

## Faktor Gesek Pipa Akrilik Persegi

**Budiarso, A.Fauzan, Agung T.Handoyo**

Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia  
Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 021-7270032 Fax. 021-7270033  
E-mail: [mftbd@eng.ui.ac.id](mailto:mftbd@eng.ui.ac.id), [budiarso@ui.edu](mailto:budiarso@ui.edu)

### Abstrak

*Karakteristik aliran dalam pipa berpenampang tidak bulat antara lain tergantung pada bentuk geometri. Selain kekasaran permukaan, karakteristik aliran baik untuk laminar maupun turbulen pada saluran tertutup juga berpengaruh pada faktor gesek.*

*Pekerjaan penelitian eksperimental untuk mendapatkan faktor gesek pipa berpenampang persegi telah banyak dilakukan, dimana pada aliran laminar dan turbulen pada rentang bilangan Reynolds  $4 \times 10^3 < Re < 2,5 \times 10^4$  diperoleh faktor gesek yang lebih rendah dibandingkan dengan pipa bulat. Fenomena ini diduga akibat aliran sekunder pada pipa berpenampang persegi.*

*Pipa berpenampang persegi, telah banyak dimanfaatkan pada reaktor atom, regenerator turbin gas, dan alat penukar kalor.*

*Penelitian yang dilakukan adalah untuk menghitung koefisien gesek pada saluran pipa akrilik bergeometri persegi 20 X 20 mm pada aliran turbulen dengan rentang bilangan Reynolds tertentu. Pipa akrilik akan digunakan sebagai bahan alternatif solar kolektor pada pemanas air tenaga surya. Dengan melakukan variasi bilangan Reynolds pada aliran didalam pipa akrilik akan dapat diketahui penurunan tekanan, debit air, yang kemudian akan digunakan untuk menghitung koefisien gesek permukaan saluran. Hasil koefisien gesek yang diperoleh pada rentang bilangan Reynolds  $4 \times 10^3 < Re < 2,5 \times 10^4$  lebih rendah 1,3 % dari pipa bulat.*

*Kata kunci : aliran sekunder, koefisien gesek, pipa persegi.*

### 1. Pendahuluan

Pemanas air tenaga surya adalah salah satu bentuk konversi energi surya. Salah satu komponen utamanya adalah solar kolektor. Pada saat ini, tembaga merupakan salah satu bahan solar kolektor yang banyak digunakan karena memiliki konduktivitas termal yang besar, mudah pengadaannya, tidak korosif dan tidak terlalu mahal harganya. Telah banyak dilakukan usaha yang bertujuan untuk mendapatkan alternatif bahan solar kolektor yang mempunyai berat jenis ringan dengan konduktivitas termal yang baik, mudah pengadaannya, tidak korosif, cukup kuat secara fisik, tidak mahal harganya dan mempunyai hambatan gesek permukaan yang rendah.

Aliran di dalam pipa berpenampang persegi (aspek rasio 1) atau dengan beragam aspek rasio sudah banyak dimanfaatkan pada reaktor atom, regenerator turbin gas, dan alat penukar kalor (Fauzan,A., Agung,T.H., 2008). Telah banyak penelitian terkait dengan ilmu mekanika fluida dilakukan untuk mengetahui lebih dalam karakteristik aliran dengan beragam bentuk geometri pipa.

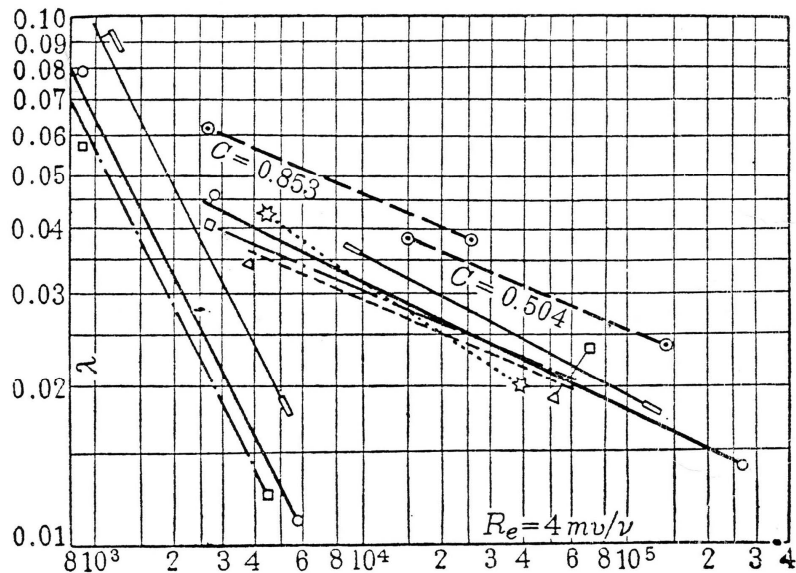
Penelitian-penelitian yang telah dilakukan oleh para periset menunjukkan faktor gesek aliran pada bilangan Reynolds tertentu pada pipa berpenampang persegi lebih rendah jika dibandingkan dengan yang terjadi pada aliran di dalam pipa berpenampang bulat (Gb. 1).

Oleh karenanya, penggunaan pipa berpenampang persegi mempunyai potensi dapat mengurangi kerugian tekanan, sehingga dapat menghemat penggunaan energi aliran.

Dari studi literatur diketahui bahwa pada aliran pipa berpenampang persegi terjadi aliran sekunder. Aliran sekunder terjadi akibat tidak meratanya distribusi tegangan geser, sehingga mengakibatkan penurunan kecepatan aksial aliran (Miller, 1990). Fenomena inilah yang diduga memberikan efek terjadinya penurunan kerugian tekanan pada aliran.

Formula Darcy-Weisbach untuk aliran tunak di dalam pipa berpenampang bulat, tak mampu mampat, berkembang penuh dan turbulen juga berlaku untuk aliran tunak di dalam pipa berpenampang persegi, tak mampu mampat, berkembang penuh dan turbulen.

Tujuan penelitian ini adalah mencari koefisien gesek ( $\lambda$ ) dari pipa akrilik yang berpenampang persegi 20 x 20 mm pada rentang bilangan Reynolds :  $4.0 \times 10^3 < Re < 2.5 \times 10^4$



**Gambar 1** Koefisien gesek pada berbagai bentuk penampang pipa

## 2. Dasar Teori

Untuk mendapatkan nilai faktor gesek ( $\lambda$ ) secara eksperimental pada aliran di dalam pipa berpenampang bulat tunak, tak mampu mampat, berkembang penuh dan turbulen yang juga berlaku pada aliran di dalam pipa berpenampang persegi, digunakan formula Darcy-Weisbach (Hartnett, J.P., et.al., 1962).

$$\lambda = \Delta p \left( \frac{D_h}{L} \right) \Big/ \left( \frac{\rho u^2}{2} \right) \quad (1)$$

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (m) \quad (2)$$

Nilai  $D_h$  adalah nilai diameter hidrolis pipa. Diameter hidrolis adalah empat kali luas penampang aliran,  $A$  ( $m^2$ ), dibagi dengan keliling terbasahi pipa,  $P$  (m). Diameter hidrolis mewakili suatu panjang karakteristik yang mendefinisikan ukuran sebuah penampang dari bentuk yang ditentukan. Faktor 4 ditambahkan dalam definisi  $D_h$ . Sehingga diameter hidrolis pipa berpenampang persegi sama dengan diameter pipa berpenampang bulat.  $L$  adalah panjang pipa (m) dan  $u$  adalah kecepatan (m/s). Penurunan tekanan ( $\Delta p$ ) dan kecepatan ( $u$ ) diperoleh melalui pengukuran secara eksperimental. Persamaan eksplisit Colebrook-White (Munson, 2005) aliran di dalam pipa juga dapat digunakan untuk mendapatkan nilai faktor gesek pada aliran *smooth-turbulent* dan *rough-turbulent*. Persamaan ini diperoleh melalui pencocokkan kurva.

$$\lambda = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (3)$$

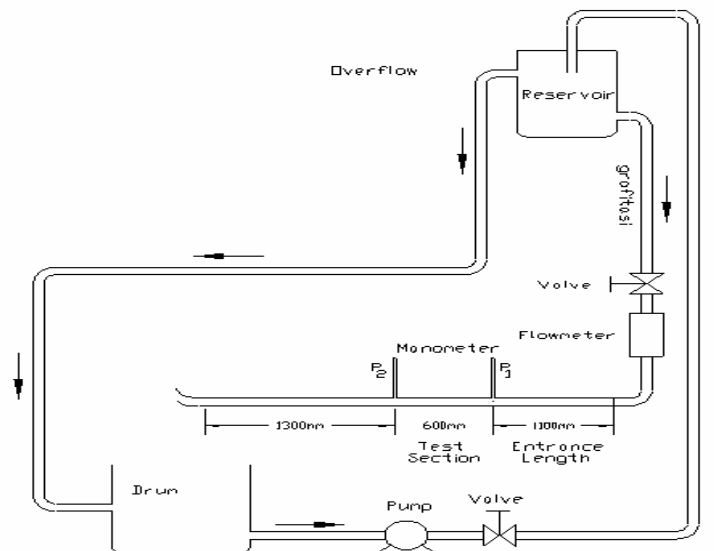
$$\text{untuk } 10^{-6} \leq \frac{\epsilon}{D} \leq 10^{-2} \text{ dan } 5 \times 10^3 \leq Re \leq 10^8$$

## Ekperimental

Pada kegiatan eksperimen dilakukan pengukuran penurunan tekanan, yang diperoleh dengan menggunakan *pressure gauge (manometer)*. *Pressure tap* harus diletakan secara tegak lurus dari benda yang akan diuji (Gb. 2). Pada penelitian ini, bilangan Reynolds mempunyai rentang antara  $4.0 \times 10^3$  sampai dengan  $2.5 \times 10^4$  dan untuk memastikan bahwa aliran yang terdapat pada ujung pertama *pressure tap* telah berkembang sempurna, maka harus dicari panjang aliran daerah masuk,  $l_e$ .

Berdasarkan persamaan :  $\frac{l_e}{D} = 4,4 Re^{1/6}$  (Munson, 2005), dimana diameter hidrolis dari pipa akrilik adalah 20 mm, maka didapatkan nilai panjang minimum aliran berkembang sempurna sebesar 500 mm. Untuk meyakinkan bahwa aliran yang terdapat pada *pressure tap* adalah benar-benar telah berkembang sempurna, maka jarak yang diambil dari ujung pipa ke ujung *pressure tap* adalah 1100 mm. Jarak antara *pressure tap pressure transducer* yang akan diambil perbedaan tekanannya adalah 600 mm.

Pengukuran dengan menggunakan *pressure gauge (manometer)* tidak akan berlaku, jika permukaan dari pipa yang diuji tidak basah seluruhnya. Untuk menjamin bahwa seluruh permukaan bagian dalam pipa akrilik basah seluruhnya maka sisi keluaran pipa yang diuji harus dijaga bervolume penuh.

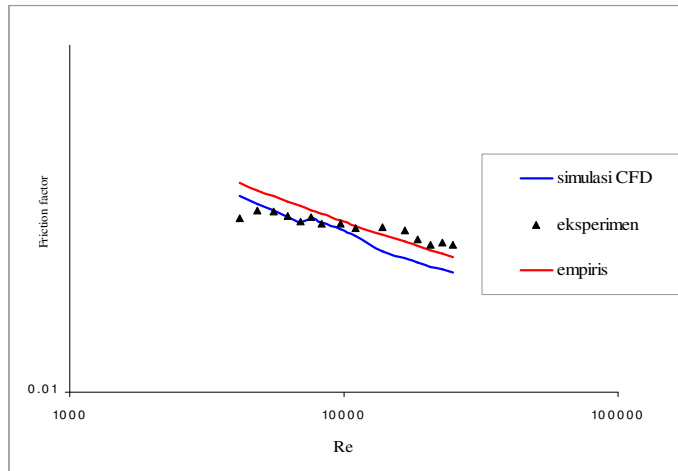


Gambar 2 Skema alat uji

Untuk mengatur debit yang keluar dari pompa menuju reservoir digunakan sebuah katup. Ada dua jalur air mengalir di reservoir. Jalur pertama menuju *flowmeter* dan yang satunya menuju drum. Jalur kedua berfungsi sebagai volume atur. Nilai kisaran  $4.0 \times 10^3 < Re < 2.5 \times 10^5$  diatur secara bertahap, dimulai dari bilangan Reynolds terkecil menuju yang terbesar. Dengan adanya *flowmeter* kita bisa mengatur debit yang keluar, yang berarti kita mengatur bilangan Reynolds. Air mengalir melewati daerah masuk terlebih dahulu. Agar bisa dipastikan bahwa aliran telah berkembang sempurna. Selanjutnya air akan melewati dua manometer. Dari perbedaan ketinggian manometer itu kita bisa mendapatkan penurunan tekanan dari setiap bilangan Reynolds yang diatur dengan bantuan alat *flowmeter*. Selanjutnya penurunan tekanan tersebut diolah dengan menggunakan Formula Darcy-Weisbach untuk mendapatkan nilai factor gesek ( $\lambda$ ). Air akan terus dialirkan menuju drum. Selanjutnya proses akan terus-menerus berlangsung.

## 3. Hasil dan Diskusi

Perhitungan nilai faktor gesek didapatkan dengan rumus (1 dan 2) serta perhitungan dengan CFD diperlihatkan pada.Gb. 3.

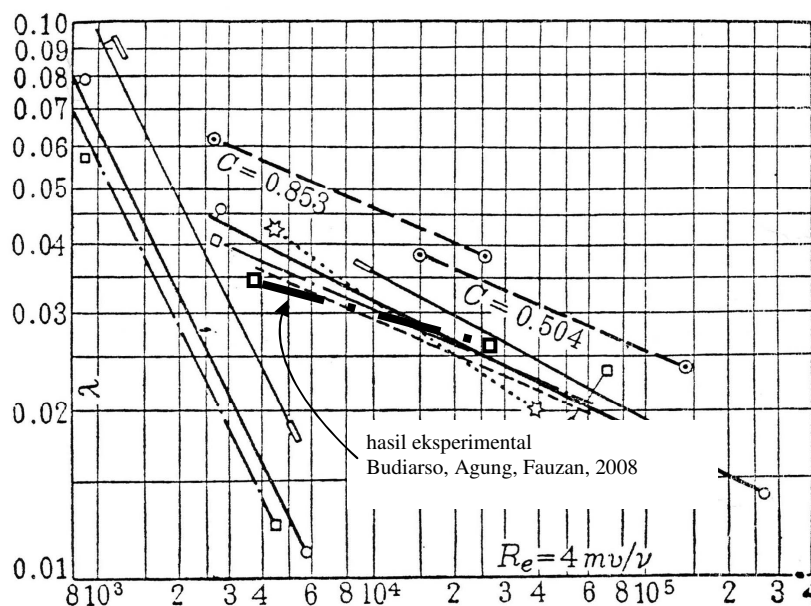


Gambar 3 Grafik Re-  $\lambda$  secara eksperimental, empiris dan simulasi CFD

Pada bilangan Reynolds kurang dari  $1,1 \times 10^4$ , hasil pengukuran menunjukkan nilai koefisien gesek hasil uji eksperimental terletak di bawah nilai koefisien gesek empiris dan hampir sama dengan hasil simulasi CFD, sedang pada bilangan Reynolds diatas  $1,1 \times 10^4$  hasil uji eksperimental terletak di atas nilai koefisien gesek empiris dan hasil simulasi CFD. Hasil ini sesuai dengan penelitian para periset terdahulu.

Gb. 4 memperlihatkan perbandingan hasil perhitungan koefisien gesek yang dilakukan secara eksperimental saat ini dengan pengujian secara eksperimental oleh para periset lain untuk berbagai geometri penampang pipa. Pada Gb.4 terlihat bahwa untuk rentang bilangan Reynolds kurang dari  $1,1 \times 10^4$  koefisien gesek pipa berpenampang persegi berada di bawah nilai koefisien gesek pipa berpenampang bulat. Sedangkan pada bilangan Reynolds di atas  $1,1 \times 10^4$  koefisien gesek pipa berpenampang persegi berada di atas pipa bulat.

Pada Gb. 3 saat aliran dalam kondisi transisi dari laminar ke turbulen ( $3.0 \times 10^3 < Re < 5 \times 10^4$ ), untuk pipa berpenampang persegi terlihat adanya keterlambatan aliran dari laminar menuju turbulen. Keterlambatan ini membantu pengurangan kerugian tekanan.



Gambar 4 Perbandingan hasil penelitian eksperimental dengan para peneliti terdahulu

#### 4. Kesimpulan

1. Hasil koefisien gesek pada pipa persegi untuk rentang bilangan Reynolds  $4 \times 10^3 < Re < 2,5 \times 10^4$  lebih rendah 1,3 % dari pipa bulat.
2. Nilai faktor gesek pipa persegi yang lebih rendah tersebut diduga akibat adanya penundaan transisi aliran dari laminar ke turbulen yang disebabkan oleh munculnya aliran sekunder pada saluran dengan geometri berpenampang persegi .

#### Daftar Pustaka

1. Fauzan, A., T.H, Agung.,2008, *Analisis Faktor Gesek Pada Pipa Akrilik Dengan Aspek Rasio Penampang 1 (Persegi) Dengan Pendekatan Metode Eksperimental, Empiris, Dan Simulasi CFD. Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI.*
2. Hartnett, J.P., Koh, J.C., McComas, S.T.,1992, *A Comparison of Predicted and Measured Friction Factors for Turbulent Flow Through Rectangular Ducts, Trans ASME.*
3. Miller, D.S., 1990, *Internal Flow Systems 2<sup>nd</sup> edition, (Bedfort : BHRA).*
4. Munson, Bruce R., Young, Donald F., Okiishi, Theodore H., 2005, *Mekanika Fluida Edisi Keempat Jilid 2, terj. Budiarmo, Harinaldi, Erlangga : Jakarta.*