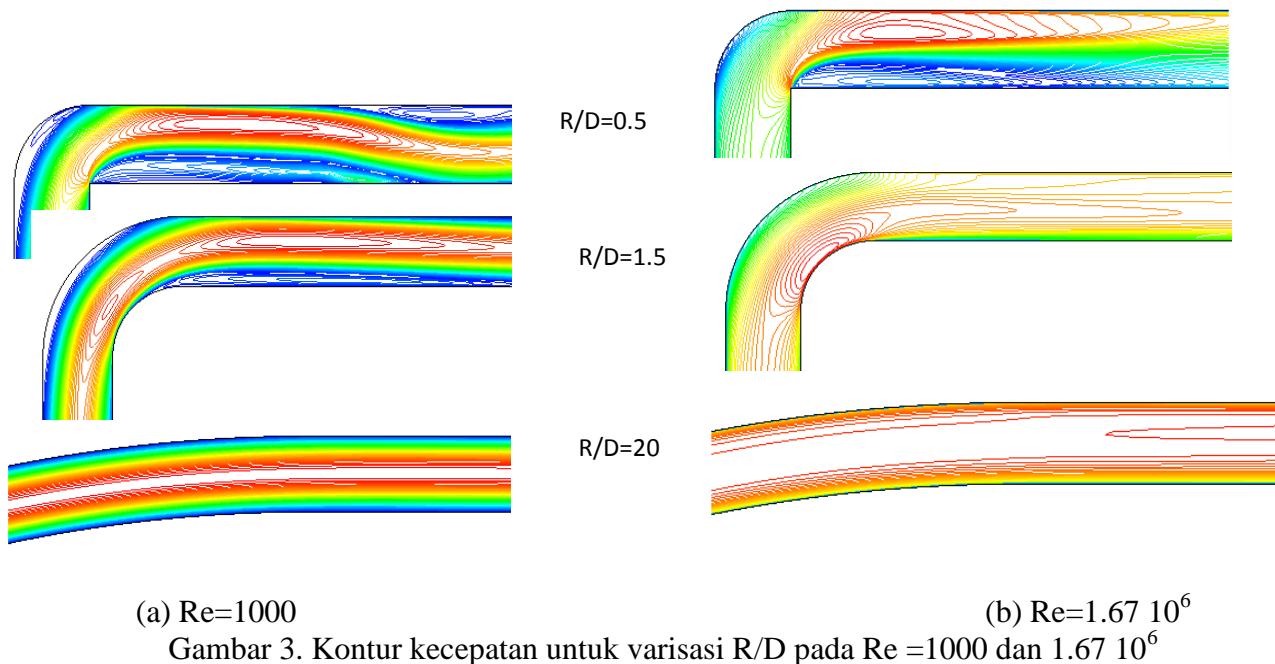


Gambar 2. Minor losses  $Le/D$  pengaruh  $R/D$  (Teoritis dan Simulasi)

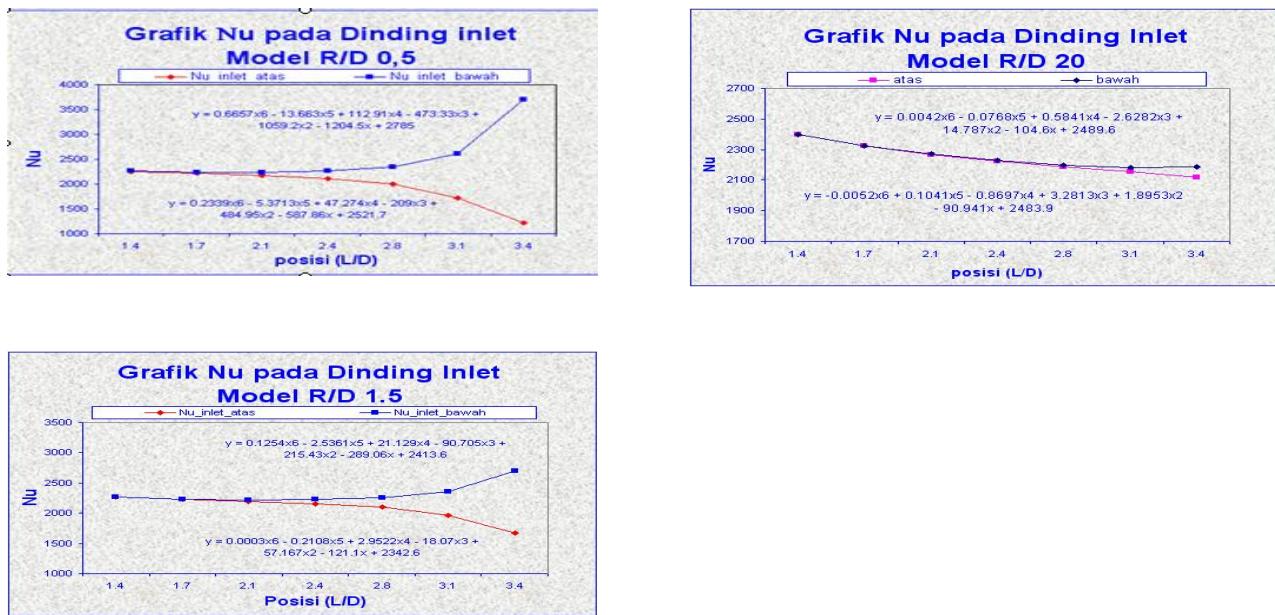
Pola aliran yang berupa kontur kecepatan untuk variasi  $R/D$  pada aliran laminar dan turbulen dapat dilihat pada Gambar 3. Pada  $R/D=0.5$  terlihat adanya reattachment aliran pada dinding bawah pipa sehingga aliran berputar (recirculation) disekitar elbow. Daerah reattachment semakin berkurang dengan  $Re$  yang makin tinggi. Pada  $R/D=1.5$  dan 20 reattachment aliran tidak terjadi karena kontraksi elbow yang lebih landai. Daerah reattachment yang menyempit menandakan penurunan minor losses seperti yang terjadi pada  $R/E=1.5$ . Akan tetapi pada  $R/D=20$  terjadi lintasan yang panjang pada elbow sehingga meningkatnya minor losses secara drastis.

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009



Gambar 3. Kontur kecepatan untuk variasi R/D pada  $Re = 1000$  dan  $1.67 \cdot 10^6$



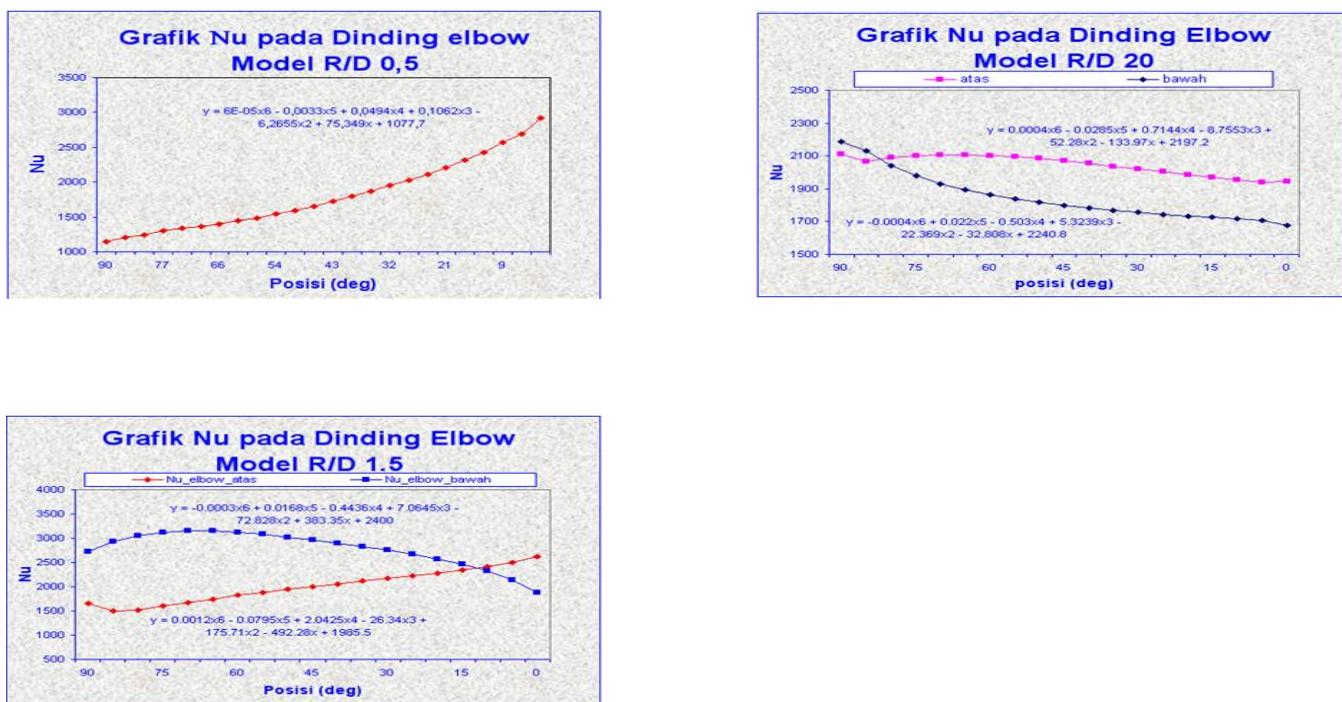
Gb 4. Distribusi Nu pada pipa Inlet dengan variasi R/D.

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

Gambar 4 menunjukkan distribusi bilangan Nusselt pada daerah inlet untuk aliran turbulen. Untuk variasi R/D, secara umum terlihat pada saat aliran masuk pipa Nu dinding bawah dan atas mempunyai harga yang sama kemudian terjadi perbedaan yang besar saat akan memasuki elbow dimana Nu dinding bawah lebih tinggi dibandingkan dengan dinding atas. Hal ini terjadi karena aliran dinding bawah lebih teraksesasi akibat bentuk elbow yang berbeda. Perbedaan Nu semakin tidak terlihat dengan meningkatnya R/D.

Distribusi Nu pada daerah elbow ditunjukkan pada Gambar 5 dengan sumbu absis adalah sudut belokan. Pada R/D=0.5, Nu dinding atas elbow semakin meningkat dengan besarnya sudut elbow. Hal ini terjadi kecepatan pada dinding atas lebih tinggi akibat kontraksi aliran mengikuti kontur elbow. Pada R/D=1.5 dan 20 terjadi hal yang berbalikan harga Nu pada dinding atas dan bawah. Pada R/D=1.5, Nu dinding bawah lebih tinggi dibandingkan dinding atas, sedangkan R/D=20 terjadi hal yang sebaliknya. Pada R/D=1.5, terjadi aliran yang stagnan didaerah dinding atas karena pada kelengkungan ini, aliran dipercepat pada bagian dinding bawah. Sedangkan pada R/D=20 dengan kelengkungan yang lebih landai, aliran justru dipercepat didaerah dinding atas hal ini ditandai dengan tebal velocity boundary yang lebih tipis pada daerah dinding atas seperti terlihat pada Gb. 3 pada pola aliran.



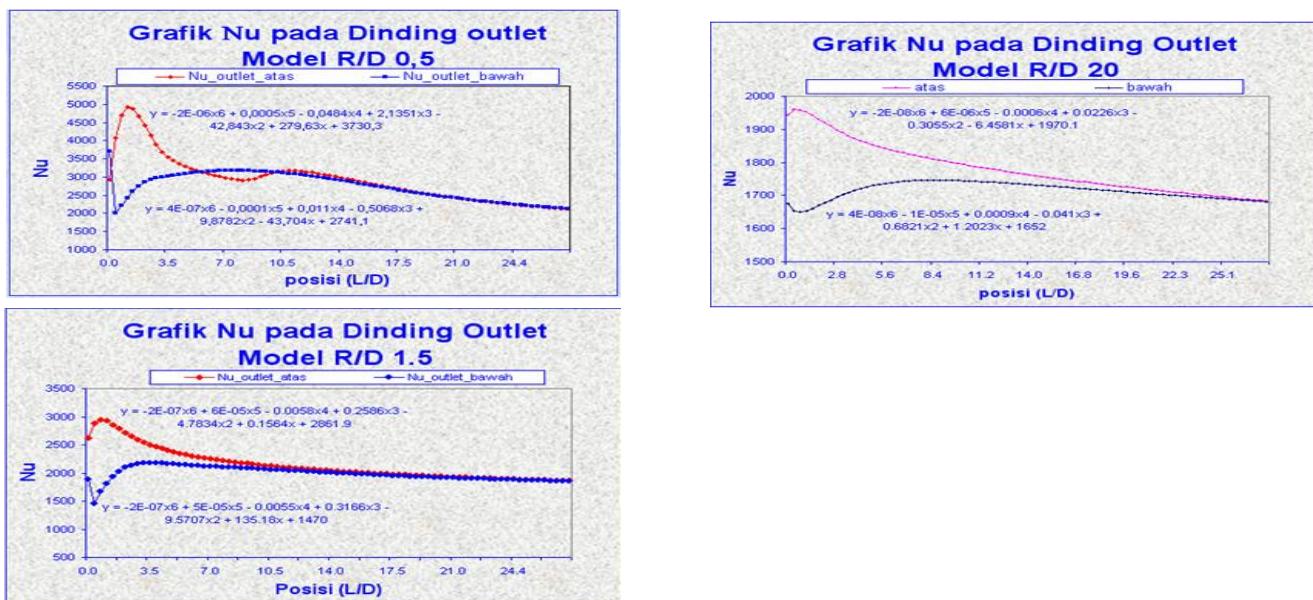
Gb 5. Distribusi Nu pada Elbow dengan variasi R/D.

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

Distribusi Nu pada daerah outlet pipa dengan variasi R/D dapat dilihat pada Gambar 6. Pada saat sesudah dinding elbow, terjadi perbedaan nilai Nu pada dinding atas dan bawah. Hal ini terjadi karena pada dinding atas terjadi tumbukan aliran yang sudah mengalami percepatan pada daerah elbow. Pada awal pipa outlet ( $L/D=0.7$ ), Nu dinding atas lebih tinggi dibandingkan dengan dinding bawah. Perbedaan terjadi paling besar pada daerah  $R/D=0.5$  kemudian perbedaan Nu dinding atas dan bawah makin mengecil dengan kenaikan  $R/D$ . Kemudian nilai Nu turun dan sampai daerah profil aliran mulai merata nilai Nu untuk dinding atas dan bawah mempunyai harga yang sama.

Pada Gambar 7 terlihat hubungan Nu dan Le/D dengan variasi R/D pada aliran laminar dan turbulen.



Gb 6. Distribusi Nu pada Outlet pipa dengan variasi R/D.

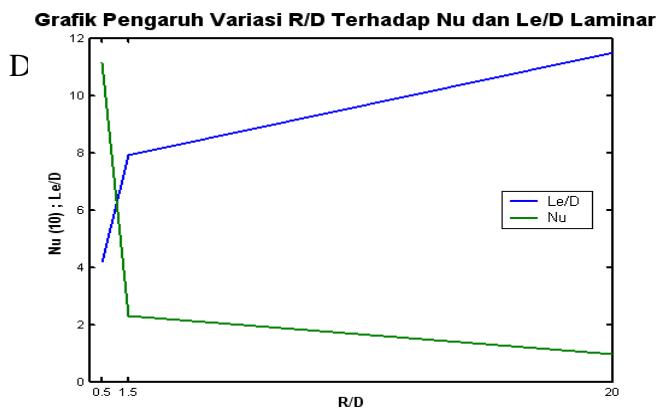
Untuk aliran laminar baik Nu maupun Le/D memiliki kecenderungan trend garis yang kontinyu terhadap variasi R/D. Penurunan Nu disebabkan karena panjangnya lintasan aliran dalam elbow, sedangkan peningkatan Le/D dapat dijelaskan dengan memahami bahwa kerugian energi aliran secara dominan disebabkan dua faktor utama yaitu kerugian mayor yang disebabkan faktor gesekan dengan dinding saluran dan kerugian minor yang disebabkan oleh adanya aliran sekunder pada bagian tertentu saluran (dalam hal ini elbow).

Sedangkan pada aliran turbulen tampak keselarasan antara trend Nu dan Le/D terhadap variasi R/D. Di sini tampak bahwa pada model R/D 1,5 memiliki harga faktor kerugian energi (Le/D) terendah juga memiliki kemampuan transfer panas tertinggi. Sedangkan pada model R/D 0,5 memiliki harga Le/D relatif tinggi yang disebabkan oleh adanya aliran sekunder yang sangat kuat pada keluaran elbow, sementara itu Nu-nya paling rendah yang disebabkan terhambatnya aliran pada dinding atas elbow akibat pembelokan

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

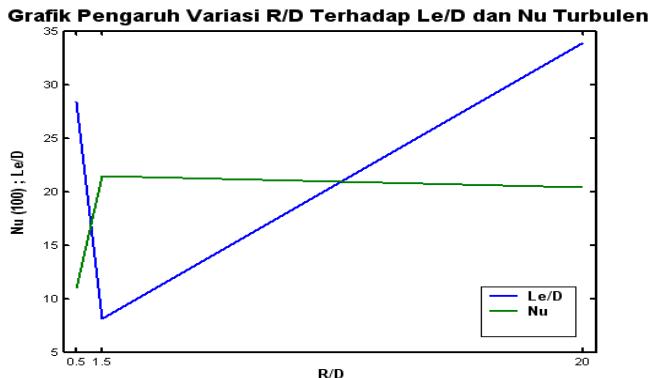
*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

sudut elbow yang sangat tajam. Untuk model R/D 20 harga Le/D naik disebabkan oleh gesekan dengan dinding elbow pada lintasan yang semakin panjang.



( a) Laminar

karena kecepatan fluida yang mengalir melalui elbow tersebut juga turun akibat gesekan dengan dinding elbow seiring semakin panjangnya lintasan.



(b) Turbulen

Gambar 7. Pengaruh variasi R/D terhadap Nu dan Le/D

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

---

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

## 4. Kesimpulan

Berangkat dari tujuan awal penelitian yaitu untuk mendapatkan hubungan antara Nu dan Le/D terhadap variasi R/D, maka dibuatlah pemodelan sistem aliran dengan R/D 0,5; 1,5; dan 20. Dari hasil analisa maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada pipa inlet, Nu pada dinding untuk aliran turbulen maupun laminar menyatakan bahwa Nusselt (Nu) rerata pada dinding bawah lebih besar dari pada dinding atas.
2. Pada pipa elbow
  - Model R/D 1,5 untuk aliran laminar maupun turbulen, Nu rerata pada dinding bawah lebih besar daripada dinding atas.
  - Model R/D 20 untuk aliran turbulen, Nu rerata pada dinding atas lebih besar daripada dinding bawah, sedangkan untuk aliran laminar sebaliknya.
3. Pada pipa outlet, Nu pada dinding untuk aliran turbulen maupun laminar menyatakan bahwa Nusselt (Nu) rerata pada dinding atas lebih besar dari pada dinding bawah
4. Faktor kerugian energi (Le/D) pada elbow.
  - Untuk aliran turbulen diperoleh trend parabolik dengan harga Le/D minimum pada model R/D 1,5.
  - Untuk aliran laminar diperoleh trend yang terus naik dan cenderung asimptotik dengan harga Le/D terendah pada model R/D 0,5.

## Referensi

- [1] Jayanti. S, Bends, *Flow and pressure drop in Tube*, International Encyclopedia of Heat & Mass Transfer, CRC Press – Boca Raton, New York, 2002.
  - [2] Poskas. P, *Tubes, single-phase, heat transfer*, International Encyclopedia of Heat & Mass Transfer, CRC Press – Boca Raton, New York, 2002.
  - [3] Versteeg. H.K, Malalasekera W, *An Introduction to Computational Fluid Dynamics The Finite Volume Method*, Longman Scientific & Technical, England. (1995)
-